

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод скипового подъемника

УДК 62-83.524:622.678.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ _____

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ачилову Владимиру Шухратовичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод скипового подъемника

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

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	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Сотникова Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2019г.
---	--------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович		.

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)
 Отделение Электроэнергетики и электротехники
 Профиль Электропривод и автоматика
 Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврской работы

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019г.
--	--------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов И.Г.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Клыжко Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 133 с., 26 рисунка, 31 таблиц, одно приложение, 23 используемых источника.

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 S1MOREGK 6RA 24, обеспечивающий следующие показатели качества:

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

Содержание

Введение.....	9
1.1 Объект автоматизации. Назначение. Описание. Общий вид. Параметры.	10
1.2 Механизм. Назначение. Описание. Кинематическая схема. Параметры...	14
1.3 Технологический процесс. Описание. Параметры и характеристики.	
Требования к электроприводу механизма и автоматизации.	17
1.4 Обоснование и выбор рода тока. Типа электропривода и способа регулирования координат. Выбор вида автоматизации технологического процесса.....	20
1.5 Разработка технического задания.	26
2.1. Выбор и проверка электродвигателя по максимальному моменту и нагреву.....	29
2.1.1 Расчёт мощности двигателей главного подъёмника.....	29
2.1.2 Проверка двигателей по нагреву	33
2.2. Расчет и выбор элементов электрооборудования силовой цепи.	49
2.2.1 Выбор электродвигателя.....	49
2.2.2 Выбор вентильного преобразователя.....	51
2.2.3 Расчёт и выбор силового трансформатора.....	53
2.2.4 Выбор токоограничивающих реакторов.....	56
2.2.5 Определение параметров фаз	57
2.2.6 Определение параметров эквивалентного преобразователя.....	58
2.2.7 Выбор сглаживающего дросселя.....	58
2.2.8 Расчёт параметров силовой цепи.....	60
2.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода.....	60
2.4 Электромеханические характеристики системы преобразователь - двигатель	63
2.5 Структурная схема линеаризованной САУ	67
2.6 Синтез системы автоматического управления электроприводом.....	67
2.6.1 Контур тока.....	69
2.6.2 Контур скорости.....	70
2.6.3 Контур тока возбуждения.....	71
2.6.4 Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя.....	74
2.7 Нелинейная САУ РЭП	78
2.7.1 Анализ основных нелинейностей электропривода.....	78
2.7.2 Структурная схема нелинейной САУ ЭП.....	79
2.7.3 Исследование электропривода на имитационных моделях.....	81
2.7.4 Расчет статических характеристик.....	84
2.8 Принципиальная электрическая схема.	89
2.8.1 Принципиальная электрическая схема. Согласование с сетью. Интеграция в схему автоматизации технологического процесса.....	89
2.8.2 Описание. Защиты и блокировки.	91
2.8.3 Рекомендации по настройке и эксплуатации	94

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	95
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	96
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведение анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	96
3.2 Организация и планирование пусконаладочных работ	97
3.2.1 Структура пусконаладочных работ.....	98
3.2.2 Состав бригады для проведения ПНР.....	100
3.2.3 Определение времени выполнения ПНР	100
3.3. Расчет полных затрат на оборудование и проведение работ ПНР	102
3.3.1 Расчет полной заработной платы	102
3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	104
3.3.3 Затраты на закупку оборудования.....	104
3.3.4 Накладные расходы.....	105
3.3.5 Общая стоимость затрат на проведение ПНР	105
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	107
4. Социальная ответственность	109
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	109
4.2 Производственная безопасность	111
4.3 Экологическая безопасность	119
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	123
CONCLUSION	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А	128

Введение.

Механизм подъема скипов – это один из элементов системы загрузки доменной печи, который предназначен для поочередного подъема двух скипов с шихтовым материалом по наклонному мосту скипового подъемника доменной печи и выгрузки их в приёмную воронку распределителя шихты.

Т.к. технологический процесс работы доменной печи является непрерывным, то к работе ее оборудования предъявляются высокие требования к качеству работы и надёжности. Поэтому на современных предприятиях электропривод системы загрузки доменной печи является гибкой автоматизированной системой, управляемой от микроконтроллера.

Преимущества электропривода, управляемого микропроцессором:

- возможность плавного ускорения от нуля до номинальной скорости в начале пути и плавного замедления в конце пути обуславливает надёжность работы электропривода и точность остановки скиповой тележки при минимальном износе канатов и механической части лебедки;
- постоянство установившейся скорости, достигаемое за счет жесткой механической характеристики электропривода, позволяет обеспечить максимальную производительность подъемника;
- компактность оборудования, надёжность его работы и простота обслуживания;
- точность остановки привода при достижении конечных точек (угол опрокидывания 45-50 градусов и расстояние от затворов 300-350мм);
- наличие пульта местного управления в зоне прямой видимости механизма.

Надёжность лебедки повышается за счет применения двух двигательного типа привода, так как при выходе из строя одного двигателя существует возможность работы с одним двигателем, при снижении веса материала на 30 процентов. Кроме того, маховый момент двух двигателей меньше, чем одного, имеющего суммарную мощность, что весьма важно с точки зрения снижения

времени для достижения номинальных параметров работы и уменьшения пусковых токов.

Система электропривода, рассматриваемая в данном дипломном проекте, готовится к вводу в эксплуатацию на доменной печи №2 доменного цеха АО «ЗСМК».

1.1 Объект автоматизации. Назначение. Описание. Общий вид.

Параметры.

Доменный цех АО «ЗСМК» является одним из основных звеньев в производстве черных металлов. Доменные печи - это современные агрегаты, высокоавтоматизированные и механизированные, позволяющие решать задачи контроля и управления загрузкой шихтовых материалов и технологическим процессом в целом, основная задача которых - выплавка чугуна. Поперечный разрез доменного цеха показан на рисунке 3.

Привозка сырья, поступающего в специализированных вагонах, осуществляется на участке шихтоподачи. Участок шихтоподачи представляет собой устройство с бункерной эстакадой. Сырье в виде офлюсованного агломерата, конверторного шлака, окатышей, кокса подается на бункерную эстакаду. С бункерной эстакады, через систему конвейеров грохотов и взвешивающих устройств, сырье попадает в доменную печь.

Механизмы, входящие в систему загрузки доменной печи, связаны общими условиями технологического процесса и должны работать согласованно. При ручном управлении потребовалось бы несколько операторов, причём из-за невозможности точно согласовать их действия имели бы место задержки в работе механизмов и неправильные операции управления. Только автоматическое управление механизмами обеспечивает высокую точность, производительность и надёжность работы комплексной системы загрузки. Огромное значение имеет также правильная шихтовка печи, что обеспечивается наиболее полно лишь при автоматической загрузке материалов.

Шихтовые материалы подаются в печь равномерно, циклически повторяющимися подачами. В состав каждой подачи входят основные материалы шихты: рудные материалы - руда, агломерат, флюсы, добавки и топливо - кокс.

Основными элементами скипового подъемника являются: два скипа, наклонный мост, система канатов с блоками, скиповая лебедка и грузоподъемное оборудование.

Скиповые тележки (рисунок 1) загружаются коксом, или железорудными материалами, а разгружаются в приемную воронку загрузочного устройства печи. Для полной выгрузки материала из скипа угол наклона его днища к горизонту в верхнем положении должен составлять 45-50 °.

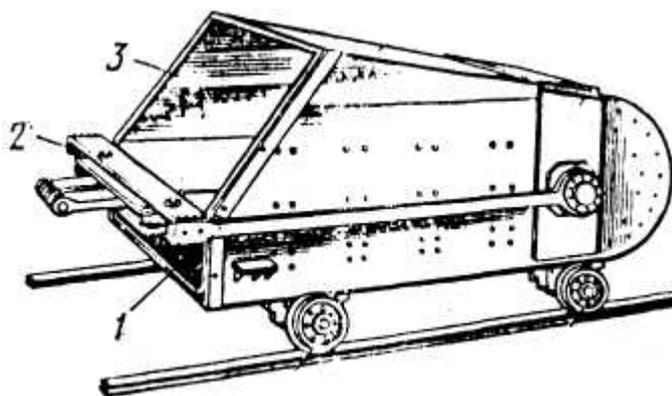


Рисунок 1 – Скиповая тележка: 1 - тяговое устройство, 2 - траверса с балансирным устройством, 3- совок

Для перемещения по наклонному мосту скипы соединяют канатами с барабаном скиповой лебедки, таким образом, что обеспечивается уравнивание скипов. Для исключения аварий, при обрыве одного из канатов и блоков, скип поднимают на двух канатах.

Скиповая лебедка (рисунок 2) установлена в помещении под наклонным мостом, называемое машинный зал. Узлы смонтированы на чугунной станине. Станина для удобства изготовления и транспортировки состоит из нескольких частей, зафиксированных шпонками и скрепленных болтами.

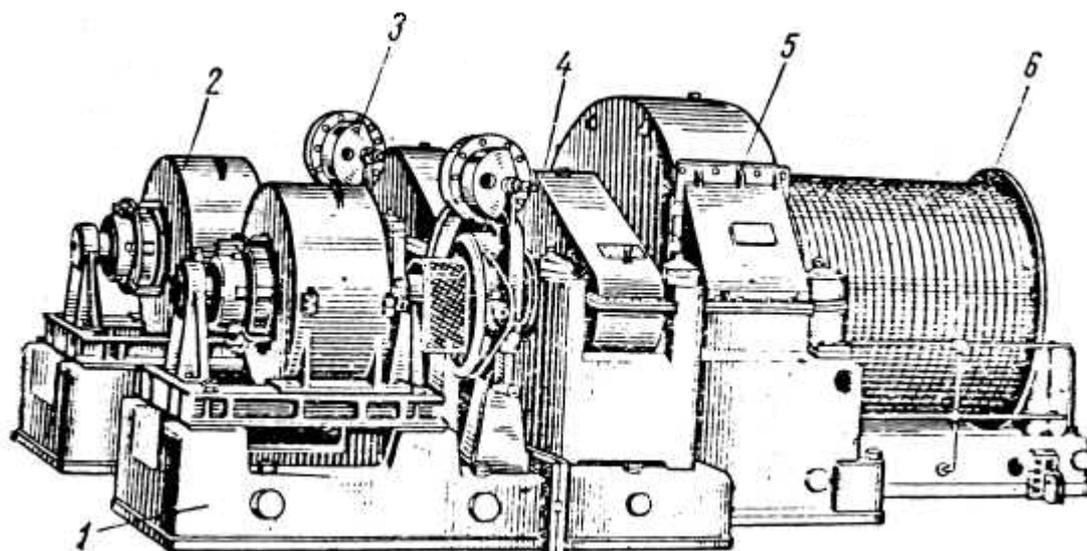


Рисунок 2 – Скиповая лебедка: 1 — станина, 2 — электродвигатель, 3 — тормоз, 4 — привод, 5 — зубчатое колесо с кожухом, 6 — барабан

К помещению машинного зала примыкает ПСУ (помещение системы управления) загрузки, где располагаются панели автоматического управления системой загрузки доменной печи.

Лебедка работает в повторно-кратковременном режиме и состоит из двух электродвигателей постоянного тока, соединительных зубчатых муфт, тормозов, общего редуктора, барабана и зубчатой передачи. Установка двух электродвигателей, помимо увеличения надежности, позволяет снизить маховый момент и момент инерции системы.

Управление лебедкой осуществляется в автоматическом режиме комбинацией групп сигналов АСУ ТП, посредством двух последовательно соединенных, в электрической схеме, командоаппаратов, а так же с пульта местного управления машинистом шихтоподачи, при технологической необходимости. Останавливается лебедка при слабине или обрыве одного из канатов, выключателями слабины канатов, которые установлены по обе стороны барабана, а также при переходе скипа за предел, при помощи командоаппарата.

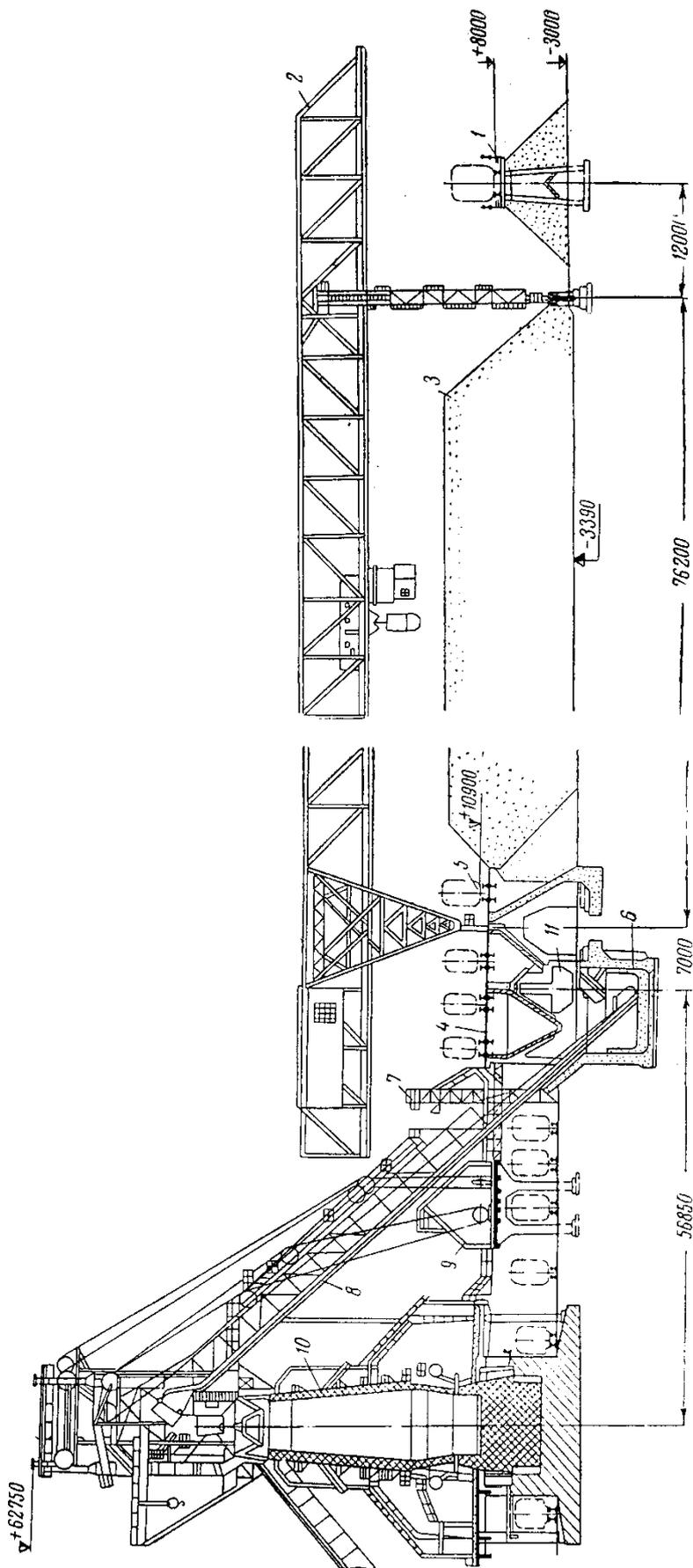


Рис. 2. Поперечный разрез доменного цеха:

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

1.2 Механизм. Назначение. Описание. Кинематическая схема.

Параметры.

Сырые материалы (шихта), подлежащие загрузке в печь, подаются в скиповую яму, соединённую наклонным мостом с засыпным устройством колошника печи. По наклонному мосту уложен двойной рельсовый путь, по которому движутся вверх и вниз скипы с помощью лебёдки, находящейся в машинном помещении. От лебёдки через специальные направляющие шкивы идут две ветви двойных тросов к обоим скипам.

Тросы навиты на барабан таким образом, что одна пара тросов опускающегося вниз пустого скипа разматывается, а другая пара поднимающегося вверх груженого скипа наматывается на одну и ту же двухходовую нарезку барабана лебёдки. Когда из одного скипа, находящегося на колошнике, разгружаются материалы в печь, второй оказывается внизу в скиповой яме под погрузкой очередной порции шихты.

Наклонный мост с двойным рельсовым путём для скипов можно разбить условно на три скоростных участка:

1. нижний - в скиповой яме с большим углом наклона для лучшего заполнения скипов шихтой, высыпаемой из промежуточных или весовых воронок;

2. средний - основной, с меньшим углом, длина его определяется высотой печи и удалённостью от нее скиповой ямы;

3. верхний - дефлекторный, служащий для разгрузки скипов в приёмную воронку колошника печи.

Разгрузочное устройство верхней части моста состоит из дополнительного рельсового пути с более широкой колеей, уходящей вверх от основных направляющих. Благодаря этому при подходе скипа к разгрузке его

передние скаты продолжают катиться по основному, а задние скаты уходят по дополнительному верхнему пути. При этом скип опрокидывается, и материалы высыпаются в приёмную воронку, расположенную над распределительным устройством засыпного аппарата доменной печи. Для главных скиповых подъёмников применяют двухдвигательные скиповые лебёдки.

Режим работы лебёдки реверсивный. Как и для всякого подъёмника и механизма, график движения и, а, $L = f(t)$ должен быть рассмотрен для трёх участков: ускорения, равномерного движения и торможения. При этом учитываем следующие характерные особенности работы скиповой лебёдки. Возвращение пустого скипа из опрокинутого положения на прямолинейный участок пути осуществляется за счёт его собственного веса, поэтому скорость канатов и лебёдки должна соответствовать скорости опускания скипа. В противном случае, при большей скорости лебёдки, возможно ослабление сматывающейся ветви канатов и последующие нежелательные толчки, способные опрокинуть скип или оборвать канаты. Скорость при выходе с разгрузочного участка практически составляет 1.5-2.5 м/сек. При подходе грузёного скипа к разгрузочному криволинейному участку пути скорость должна быть снижена до 1-1.5 м/сек. При этом происходит отключение двигателя с наложением механических тормозов и фиксированная остановка лебёдки в крайнем положении разгружаемого скипа. Кривые скорости, ускорения и пути движения скипа по наклонному мосту приведены на рисунке 4.

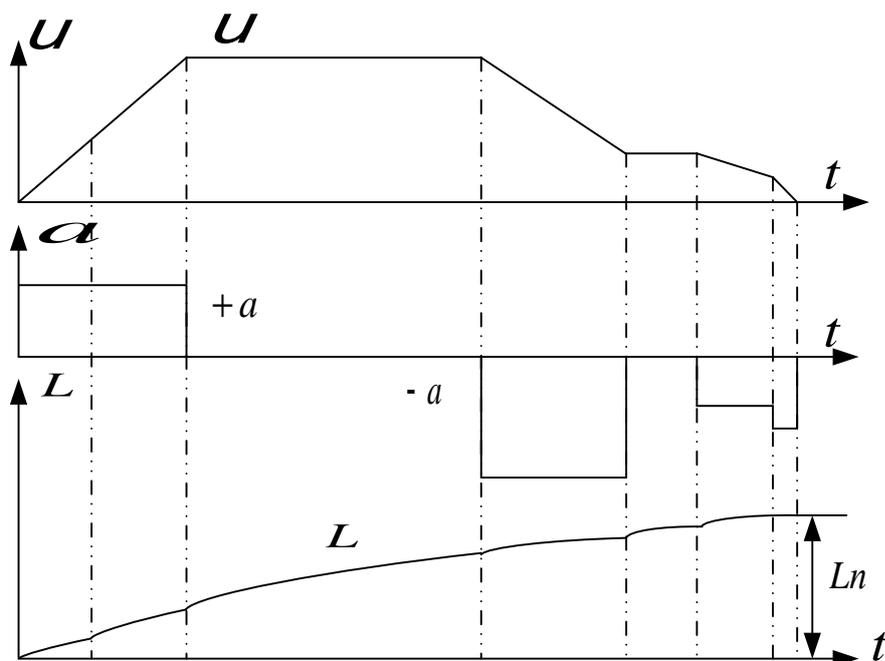


Рисунок 2 - Кривые скорости, ускорения и пути движения скипа

Параметры лебёдки скипов доменной печи типа ЛС1-22,5-210, приведены в таблице 1

Таблица 1

№	Параметр	Значение
1	Геометрическая ёмкость скипа O_c , м	10
2	Вес пустого скипа G_c , кг	8400
3	Диаметр катка скипа D_c , мм	500
4	Диаметр цапфы катка D_n , 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	7
	б) на мосту L_m , м	83
	в) на разгрузочном участке L_p , м	-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	22	30000
	Маховый момент барабана (на собственном валу) GD^2_6	39000
	Маховый момент зубчатых колёс редуктора (на промежуточном валу) $GD^2_{3КГМ^2}$	2200
	приведённый к валу двигателя	550
16	GD двигателей и тормозных шкивов (на валу)	700
17	Грузоподъёмность (два двигателя/один двигатель):	22500/15000
	нормальная $G_{н}$, кг максимальная (авар.) $в_{г.макс}$, кг	15000/---
18	Скорость подъёма (два двигателя/один двигатель):	4/4
	нормальная $v_{н}$, м/с максимальная (форсиров.) $v_{макс}$,	4/4
19	Передаточное число:	
	от вала двигателя к промежуточному валу i_1 от	3,12
	промежуточного вала к валу барабана i_2 общее от	5,96
20	Диаметр барабана D_6 , мм	2000
21	Суммарный расчётный момент торможения на валу	637
22	Число двигателей	2

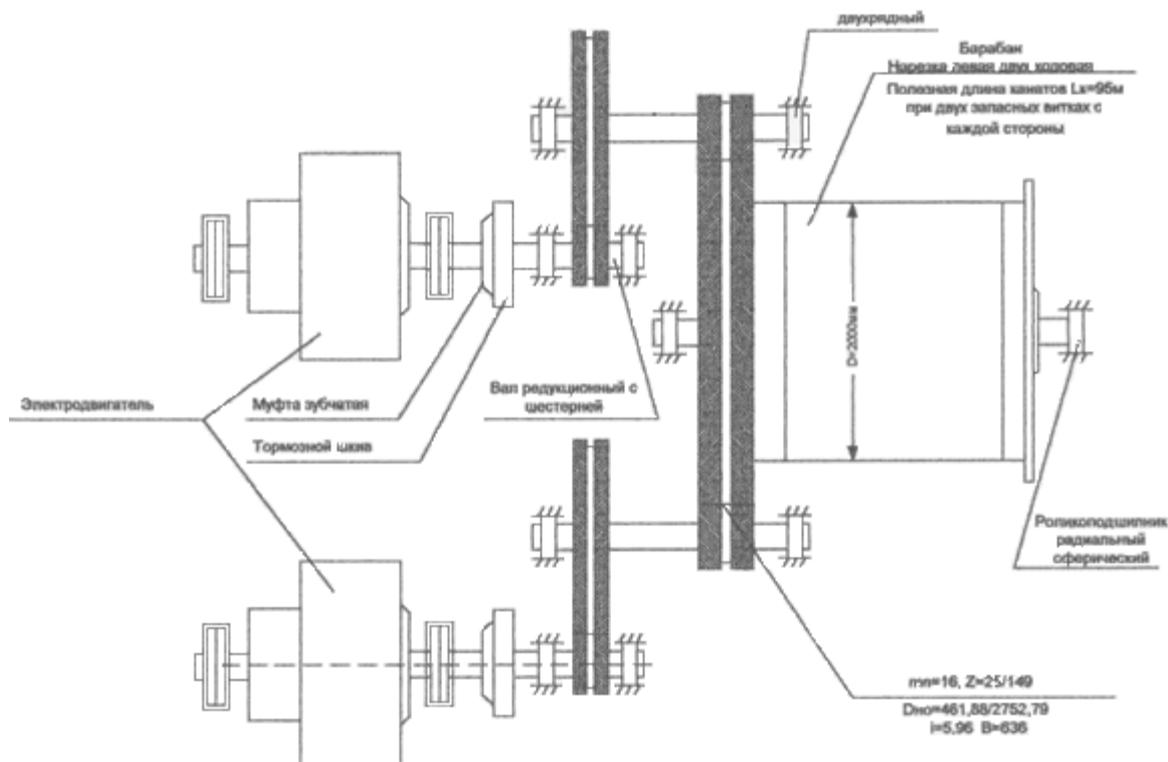


Рисунок 3 - Кинематическая схема механизма лебёдки скипов типа ЛС 1-22,5-210

1.3 Технологический процесс. Описание. Параметры и характеристики. Требования к электроприводу механизма и автоматизации.

Непрерывный характер работы доменной печи, повышение температуры горячего дутья, обогащение его топливными компонентами и кислородом и ряд других мероприятий, повышающих рост выплавки чугуна, а так же потребность в шихтовых материалах, предъявляют высокие требования к приводу главного подъёма доменной печи. Но, несмотря на это привод главного подъёма является лишь одним из звеньев технологической цепи системы загрузки шихты в доменную печь, и работает согласно запретам и разрешениям (технологическим блокировкам) из системы верхней и нижней системы загрузки.

Процесс металлургического передела чугуна в доменном цехе начинается с нижней системы загрузки, в которую входят: конвейерная ПТС (поточно-транспортная система) подачи агломерата, кокса и материалов добавок от близлежащих производств, таких, как аглофабрика и коксохимическое производство; системы бункеров, предназначенных для накопления материала; система вибрационных грохотов, предназначенных для отсева мелких фракций шихты перед её подачей в доменную печь (шихта на грохот подаётся через шибер, расположенный в нижней части накопительного бункера; каждому бункеру соответствует свой грохот); конвейерная ПТС возврата мелкой фракции агломерата и кокса на аглофабрику для переработки; система затворов и весовых воронок, предназначенная для подачи шихты в скип с предварительным взвешиванием загружаемого материала.

Верхняя система загрузки доменной печи состоит из следующих механизмов:

- механизм главного подъёма - предназначен для транспортировки материала к засыпному аппарату доменной печи;

- засыпной аппарат - состоит из малого и большого конуса (основное назначение - создание уравнивающей зоны давления), а так же вращающегося распределителя шихты (ВРШ), который находится над малым конусом (его основная задача - перемещение засыпаемой шихты по окружности печи в определённое место);

- газовые клапана - предназначены для создания давления в межконусном пространстве перед загрузкой материала в печь с большого конуса;

- лебёдка зондов - осуществляет контроль хода доменной печи, а так же контроль уровня засыпи доменной печи.

Материал (шихта), необходимый для получения чугуна подаётся в доменный цех через ПТС аглоизвесткового и коксохимического производства в помещение бункеров, где производится распределение материала по группам бункеров (кокс и агломерат). Затем через нижнюю часть бункера материал проходит этап грохочения, т.е. отсеивания мелкой фракции, которая затем через ПТС возврата подаётся на аглоизвестковое производство, где используется для спекания агломерационных “пирогов”, а крупная фракция с грохотов подаётся на общий конвейер (коксый и агломерационный) и загружается в воронко-весы.

После набора дозы (веса материала, установленного требованиями технологического процесса и грузоподъёмностью скипа) сгружается в скип. Во время загрузки скипа, которая осуществляется затвором, расположенным в нижней части воронко-весов, конвейера агломерата или кокса, а соответственно и система грохотов находится в режиме ожидания. После выдачи сигнала о том, что скип загружен и все затворы закрыты грохота и конвейера вновь начинают работать.

Для разрешения движения скипа вверх требуется выполнение следующих условий:

1. наличие фиксации закрытого положения малого конуса;
2. наличие фиксации закрытого положения всех затворов;
3. отсутствие вращения ВРШ;
4. отсутствие запрета на работу по инициативе технологического персонала.

После выполнения выше перечисленных условий скип начинает движение вверх к засыпному аппарату. По прибытии на лекальную часть наклонного моста скип наклоняется и высыпает материал на малый конус, после чего идёт вниз за следующей порцией материала. В это время второй скип, находящийся внизу и уже загруженный (скиповая лебёдка построена на принципе уравновешенной двухмассовой системе) начинает движение наверх. Далее по технологической цепочке должен отработать малый конус, для чего следует выполнить следующие условия:

- давление в межконусном пространстве должно быть выровнено до атмосферного;
- на конусе должно находиться определённое количество материала (1-2 скипа);
- на большом конусе должно находиться количество материала меньше, чем требуется для загрузки в печь;
- нет запрета на работу конуса от технологического персонала.

После выполнения выше перечисленных условий малый конус опускается и материал, находящийся на малом конусе ссыпается на большой конус. Далее для загрузки материала в печь необходимо опустить большой конус, на котором к тому моменту должна находиться определённая сумма материала. Если сумма набрана, начинается процесс выравнивания давления в межконусном пространстве с давлением в печи. Выравнивание давление осуществляется уравнительными клапанами, которые делятся на выхлопные и наполняющие. Для повышения давления в межконусном пространстве выхлопные клапана закрываются, а наполняющие открываются и соединяют

линию ПВС высокого давления с межконусным пространством. Давление в межконусном пространстве контролируется датчиками КИП. При достижении давлением установленной величины наполняющие клапана закрываются, и большой конус сбрасывает материал в печь.

Для обеспечения равномерного распределения шихты по радиусу печи предусмотрен ВРШ, который распределяет материал на малом конусе так, что он оказывается именно с той стороны, с которой на данный момент требуется максимальное количество материала для регулирования газопотока через шихту в печи

1.4 Обоснование и выбор рода тока. Типа электропривода и способа регулирования координат. Выбор вида автоматизации технологического процесса.

Исходя из технологических требований к приводу скиповой лебёдки, таких, как точность поддержания скорости и остановки скипа в заданном положении, приходим к выводу, что наиболее простым в управлении для данного привода является двигатель постоянного тока, управляемый тиристорным преобразователем. Привод, реализованный по системе ТП-Д, является наиболее быстродействующим, устойчивым к внешним возмущениям и обладающим наибольшей точностью поддержания заданных параметров.

Проведём сравнительный анализ систем, использующихся для питания двигателя постоянного тока. Для питания электродвигателя в регулируемом электроприводе постоянного тока применяются следующие системы преобразовательных устройств:

- генератор - двигатель (Г _ Д);
- электромашинный усилитель - двигатель (ЭМУ - Д);
- транзисторный преобразователь - двигатель (ТрП - Д);
- тиристорный преобразователь - двигатель (ТП - Д).

Система Г - Д характеризуется своей простотой, малым влиянием на питающую сеть. К недостаткам данного устройства следует отнести большую установленную мощность электрических машин, большое количество коммутирующих аппаратов, шумность системы, невысокий КПД (КПД = 0,86), инерционность системы регулирования.

Система ЭМУ - Д отличается высоким быстродействием, имеет высокий коэффициент усиления по мощности $K_u = 10000$. Недостатками являются наличие двух обмоток управления, характеристики усилителя нестабильны, требуется приводной двигатель.

Система ТрП - Д позволяет реализовать полностью управляемый привод, имеет высокий КПД (КПД = 0,96). К недостаткам можно отнести малую мощность систем, сложность в управлении.

Система ТП - Д обладает множеством достоинств:

- большая жёсткость электромеханических характеристик;
- достаточно высокий КПД (КПД = 0,9);
- бесшумность в работе;
- простота в обслуживании и эксплуатации.

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

Несмотря на отмеченные недостатки, система ТП - Д является в настоящее время основной и наиболее эффективной системой управления.

На основании приведённого сравнительного анализа выбираем систему тиристорный преобразователь - двигатель, как наиболее удовлетворяющую требованиям технологического процесса.

Развитие микропроцессорной техники способствовало появлению цифровых систем управления. Главными причинами применения цифровых систем управления электроприводом были массовый переход от частичной к комплексной автоматизации производства и развития автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) при высокой статической точности регулирования. Характерными особенностями управляющих микро-ЭВМ являются: наличие специальной периферии, обеспечивающей сбор информации о переменных состоянии объекта с жёсткой привязкой времени; выдача в реальном времени оперативной информации (сигналов управления) соответственно темпу протекания динамических процессов в управляемом объекте.

Новым применением микропроцессорной техники в электроприводе стало использование её для прямого цифрового управления, то есть организации сигналов управления с помощью микро-ЭВМ с выдачей управляющих импульсов на тиристоры.

Система строится применительно к одному или нескольким процессам, требующим управления. Даже у относительно простых процессов приходится контролировать, поддерживать в заданных пределах или обеспечивать изменение по заданному закону целой группы параметров.

Значение каждого параметра определяется в результате измерения. Независимо от формы представления результаты измерений по каналам связи передаются к микроконтроллеру.

Микроконтроллер - это устройство обработки информации, ориентированное на совместную работу с некоторой искусственной системой.

Преимущества, достигаемые при использовании микропроцессорных систем управления - это замена электронных, электрических и электромеханических блоков с жёсткой, фиксированной логикой работы, универсальным устройством, программированием которого определяют различные алгоритмы работы электропривода и обслуживаемой им машины.

При этом достигается высокий уровень стандартизации и унификации инженерных решений.

Гибкость и универсальность алгоритмов и простота ввода и вывода сигналов в микро-ЭВМ позволяет разработать локальные микропроцессорные системы управления электроприводами, обеспечивающие простоту сопряжения с устройствами верхнего уровня АСУ ТП и связанное управление многодвигательным приводом или несколькими агрегатами.

Высокая надёжность микропроцессорных систем обеспечивается применением больших интегральных схем (БИС), наличием специальных систем защиты памяти, помехозащищённостью и другими средствами. Возможность выполнения автодиагностики состояния электропривода и технологического агрегата в процессе работы электропривода и функций защиты повышают надёжность работы всего управляемого комплекса.

Микропроцессорные системы позволяют путём введения соответствующих программ реализовать сложные законы управления, в том числе и такие, которые затруднительно или практически невозможно осуществить с помощью аналоговых средств. Микропроцессорные системы снижают затраты и сроки проведения наладочных работ и изменяют их характер, поскольку необходимые эксперименты по определению характеристик и параметров, а также настройка регуляторов может быть произведена автоматически самой микро-ЭВМ по заранее подготовленной программе. Облегчается также анализ аварийных режимов, переходных процессов, которые без потери информации могут быть зарегистрированы в памяти микро-ЭВМ.

Вышеперечисленными свойствами обладает цифровой электропривод SIMOREG К серии 6RA24 производства германской фирмы SIEMENS. Устройства преобразования тока "К" SIMOREG 6RA24 - полностью цифровые, компактные устройства, предназначенные для трёхфазного тока, служащие для регулируемой подачи электроэнергии на якорные и полевые

схемы приводов постоянного тока с регулируемым числом оборотов вращения двигателя. Приборы, благодаря устройству параметризации не требуют дополнительных приборов программирования или измерения. Эффективный 16-битный микропроцессор принимает на себя выполнение всех функций управления и регулирования координат якорной цепи и цепи возбуждения. Функции регулирования в качестве программных модулей реализованы в программах, которые взаимосвязаны через параметры.

Устройства SIMOREG могут параметрироваться посредством электронного табло, расположенного в электронном модуле. Ввод данных производится тремя кнопками, находящимися там же. Так же возможна параметризация устройства через последовательный интерфейс RS232 с помощью стандартного персонального компьютера и программного обеспечения SIMOVIS.

Номинальный ток преобразователей может меняться в пределах от 15 до 1200А. В случае преобразователей на номинальные токи от 640 до 1200А силовая часть выполнена из 6 блоков SITOR, располагающихся в основном конструктиве выдвижного типа. Основной конструктив состоит из рамы с изоляционными частями и шинпроводами для размещения шести блоков SITOR. Силовые выводы комплекта SITOR располагаются на обратной стороне. Преобразователи допускают 1.5-кратное превышение тока, причём продолжительность перегрузки зависит от специфики преобразователя.

Схема выпрямления - мостовая, с встречно-параллельным включением групп вентиляей.

Современная система верхней загрузки

Техническая структура автоматической системы загрузки доменной печи приведена на рисунке 1.3. в её состав входят следующие подсистемы:

- подсистема верхней загрузки;
- подсистема нижней загрузки:
подсистема «КАУПЕР», управляющая работой воздухонагревателей

- доменной печи;
подсистема «КИП», предназначенная для контроля параметров технологического процесса с помощью измерительных приборов

Перечисленные подсистемы построены на основе контроллеров повышенной надёжности фирмы SIEMENS типа SIMATIC. К конструктивной особенности контроллеров этой фирмы можно отнести то, что он состоит из двух связанных между собой резервированных подсистем, работающих по принципу «мастер - помощник», в которых реализован горячий резерв. Обе они идентичны и имеют одинаковую программу пользователя. Оба ЦПУ выполняют расширенное самотестирование и синхронизацию. Одно из устройств - мастер - управляет процессом. Если возникает сбой, другое устройство - помощник - принимает управление на себя. Подобное построение даёт ряд преимуществ:

- автоматическая передача данных и сигналов между главным и резервным ЦПУ - синхронизация по событиям;
- мгновенное переключение на резервный ЦПУ без потерь данных;
- расширенная системная диагностика, уменьшающая время ремонта;
- простое программирование, как для обычного контроллера при помощи стандартного пакета STEP7.

Подсистемы, входящие в состав автоматической системы загрузки, связаны между собой шиной SINEC. Через эту же шину осуществляется связь с другими системами. Подсистема управления верхней загрузкой предназначена для контроля и управления технологическим процессом загрузки шихты в доменную печь. Подсистема управления верхней загрузкой воздействует на механизмы загрузки следующим образом:

- управляет скиповым подъёмником, подсистемой пылеподавления, лебёдкой конусов, наполняющими и выхлопными клапанами межконусного пространства, лебёдкой зондов;

- • следит за последовательностью обрабатываемых операции (синхронизация работы механизмов)
- осуществляет взаимные блокировки между работой механизмов верхней загрузки;

при возникновении внештатной ситуации подсистема генерирует предупреждающее сообщение, возлагая на оператора-технолога функцию принятия решения (в отдельных случаях сама принимает решение и производит его обработку с последующей выдачей сообщения)

1.5 Разработка технического задания.

Разработать систему электропривода лебёдки управления скиповым подъёмом доменной печи, удовлетворяющую следующим требованиям:

Требования к структуре и функционированию системы электропривода

Электропривод лебёдки управления скиповым подъёмом доменной печи создаётся как эффективная и гибкая система, управляемая микроконтроллером. Такое построение должно обеспечить:

- качественное управление объектом;
- необходимую взаимосвязь в процессе работы используемого технологического оборудования;
- упрощение обмена информацией между системой электропривода и управляющими подсистемами автоматической системы управления верхней загрузки;
- повышение надёжности функционирования системы в целом.

Требования к основным техническим параметрам электропривода

- преобразователь реверсивный;
 - сигналы управления - цифровой код;
 - диапазон регулирования $D = 1000$;
- точность остановки скипа в заданной точке + 25 мм.

Требования к питающей сети

Питание электропривода осуществляется от отдельного ввода сети напряжением ЮкВ через преобразующий трансформатор 10/0.4 и частотой переменного тока 50Гц.

Требования к надёжности.

Бесперебойная работа ЭП должна обеспечиваться за счёт высокой надёжности аппаратных и программных средств, а так же квалификации обслуживающего персонала. Гарантийный срок - 1 год. Срок службы электропривода не менее 10 лет.

Требования безопасности.

Требования по безопасности использования системы электропривода должны соответствовать существующим нормам и правилам.

Все элементы аппаратуры электропривода, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного прикосновения, а приборы должны иметь зануление или заземление в соответствии с ПУЭ.

Уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать

Требования к защите от влияния внешних воздействий.

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

По устойчивости к внешним вибрационным воздействиям аппаратура электропривода должна соответствовать исполнению L3.

Аппаратура электропривода должна быть работоспособной в помещении с температурой от - 10 до + 45 °С и относительной влажностью воздуха от 40 до 80% при температуре + 25 °С, давлением от 630 до 800 мм.рт.ст (84 ... 107 кПа).

Требования к системе защиты.

Устройство электропривода должно предусматривать следующие виды защит и блокировок:

- максимально-токовую защиту цепей управления и силовых цепей

- интегрально-токовую защиту;

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

2.1.Выбор и проверка электродвигателя по максимальному моменту и нагреву.

2.1.1 Расчёт мощности двигателей главного подъёмника

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

Мощность двигателей рассчитаем путём определения момента вращения на валу барабана лебёдки с последующей проверкой двигателей по условиям нагрева. Так как момент на валу барабана есть произведение силы натяжения каната на радиус барабана, который представляет постоянную величину, то все последующие расчёты выполнены для определения натяжения канатов. При подъёме груженого скипа натяжение наматывающейся ветви создаётся весом скипа и груза, а также весом самих канатов. Натяжение сматывающейся ветви определяется весом пустого скипа и канатов. Результирующее окружное усилие на ободе барабана в любой момент времени определяется разностью этих натяжений.

Для упрощения расчётов принимаем следующие допущения:

- на всём участке пути до разгрузочной кривой веса скипов и канатов обеих ветвей взаимно уравновешены;
- на разгрузочном участке результирующее натяжение изменяется по закону прямой от величины, определяемой весом груза в скипе G_r в начале участка, до нуля в конце этого участка;

потери в кинематической цепи барабан - скипы, определяемые силами трения в подшипниках скатов и направляющих шкивов, а также жёсткостью канатов при перегибах на шкивах и барабанах, учитываются, как 5% от веса движущихся частей, т.е:

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

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

$gk = 16 \text{ кг}$ - вес погонного метра каната;

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

длина каната

L_n - полезная длина канатов [см.табл. 1];

D_b - диаметр барабана [см.табл. 1];

$G_c = 8400 \text{ кг}$ - вес пустого скипа, кг;

$G_r = 22500 \text{ кг}$ - вес груза, кг.

• принимается, что нижние ветви канатов параллельны наклонному пути скипа.

Исходные данные для расчёта мощности двигателей приведены в таблице 1.

Максимальное окружное усилие $F_{\text{макс}}$ на ободу барабана лебёдки потребуется при подъёме аварийного груза G_r -м на участке пути в скиповой

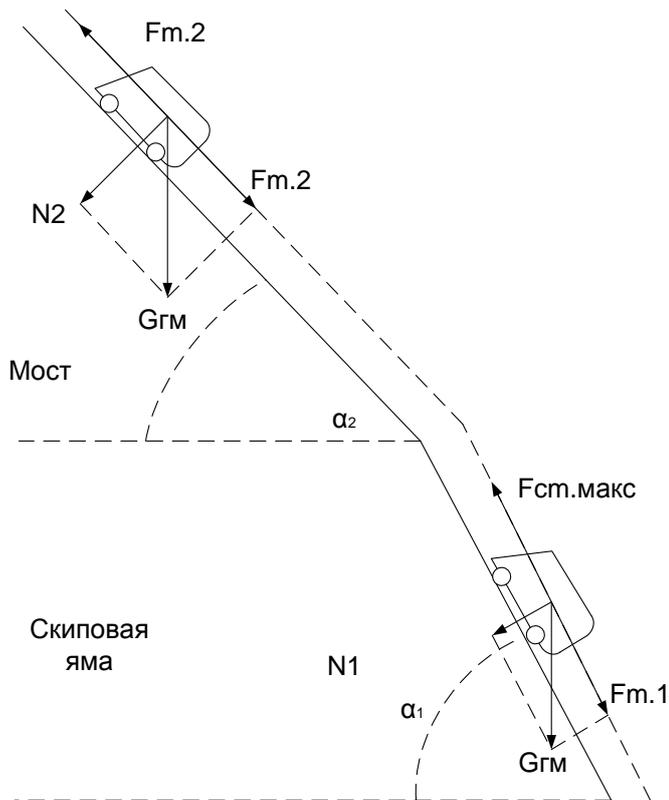


Рисунок 4 - Расчётная схема движения скипа

яме, где статическая составляющая усилия имеет наибольшее значение.

Для решения основного уравнения движения:

$F_{\text{макс}} = F_{\text{Ст.макс}} + P_{\text{дин.макс}}$ необходимо найти составляющие $F_{\text{Ст.макс}}$ и $F_{\text{дин.макс}}$.

Максимальное статическое усилие $F_{\text{Ст.макс}}$ определяем, пользуясь расчётной схемой рисунка 4.

Вес максимального груза $G_{\text{г.макс}}$ можно разложить на две составляющие параллельную пути.

(действующую по канату) силу сопротивления движению $F_{\text{м1}}$ и нормальную $N1$, прижимающую скип к пути и создающую потери на трение в подшипниках скатов. Тогда:

$$F_{\text{м1}} = G_{\text{г.макс}} \cdot \sin(\alpha) = 25000 \cdot \sin(60^\circ) = 21650 \text{ кГ.}$$

и

$$N1 = G_{\text{г.макс}} \cdot \cos(\alpha) = 25000 \cdot \cos(60^\circ) = 12500 \text{ кГ.}$$

Максимальное статическое усилие на ободу барабана:

$$F\text{-ст.макс} = F_{m1} + F_0 = 21650 + 2522 = 24172 \text{кГ}.$$

Максимальное динамическое усилие на ободу барабана;

$$P.\text{д.макс} = \sum m \cdot a.\text{макс}, (1)$$

где: $\sum m$ - сумма приведённых к канату движущихся масс; $a.\text{макс} = 0,35 \text{м/сек}^2$ - ускорение;

Так как известна суммарная маховая масса механизма и двух двигателей: $\sum GD^2_{\delta} = 39000 \text{кГм}^2$ - суммарный маховый момент барабана (на собственном валу);

$\sum GD^2_m = 30000 \text{кГм}^2$ - суммарный маховый момент шести шкивов (на собственном валу);

$\sum GD^2_3 = 2200 \text{кГм}^2$ - суммарный маховый момент зубчатых колёс редуктора (на промежуточном валу);

$\sum GD^2 = 700 \text{кГм}^2$ - суммарный маховый момент двух двигателей и тормозных шкивов (на валу двигателей).

Найдём суммарное значение приведённых к канату инерционных масс. Для этого найдём сумму приведённых к канату масс барабана, редуктора, шести шкивов и двух двигателей:

$$\begin{aligned} \dot{a} m_1 &= \frac{GD_{\delta}^2 + GD_m^2 + GD_3^2 + i_2^2 + GD_{\delta}^2 \cdot i^2}{g \cdot D_{\delta}^2} = \\ &= \frac{39000 + 30000 + 2200 \cdot 5,6^2 + 700 \cdot 18,6^2}{9,8 \cdot 2^2} = 6998 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}} \end{aligned}$$

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

D_{δ} - диаметр барабана [см.табл. 1]

Так же найдём приведённые массы всех поступательно движущихся частей механизма:

$$m_n = \frac{G_{k+2} + G_c + G.\text{г.макс}}{g} = \frac{11140 + 2 \cdot 8400 + 25000}{9,8} = 5402 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$$

тогда суммарное значение приведённых к канату инерционных масс определим из следующего выражения:

$$\dot{a} m = \dot{a} m_1 + m \dot{a} = 9698 + 5402 = 15100 \frac{\text{кг} \times \text{сек}^2}{\text{м}}$$

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

$$F_{\text{д.макс}} = 15100 \times 0,35 = 5285 \text{ кг}$$

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

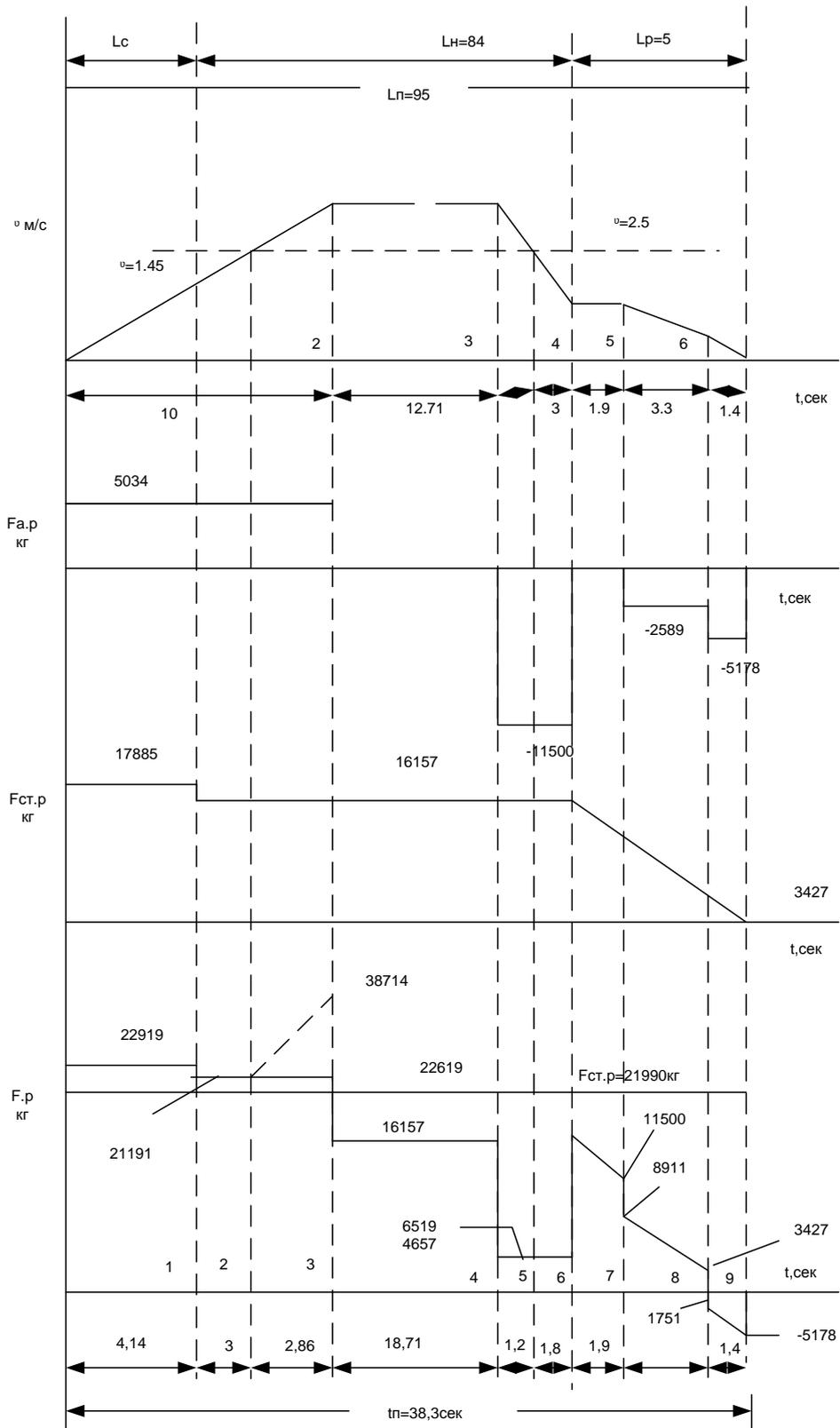


Рисунок 5 - Расчётные графики усилий при подъёме рудного скипа

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:

$\gamma_{р} = 1,8$ - коэффициент веса для рудной части;

$\gamma_{к} = 0,45$ - 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:

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

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

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

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

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

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

$t_{п} = 38$ с;

$t_{вв} = 30$ с;

$t_{к} = 30$ с;

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

Найдём полезный вес груза в скипе:

$G_{г} - p = \gamma_{р} \times Q \cdot c = 1,8 \times 10000 = 18000$ кг

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

$$F_{\text{Г-р}} = G_{\text{Г-р}} \times \sin(\alpha_1) = 18000 \times \sin(60^\circ) = 18000 \text{ кГ}$$

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

$$F_{\text{С-р}} = 0,05 \times (G_{\text{к}} + 2 \times G_{\text{с}} + G_{\text{Г-р}}) = 0,05 \times (11140 + 2 \times 8400 + 18000) = 2297 \text{ кГ}$$

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

$$F_{\text{Сст-р}} = F_{\text{Г-р}} + F_{\text{С-р}}, \text{ кГ}; \quad (3)$$

$$F_{\text{Гст-р}} = F_{\text{Г-р}} + F_{\text{С-р}}, \text{ кГ}, \quad (4)$$

Где $F_{\text{Г-р}} = G_{\text{Г-р}} \times \sin(\alpha_2)$, кГ - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F_{\text{Г-р}} = 18000 \times \sin(50.35^\circ) = 13860 \text{ кГ}.$$

Найдём значение выражений 3 и 4

$F_{\text{Сст-р}} = 15588 + 2297 = 17885$ кГ. - статическое усилие на ободе барабана на участке в скиповой яме.

$F_{\text{Гст-р}} = 13860 + 2297 = 16157$ кГ.. - статическое усилие на ободе барабана на прямолинейном участке моста.

Найдём приведённые к канату инерционные массы:

1) всех поступательно движущихся частей:

$$m_{\text{Г-р}} = \frac{G_{\text{к}} + 2 \times G_{\text{с}} + G_{\text{Г-р}}}{g} = \frac{11140 + 2 \times 8400 + 18000}{9,8} = 4687 \frac{\text{кГ} \times \text{сек}^2}{\text{м}}.$$

2) суммарное значение

$$\sum m_{\text{Г-р}} = \sum m_{\text{Г-р}} + \sum m_1 = 4687 + 9698 = 14358 \frac{\text{кГ} \times \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

1) на участке 0-2 в скиповой яме

$$F_{ap-02} = \dot{a} \text{ м.р} \times a_{01} \quad (5)$$

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

$$F_{ap-34} = -\dot{a} \text{ м.р} \times a_{34} \quad (6)$$

3) на участке 5-6 (второе замедление)

$$F_{ap-56} = -\dot{a} \text{ м.р} \times a_{56} \quad (7)$$

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

$$F_{ap-67} = -\dot{a} \text{ м.р} \times a_{67} \quad (8)$$

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:

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

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

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

Где $L_{02} = 95 \text{ м}$ - 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:

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

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

$$t_{34}=\frac{u_3 - u_4}{a_{34}}, \quad (11)$$

где $u_3=3,5\text{м/с}$ - скорость скипа на прямолинейном участке наклонного моста.

$u_4=1,1\text{м/с}$ - 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:

$$L_{34}=\frac{u_3 - u_4}{2} \times t_{34} = \frac{3,5 - 1,1}{2} \times 3 = 6,9\text{м}.$$

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:

$$t_{45}=\frac{L_{45}}{u_4}=\frac{2,1}{1,1}=1,9\text{с}.$$

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:

$$t_{56} = \frac{2 \times L_{56}}{u_5 + u_6}, \quad (14)$$

где $u_5 = 1,1\text{м/сек}$ - скорость в точке 5 [4, стр. 188]

$u_6 = 0,5\text{м/сек}$ - скорость в точке 6 [4, стр. 188]

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

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

Найдём замедление на участке 5-6:

$$t_{56} = \frac{u_5 \times u_6}{t_{56}} = \frac{1,1 \times 0,5}{3,3} = 0,18\text{м/с}^2.$$

Найдём время прохождения участка 6-7:

$$t_{67} = \frac{2 \times L_{67}}{u_6} = \frac{2 \times 0,35}{0,5} = 1,4\text{с.}$$

Тогда среднее замедление на участке 6-7 равно:

$$a_{67} = \frac{u_6}{t_{67}} = \frac{0,5}{1,4} \approx 0,36\text{м/с}^2.$$

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 ободе барабана на участке 0 - 2 (в скиповой яме):

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

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

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

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

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

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

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

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 a 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 разовьёт скип по выходу с участка скиповой ямы;

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

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

$$t_1 = \frac{u_2 - u}{a_{02}}, \quad (16)$$

где $u_2 = 2,5 \text{ м/сек}$ – 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_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 :

$$F_{p01} = F_{ap-02} + F_{cf-p} = 5034 + 17885 = 22919 \text{ кГ}$$

2) для времени t_1 :

$$F_{p12} = F_{ap-02} + F_{cf-p} = 5034 + 16157 = 21191 \text{ кГ}$$

3) для времени t_2 :

$$F_{p23} = (F_{ap-02} + F_{cf-p}) \times \frac{u_{23}}{2,5} = (5034 + 16157) \times \frac{3,5}{2,5} = 38714 \text{ кГ}$$

где $\frac{u_{23}}{2,5}$ - 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_{cf-p}

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p34} = F_{ст-р} \times \frac{u_{23}}{2,5} = 16157 \times \frac{3,5}{2,5} = 22619 \text{кГ}$$

5) для времени t_{45} :

с ослаблением потока:

$$F_{p45} = (F_{ст-р} + F_{ар-34}) \times \frac{u_{23}}{2,5} = (16157 - 11500) \times \frac{3,5}{2,5} = 6519 \text{кГ}$$

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 $F_{ст-р}$ (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 ободу барабана при подъёме рудного скипа:

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

где t_y - время движения с равномерной скоростью;

$$t_y = t_{34} = 18,71 \text{ сек};$$

t_a - время движения с переменной скоростью;

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

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} :

$$F_{\Phi 23} = \frac{F_p 12 + F_p 23}{2} = \frac{21191 + 38714}{2} = 29952 \text{ кГ}$$

для временного интервала t_{45} :

$$F_{\Phi 45} = \frac{F_p 45 + F_p 45}{2} = \frac{6519 + 4657}{2} = 5588 \text{ кГ}$$

для временного интервала t_{67} :

$$F_{\Phi 67} = \frac{F_{ст-р} + F_{ст-р1}}{2} = \frac{16157 + 11500}{2} = 13828,5 \text{ кГ}$$

для временного интервала t_{78} :

$$F_{\Phi 78} = \frac{F_p 67 + F_{ст-р2}}{2} = \frac{8911 + 3427}{2} = 6169 \text{ кГ}$$

для временного интервала t_{89} :

$$F_{\Phi 89} = \frac{F_p 78 + F_{ар-67}}{2} = \frac{-1751 - 5178}{2} = 3464,5 \text{ кГ}$$

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

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{F_{р01}^2 \times t_1 + F_{р12}^2 \times t_1 + F_{\Phi 23}^2 \times t_2 + F_{р34}^2 \times t_{34} + F_{\Phi 45}^2 \times t_{45} + F_{\Phi 56}^2 \times t_{56} + F_{\Phi 67}^2 \times t_{67} + F_{\Phi 78}^2 \times t_{78}}{t_y + 0,75 \times a}}$$

$$F_{ск-р} = \sqrt{\frac{22919^2 \times 4.14 + 21191^2 \times 3 + 27654^2 \times 2.86 + 22619^2 \times 8.71 + 5588^2 \times 1.2 + 138285^2 \times 1.9 + 6169^2 \times 3.3 + 34645^2 \times 1.4}{18.71 + 0.75 \times 9.59}}$$

$$F_{ст-р} = 21990 \text{ кГ}$$

Найдём среднеквадратичную мощность двигателя при подъёме рудного скипа:

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

где $u_{\text{м}} = 3,5 \text{ м/сек}$ - 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:

$$G_{\text{г-к}} = g_{\text{р}} \times Q_{\text{с}} = 0,45 \times 10000 = 4500 \text{ кГ}$$

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

$$F_{\text{г-к}} = G_{\text{г-к}} \times \sin(\alpha_1) = 4500 \times \sin(60^\circ) = 3897 \text{ кГ}$$

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

$$F_{\text{с-к}} = 0,05 \times (G_{\text{к}} + 2 \times G_{\text{с}} + G_{\text{г-к}}) = 0,05 \times (11140 + 2 \times 8400 + 4500) = 1622 \text{ кГ}$$

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 $F_{\text{г-к}} = G_{\text{г-к}} \times \sin(\alpha_2)$ - сопротивление движению на прямолинейном участке моста.

$$F_{\text{г-к}} = 4500 \times \sin(50,35^\circ) = 3464 \text{ кГ}$$

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:

$$m_{\text{ст-к}} = \frac{G_{\text{к}} + 2 \times G_{\text{с}} + G_{\text{г-к}}}{g} = \frac{11140 + 2 \times 8400 + 4500}{9.8} = 3311 \frac{\text{кг} \times \text{сек}^2}{\text{м}}$$

2) суммарное значение

$$\dot{a} m_{\text{к}} = m_{\text{ст-к}} + \dot{a} m_1 = 3311 + 9698 = 13008 \frac{\text{кг} \times \text{сек}^2}{\text{м}}$$

Определим динамические усилия на ободе барабана:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1) для времени t :

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

2) для времени t_1 :

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

3) для времени t_2 :

$$F_{\text{р 23}} = (F_{\text{ак-02}} + F_{\text{ст-к}}) \times \frac{u_{23}}{2,5} = (4552 + 5086) \times \frac{3,5}{2,5} = 13493 \text{кГ}$$

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

(фиктивные) усилия при ослаблении поля двигателей.

4) для времени t_{34} :

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно $F_{ст-к}$

расчётное (фиктивное) усилие с ослабления поля равно:

$$F_{p34} = F_{ст-к} \times \frac{u_{23}}{2,5} = 5086 \times \frac{3,5}{2,5} = 7120 \text{кГ}$$

5) для времени t_{45} :

с ослаблением потока:

$$F_{p45} = (F_{ст-к} + F_{ак-34}) \frac{u_{23}}{2,5} = (5086 + 10406) \times \frac{3,5}{2,5} = - 7448 \text{кГ}$$

без ослабления потока:

$$F_{p45} = F_{ст-к} + F_{ак-34} = 5086 + 10406 = - 5320 \text{кГ}$$

6) для времени t_{56} :

$$F_{p56} = F_{ст-к} + F_{ак-34} = 5086 + 10406 = - 5320 \text{кГ}$$

7) для времени t_{67} :

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

$F_{ст-к} = 0$. Тогда:

$$F_{p67} = F_{ст-к} + F_{ак-56} = 3621 + 2341 = 1280 \text{кГ}$$

7) для времени t_{78} :

$$F_{p78} = F_{ст-к} + F_{ак-67} = 1078 + 4682 = - 3604 \text{кГ}$$

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} :

$$F_{\Phi 23} = \frac{F_p 12 + F_p 23}{2} = \frac{9638 + 13493}{2} = 11565 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{45} :

$$F_{\Phi 67} = \frac{F_{\text{ст-р}} + F_{\text{ст-к1}}}{2} = \frac{5086 + 3621}{2} = 4353 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{78} :

$$F_{\Phi 78} = \frac{F_p 67 + F_{\text{ст-к2}}}{2} = \frac{1280 + 1078}{2} = 1179 \text{кГ}$$

для временного интервала t_{89} :

$$F_{\Phi 89} = \frac{F_p 78 + F_{\text{ак-67}}}{2} = \frac{-3604 - 4682}{2} = -4143 \text{кГ}$$

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

$$F_{\text{ск-р}} = \sqrt{\frac{F_{p01}^2 \times t_1 + F_{p12}^2 \times t_1 + F_{\Phi 23}^2 \times t_2 + F_{p34}^2 \times t_{34} + F_{\Phi 45}^2 \times t_{45} + F_{\Phi 56}^2 \times t_{56} + F_{\Phi 67}^2 \times t_{67} + F_{\Phi 78}^2 \times t_{78}}{t_y + 0,75 \times a}}$$

$$F_{\text{ск-р}} = \sqrt{\frac{10071^2 \times 4.14 + 9638^2 \times 3 + 11565^2 \times 2.86 + 7120^2 \times 8.71 + 6384^2 \times 1.2 + 4353^2 \times 1.9 + 1179^2 \times 3.3 + 4132^2 \times 1.4}{18.71 + 0.75 \times 9.59}}$$

$$F_{\text{ст-к}} = 8010 \text{кГ}$$

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

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

Из выражения 2.1 найдём среднеквадратичную мощность двигателя:

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

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

обеспечения максимальной производительности.

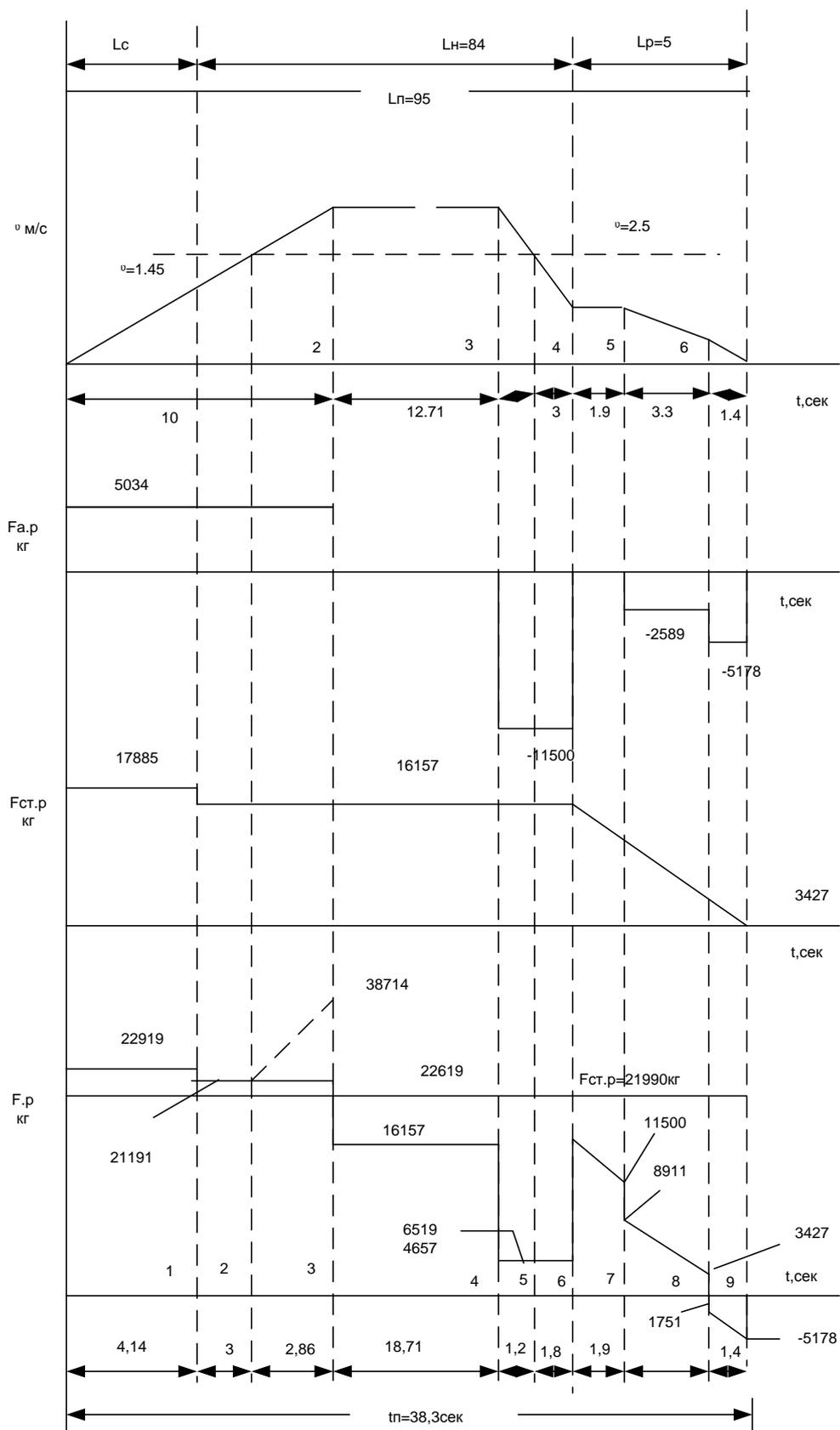


Рисунок 6 - Расчётные графики усилий при подъёме коксового скипа

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 715вит/пол;	$w_{д=}$
Номинальный ток возбуждения	$I_{н.в} = 6,7/4,4\text{А};$
Номинальный поток на полюс	$\Phi_n = 0,0725/0,052\text{Вб};$
Число пар полюсов	$p = 3;$
Сопротивление обмотки якоря	$R_{\text{оя.д20}}^{\text{оф}} = 0,0075\text{Ом}$
Сопротивление добавочных полюсов	$R_{\text{дп.д20}}^{\text{оф}} = 0,0015\text{Ом}$
Сопротивление компенсационной обмотки	$R_{\text{ко.д20}}^{\text{оф}} = 0,004\text{Ом}$
Сопротивление обмотки возбуждения 17,9Ом	$R_{\text{ов.д20}}^{\text{оф}}$



Рисунок 7 – 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

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

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

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

Эквивалентный момент инерции электропривода

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

2.2.2 Выбор вентильного преобразователя

Исходя из параметров выбранного электродвигателя выбираем реверсивный тиристорный преобразователь типа SIMOREG-K - 6RA2491-4DV62-0.



Рисунок 8 – Преобразователь скипового подъемника

Преобразователи SIMOREGDCMASTER серии 6RA70 являются полностью цифровыми компактными преобразователями с питанием от трехфазной сети и служат для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока с регулируемой скоростью с номинальными токами якоря от 15 А до 2200 А. Параллельным включением компактных преобразователей возможны токи до 12000 А. Питание обмотки возбуждения возможно с токами до 85 А (в зависимости от номинального постоянного тока якоря).

В зависимости от использования преобразователи могут работать в нереверсивном или в реверсивном режиме. Преобразователи автономны

благодаря интегрированной системе настройки параметров и не требуют дополнительных устройств для параметрирования. Все функции управления и регулирования, а также контрольные и вспомогательные функции выполняются под управлением одной микропроцессорной системы. Ввод заданного и текущего значения может производиться по выбору в цифровом или в аналоговом виде.

Преобразователи SIEMENS SIMOREG 6RA70 отличаются компактностью и экономией пространства для своей установки. В дверцу преобразователя встроен электронный бокс, который включает в себя модули регулирования. Этот бокс может быть дополнен модулями для технологических функций и последовательных интерфейсов. Благодаря удобной доступности отдельных элементов эта техника предоставляет Вам высокую степень дружелюбности сервиса.

Внешние сигналы (двоичные входы/выхода), аналоговые входы/выходы, импульсные датчики, и т.д.) подключаются посредством вставляемого штеккера. Программное обеспечение преобразователя хранится в flash EPROM. Обновление программного обеспечения может быть легко загружено по последовательному интерфейсу в базовый блок.

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	m_b	6
	Номинальное выпрямленное напряжение	U_N	420В
	Номинальный выпрямленный ток	I_N	2 x 850А
	Кратность перегруза по току ТП	I_{\max}/I_N	1,5

2.2.3 Расчёт и выбор силового трансформатора

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

Найдём расчётное значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

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

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

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

$\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ$ - минимальный угол открывания тиристорov.

- коэффициент, учитывающий падение

$$\cos(\alpha_{\text{МНН}}) \cos(30)$$

напряжения в преобразователе.

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

$$U_{d, \text{макс}} = c \times \omega_H \times 2.5 \times I_H \times R_{\text{дв.гор}} = 5,97 \times 2,36 \times 2,5 \times 860 \times 0,01 = 269 \text{ В}$$

максимальное напряжение на двигателе

Тогда из выражения(21)

$$U_{2\phi, \text{расч}} = 0,428 \times \frac{1}{0,85} \times 1,155 \times (1 + 0,1 \times \frac{2.5 \times 860}{860}) \times 269 = 195,5 \text{ В}$$

Расчётное действующее значение фазового тока вторичной обмотки

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

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,

$$I_d = I_H$$

Расчётная типовая мощность трансформатора:

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \times \frac{U_{2\text{ф.расч}}}{K_{u2}} \times K_I \times I_d = 1.045 \times \frac{195.5}{0.428} \times 1.1 \times 860 = 4.516 \times 10^5 \text{ В} \times \text{А},$$

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

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме рабочей перегрузки двигателя

$$S_{\text{тр.расч}} = K_S \times (1 + K_R \times 2.5) \times K_I \times P_{\text{дв.макс}}$$

$$S_{\text{тр.расч}} = 1,045 \times (1 + 0,1 \times 2.5) \times 1,1 \times 709500 = 1,019 \times 10^6 \text{ В} \times \text{А}$$

Где $P_{\text{дв.макс}} = 0,2 \times U_H \times I_H = 2.5 \times 330 \times 860 = 709500 \text{ Вт}$ - максимальная мощность, потребляемая двигателем.

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

Напряжение первичной обмотки трансформатора U_H	10кВ;
Номинальная мощность S_H	554кВА;
Активная мощность потерь к.з в обмотках трансформатора $DP_{\text{кз}}$	6350Вт;
Относительное напряжение к.з трансформатора $U_{\text{кз}\%}$	6,2%;
Линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора $U_{2\text{Л.Н}}$	313В;
Линейный ток вторичной обмотки трансформатора $I_{2\text{Л.Н}}$	1020А;
Схема соединения обмоток трансформатора	Y / D- 11.

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

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

Активное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$R_{\text{тр.ф}} = \frac{DP_{\text{кз}}}{m_2 \times I_{2\text{ф.н}}^2} = \frac{6350}{3 \times 1020^2} = 0,00202 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

$$Z_{\text{тр.ф}} = \frac{U_{\text{кз}\%} \times U_{2\text{ф.н}}}{100 \times I_{2\text{ф.н}}} = \frac{6.2 \times 81}{100 \times 1020} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление обмотки трансформатора на фазу

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

Индуктивность обмотки трансформатора на фазу

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

2.2.4 Выбор токоограничивающих реакторов

Полное сопротивление токоограничивающего реактора определяется по формуле

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

где $U_{\text{кз}\%}$ - относительное напряжение

короткого замыкания реактора, $U_{\text{кз}\%} = 4$

$U_{\text{ф.н}}$ - номинальное фазное напряжение сети.

Реактивное сопротивление фаз реактора

$$X_p \gg Z_p = 0,011 \text{ Ом.}$$

Индуктивность фазы реактора

$$L_p = \frac{X_p}{\omega_c} = \frac{0.011}{314} = 0,03 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Расчётное значение тока, протекающего через реактор равно

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

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

Номинальный ток фазы реактора $I_{\text{Р.Ф}} = 660 \text{ А};$

Индуктивность фазы реактора Активное $L_{\text{Р.Ф}} = 0,034 \times 10^{-3} \text{ Гн};$

Активное сопротивление фазы реактора $R_{\text{Р.Ф}} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ Ом.}$

Найдём реактивную составляющую сопротивления токоограничивающего реактора

$$X_{\text{Р.Ф}} = L_{\text{Р.Ф}} \times \omega = 0,034 \times 10^{-3} \times 314 = 0,0107 \text{ Ом.}$$

2.2.5 Определение параметров фаз

Фазное активное сопротивление

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

Фазная индуктивность

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

Реактивная составляющая полного сопротивления фазы

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

2.2.6 Определение параметров эквивалентного преобразователя

Эквивалентное фазное сопротивление преобразователя

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

Эквивалентная фазная индуктивность преобразователя

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

Эквивалентное реактивное сопротивление преобразователя

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

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:

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

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

$$K_{\text{гр.макс}} = 1 - \frac{\rho}{m_B} \times \text{ctg} \frac{\rho}{m_B} = 1 - \frac{3,141}{6} \times \text{ctg} \frac{3,141}{6} = 0,093.$$

Индуктивность добавочного дросселя определяется по следующему выражению:

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

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 $E_d = E_{d0} \times \cos \alpha$,

и переменную, состоящую из спектра гармоник. Ограничиваемая с учётом влияния первой гармоники необходимая величина индуктивности цепи выпрямленного тока может быть определена по выражению:

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

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

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

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

Индуктивность добавочного дросселя определим из следующего выражения:

$$L_{\text{др2}} = L_{\text{кн2}} - 2 \times L_{\text{тр.н}} - L_{\text{дв}} = 0,00126 - 0,000068 - 0,0003664 = 1,15 \times 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Из [5] выбираем дроссель типа **ФРОС - 1000/0,5УЗ** 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:

$$R_{\text{яц}} = R_{\text{дв.гор}} + 2 \times R_{\text{ф.э}} + R_{\text{др}} + R_{\text{к}} = 0,02 + 0,0033 + 0,0031 + 0,0102 = 0,035 \text{ Ом.}$$

где $R_{\text{к}} = \frac{m_B \times X_{\text{ф.э}}}{2 \times \varphi} = \frac{6 \times 0,01075}{2 \times 3,14} = 0,0102 \text{ Ом}$ - сопротивление, вносимое за счет

коммутации анодных токов.

Расчётное значение индуктивности силовой цепи:

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

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:

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

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 $w = \pm w_{\text{макс}}$ и зависимостью $\pm I_{\text{доп}}(w)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой системы преобразователь - двигатель. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками, соответствующими работе проводящей группы вентиля 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 $w = w_{\text{макс}}$ и $I = I_{\text{н}}$ 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:

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

$$\text{где } E_{d0} = \frac{(U_{2\text{ф.н}} / \sqrt{3})}{K_{u2}} = \frac{(313 / \sqrt{3})}{0,428} = 422,221 \text{ В} - \text{ ЭДС преобразователя при угле}$$

управления $\alpha = 0^\circ$

$$w_{\text{максвыпрнормф}} = \frac{1}{c} \times (E_{d0} \times \cos(\alpha_{\text{мин}}) - 2,5 \times I_d \times R_{\text{яц}}) = \frac{1}{5,97} \times (422,221 \times \cos(20^\circ) - 2,5 \times 860 \times 0,035) = 53,85 \text{ рад/с},$$

Координаты при ослаблении потока.

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

$$w_{0,\text{выпр.осл.ф}} = \frac{1}{c1} \times (E_{d0} \times \cos(\alpha_{\text{мин}})) = \frac{1}{4,282} \times (422,221 \times \cos(20^\circ)) = 92,65 \text{ рад/с, где}$$

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

электродвигателя при ослабленном потоке.

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

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

$$w_{\text{максвыпрослф}} = \frac{1}{c1} \times (E_{d0} \times \cos(\alpha_{\text{мин}}) - 2 \times I_d \times R_{\text{яц}}) = \frac{1}{4,282} \times (422,221 \times \cos(20^\circ) - 2 \times 860 \times 0,035) = 78,59 \text{ рад/с},$$

Рассчитаем и построим электромеханические характеристики при

работе токопроводящей группы в режиме предельного инвертирования.

При номинальном потоке:

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

где $d_1 = \frac{180 \times w_c \times t_B}{p} = \frac{180 \times 314 \times 50 \times 10^{-6}}{3,14} = 2,7^\circ$ - угол, соответствующий

времени восстановления запирающих свойств тиристора t_B .

$t_B = 150 \times 10^{-6}$ сек - время восстановления запирающих свойств тиристора

$d_2 = 2^\circ$ - предельно допустимое значение асимметрии импульсов управления.

$$d = d_1 + d_2 = 2 + 2,7 = 4,7^\circ$$

$$W_{\text{макс.инв.норм.ф}} = \frac{1}{c} \times (E_{d0} \times \cos(d) - (\frac{m_B}{p} \times X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \times 2,5 \times I_{\text{д.и}})$$

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

При ослабленном потоке:

$$W_{0.инв.осл.ф} = \frac{1}{c_1} \times (E_{d0} \times \cos(d)) = \frac{1}{4,282} \times \cos(4,7^\circ) = 98,27 \text{ рад/с}.$$

$$W_{\text{макс.инв.осл.ф}} = \frac{1}{c_1} \times (E_{d0} \times \cos(d) - (\frac{m_B}{p} \times X_{\text{тр.ф}} - R_{\text{яц}}) \times 2 \times I_{\text{д.и}})$$

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

На основании расчетных данных строим заданную область существования электромеханических характеристик при номинальном и ослабленном потоке двигателя (рисунок 10).

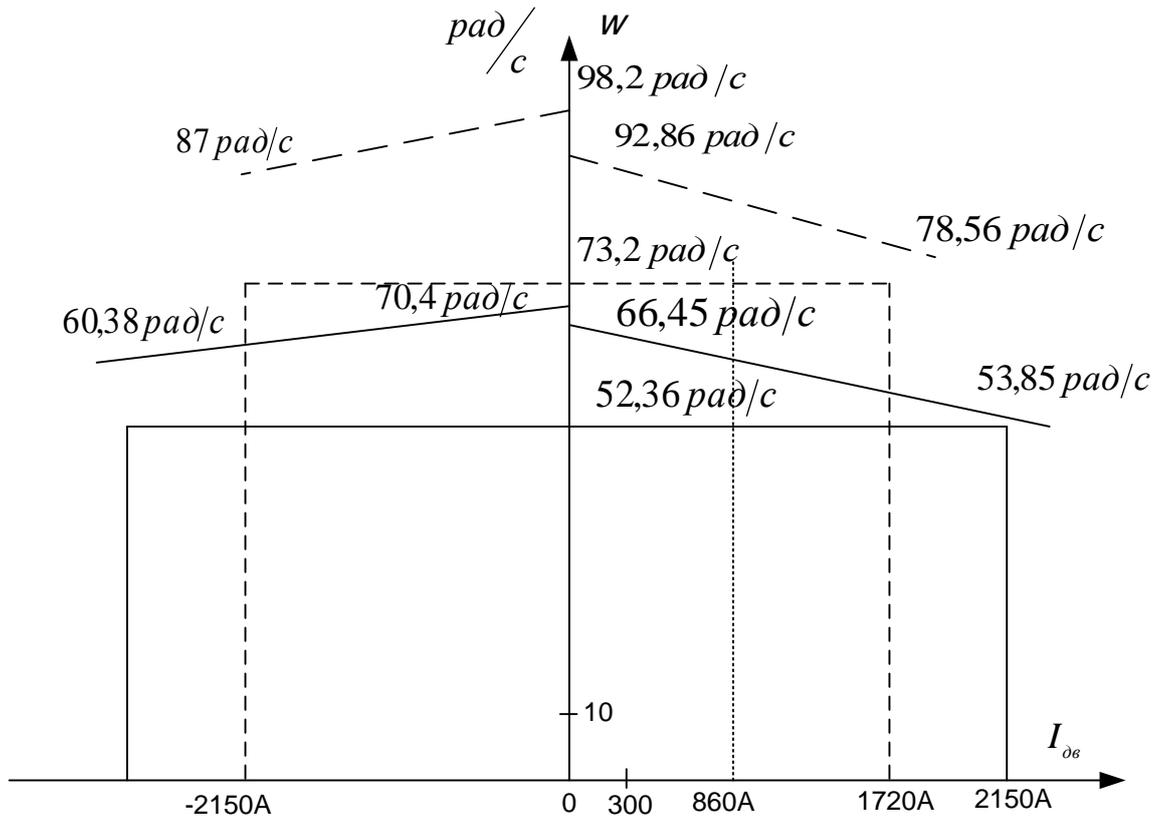


Рисунок 10-Область существования электромеханических характеристик
Пунктиром показаны характеристики при ослаблении потока.

2.4 Электромеханические характеристики системы преобразователь

- двигатель

Скорость вращения вала электродвигателя:

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

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

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

DU_{θ} – прямое падение напряжение на тиристоре.

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

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

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

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

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол 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:

$$q_0(a) = \frac{180}{\rho} \times \frac{\alpha}{e} \times \cos a(w) + \frac{\alpha \rho}{e^2} + \frac{\rho}{m_e} \frac{\ddot{\omega}}{\omega}$$

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

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

где угол $l = \frac{2 \times 180}{m_e} = 60$ град – угол проводимости тиристоров;

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

$$q = \arctan \frac{\alpha \omega_0 \times L_{яц} \frac{\ddot{\omega}}{\omega} \times \frac{180}{\rho}}{e R_{яц}}$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(a) = \frac{m_e}{2 \times \rho} \frac{\alpha}{e} \cos \frac{\alpha}{e} q_0(a) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\omega}}{\omega} - \cos \frac{\alpha}{e} (l + q_0(a)) \times \frac{\rho}{180} \frac{\ddot{\omega}}{\omega} - l \times \frac{\rho}{180} \times e_{ep}(a) \frac{\ddot{\omega}}{\omega}$$

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

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

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

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов.

Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 11:

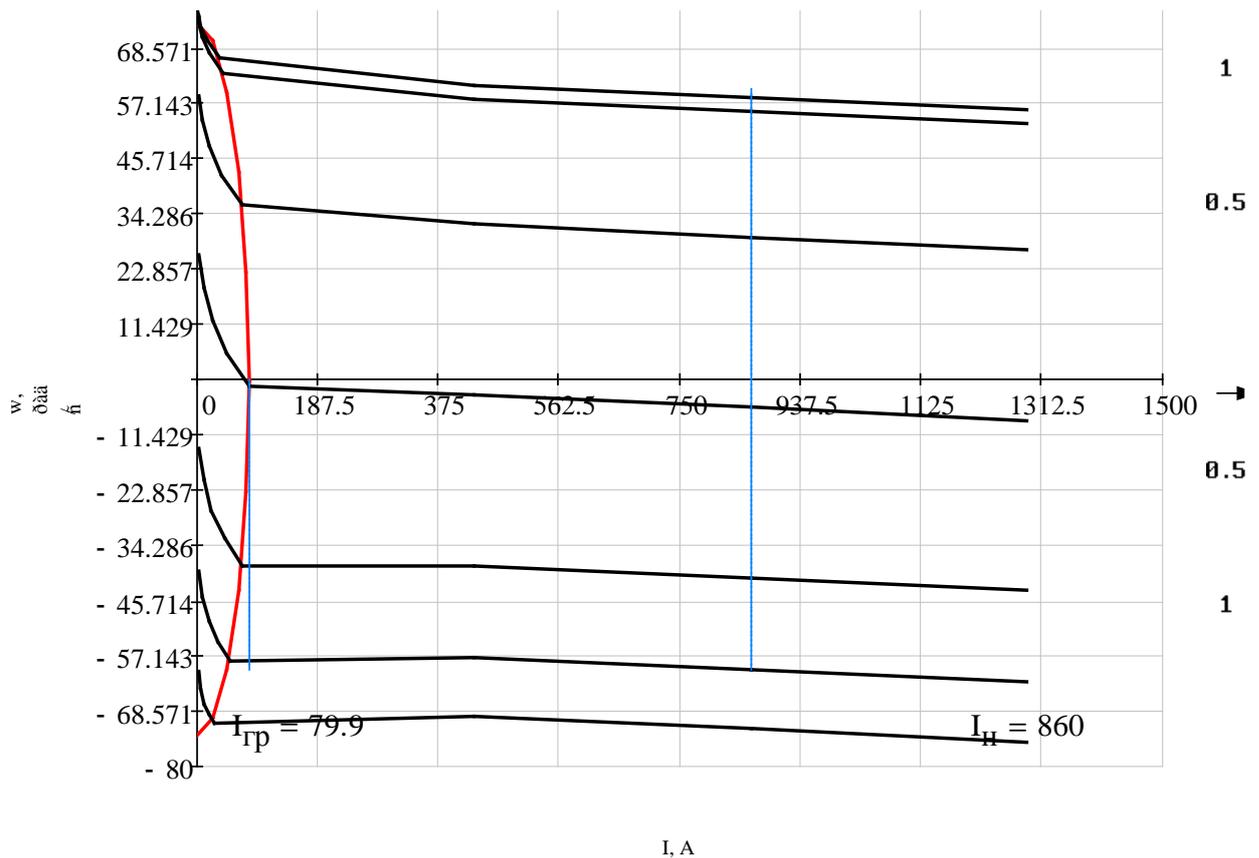


Рисунок 1 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с раздельным управлением

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

2.5 Структурная схема линейризованной САУ

Структурная схема линейризованной САУ регулируемого электропривода приведена на рисунке 12

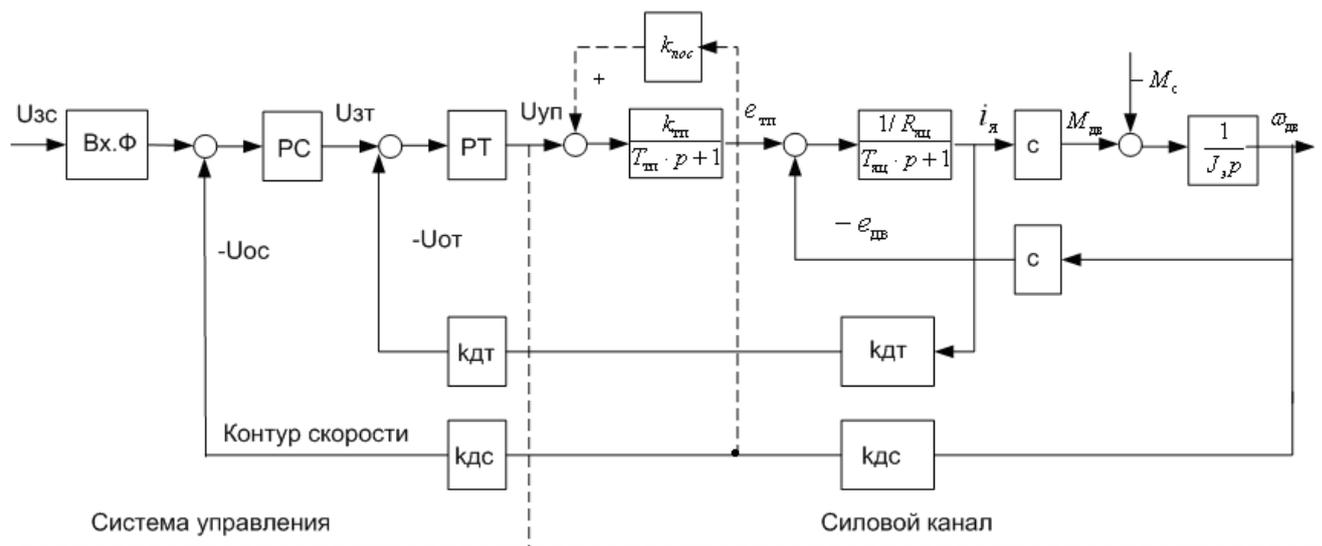


Рисунок 12 – Структурная схема линейризованной САУ РЭП

2.6 Синтез системы автоматического управления электроприводом.

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

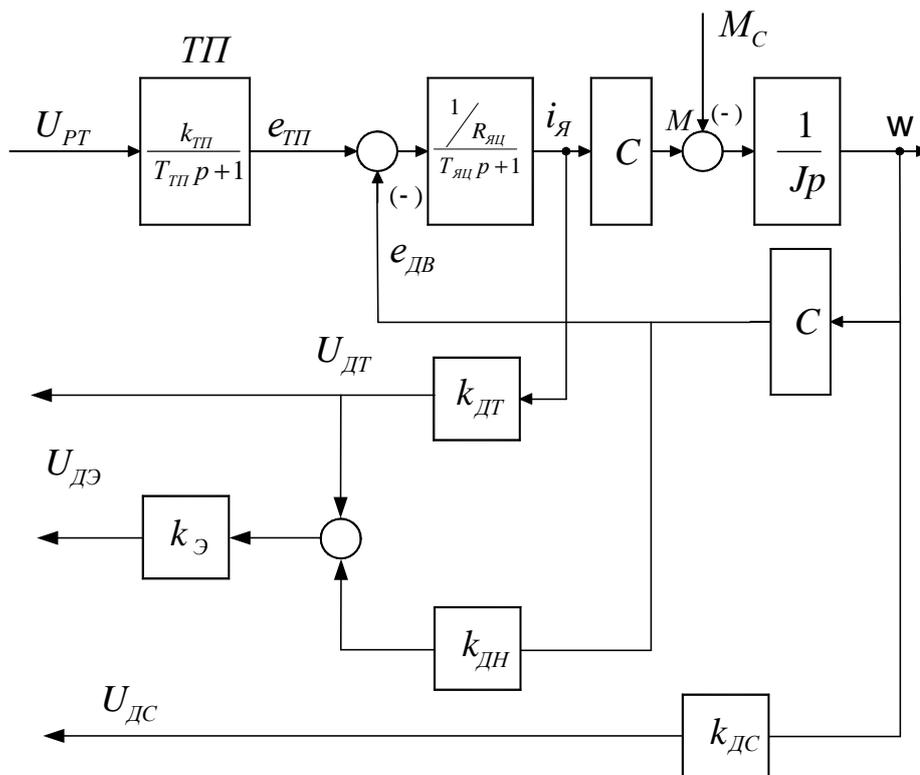


Рисунок 13-Структурная схема силового канала тиристорного электропривода

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

В зависимости от вида аппроксимации ТП встречаются два варианта структуры 3:

- 1) Структура 3а: ТП представлен линейным безынерционным звеном ($T_p = 0$)
- 2) Структура 3б: ТП представлен инерционным звеном с некоторой фиктивной малой постоянной времени контура тока

$$T_{мня} = \frac{0,5}{m_e \times f_c} = \frac{0,5}{6 \times 50} = 0,00167c$$

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

На рисунке (пункт 8) приведена структурная схема линеаризованной САУ РЭП, которая соответствует структуре 36 [4]. Дальнейший расчёт осуществляется для структуры 36 по методике 8 [4]. В ней оптимизируется реакция системы на управляющее воздействие и рекомендуется одна точка настройки F, имеющая следующие коэффициенты оптимальной настройки [4 таблица 3.4, стр.41].

$$a_T = 2; a_c = 2; T_c = 2.$$

Расчётные выражения для оптимальных параметров настройки приведены в [4, таблица 3.3, стр.40]

Определим значение максимальной угловой частоты вращения двигателя

$$\omega_{\max} = \frac{\rho \times n_{\max}}{30} = \frac{3.14 \times 700}{30} = 73.26 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

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 36 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:

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

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

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

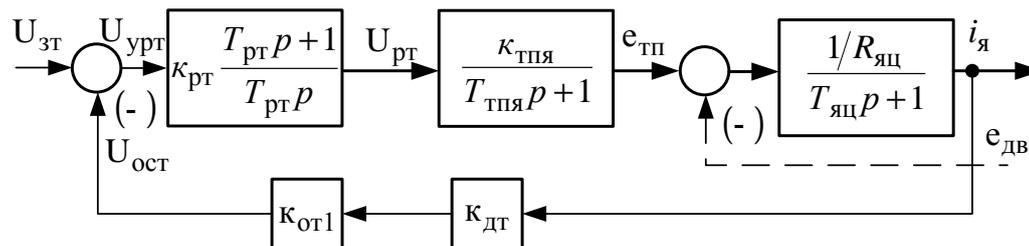


Рисунок 14- Структурная схема контура тока

Коэффициент обратной связи по току двигателя

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

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{\text{от1}} = \frac{K_T}{K_{\text{дТ}}} = \frac{0.00465}{0.00392} = 1.186 \frac{\text{В}}{\text{А}}, \text{ - где коэффициент датчика тока } K_{\text{дТ}} = 0.00392.$$

Постоянная времени регулятора тока

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

Коэффициент усиления регулятора тока

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

$$K_{\text{от2}} = \frac{K_{\text{дн}}}{K_{\text{дТ}}} R_{\text{дв.гор}} = \frac{0.0283}{0.00392} \times 0.02 = 0.144 \frac{\text{В}}{\text{А}},$$

$$T_T = a_t T_m = 2 \times 0.00167 = 0.00333 \text{ с.}$$

2.6.2 Контур скорости

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

УН= 230В: $n_{\text{н}} = 1000 \text{ об/мин.}$

Тогда коэффициент передачи тахогенератора составляет

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

Коэффициент обратной связи по скорости равен

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

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 3б примем

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

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

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

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

Постоянная времени регулятора скорости равна

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

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

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

Где p -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

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

Индуктивность цепи потока рассеяния равна

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

Постоянная времени основного потокосцепления равна

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

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

$$T_3 = \frac{T_\sigma + T_s + T_k}{2} + \sqrt{\frac{\alpha(T_\sigma + T_s + T_k)^2}{\zeta} - T_s + T_k}$$

$$T_3 = \frac{1,518 + 0,332 + 0,1518}{2} + \sqrt{\frac{\alpha(1,518 + 0,332 + 0,1518)^2}{\zeta} - 0,332 \times 0,1518} = 1,977 \text{ с.}$$

$$T_4 = \frac{T_\sigma + T_s + T_k}{2} - \sqrt{\frac{\sigma(T_\sigma + T_s + T_k)^2}{C} - T_s + T_k}$$

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

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

$$T_{птв} = T_{цв}$$

ЭДС тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

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

Коэффициент тиристорного преобразователя цепи возбуждения равен

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

Постоянная времени тиристорного преобразователя цепи возбуждения равна

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

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

Коэффициент обратной связи регулятора тока цепи возбуждения равен

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

Коэффициент датчика тока возбуждения равен

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

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

Некомпенсируемая малая постоянная времени цепи обмотки возбуждения равна.

$$T_{\mu\Gamma\text{TB}} = T_{\Gamma\text{TB}} + T_4 + \dot{a} t = 0.005 + 0.0255 = 0.0305\text{c}$$

Коэффициент передачи цепи обратной связи контура тока возбуждения равен

$$K_{\text{ДТВ}} = K_{\text{ОТВ}} \times K_{\text{ДТВ}} = 1,493 \times 1 = 1,493 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

Определим коэффициент усиления регулятора тока возбуждения

$$K_{\text{РТВ}} = \frac{T_{\text{рмс}} \times R_{\text{ц.в}}}{K_{\text{ТТВ}} \times K_{\text{ТВ}} \times a_{\text{ТВ}} \times T_{\mu\Gamma\text{ТТ}}} = \frac{2,001 \times 24,702}{18,168 \times 1,493 \times 0,0305} = 17,29$$

2.6.4 Контур ЭДС цепи возбуждения двигателя

Структурная схема контура ЭДС в первом приближении может быть представлена в виде схемы, приведенной на рисунке 15, где обозначено

$$W_{\text{м.у.замк}}(p) = \frac{(1/k_m) \times (T_{\kappa} p + 1)}{a_{\text{мс}} T_{\text{мс}}^2 p^2 + a_{\text{мс}} T_{\text{мс}} p + 1}$$

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

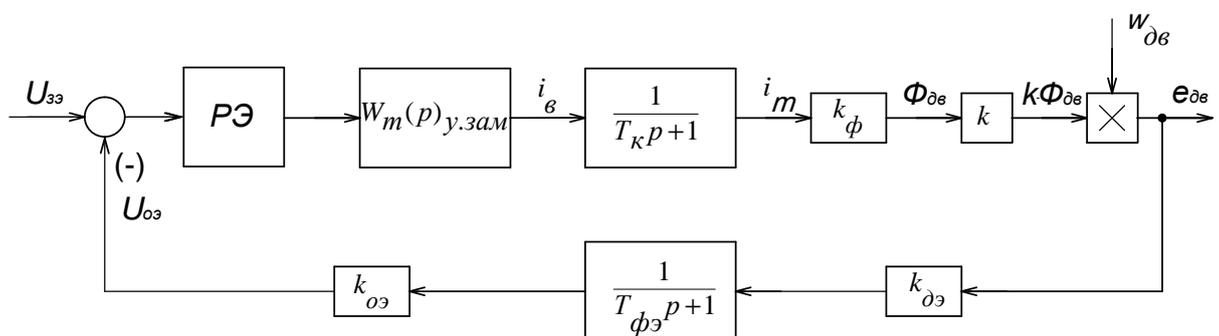


Рисунок 15 - Структурная схема контура ЭДС двигателя

После преобразования структурная схема примет вид, приведенный на рисунке 16.

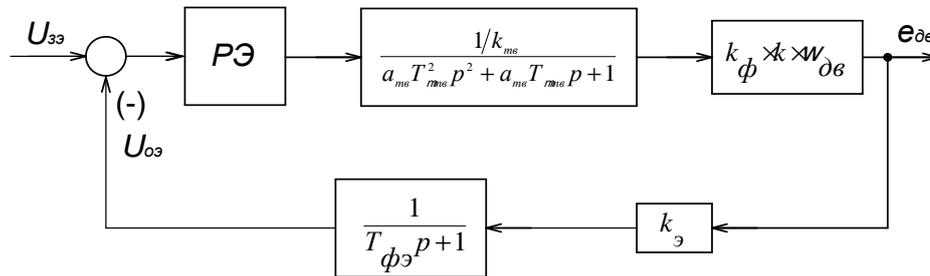


Рисунок 16. - Структурная схема контура ЭДС двигателя после преобразования

Коэффициент датчика напряжения равен

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

Постоянная времени фильтра в цепи обратной связи по ЭДС равна

$$T_{ф.н.} = T_{дв} = 0,018с.$$

Найдём тангенс угла наклона кривой намагничивания цепи обмотки возбуждения

$$K_{ф.н.} = \frac{\Phi_n}{I_{в.н}} = \frac{0,0725}{6,7} = 0,0108 \frac{В}{А}$$

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

Найдём коэффициент передачи потока возбуждения

$$K = \frac{C_n}{\Phi_n} = \frac{5,97}{0,0725} = 82,34 \frac{В}{А}$$

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

$$K_{дэ} = \frac{U_{э.макс}}{E_{дв.макс}} = \frac{10}{312.572} = 0.032,$$

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

$$K_{оэ} = \frac{K_э}{K_{дэ}} = \frac{0.032}{0.032} = 1$$

тогда коэффициент усиления регулятора ЭДС контура возбуждения в первом приближении равен

$$K_{пэ} = \frac{K_{ТВ}}{K_{\phi} \times K_{\omega_{осл}} \times a_э \times T_{тэ}} = \frac{1.493}{0.0108 \times 82.34 \times 73.2 \times 2 \times 0.061} = 0.1887$$

Построение ЛЧХ замкнутого контура ЭДС САУ РЭП

Передаточная функция разомкнутого контура скорости оптимизированной двухконтурной САУ электропривода имеет вид

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

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

$$W_{с.зам.возм}(p) = \frac{\frac{c}{J_э} \times b_c \times a_c^2 \times T_T^2 \times p \times (T_T \times p + 1)}{(b_c \times a_c^2 \times T_T^2 \times p^2 \times (T_T \times p + 1) + (T_{pc} \times p + 1))} = \frac{\frac{5.97}{312.5} \times 2 \times 2^2 \times 0.0033^2 \times p \times (0.0033 \times p + 1)}{2 \times 2^2 \times 0.00333^2 \times p^2 \times (0.00333 \times p + 1) + (0.0132 \times p + 1)} =$$

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

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

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

Ожидаемые логарифмические частотные характеристики двухконтурной САУ электропривода (программа MatLab) приведены на рисунках 17 -18.

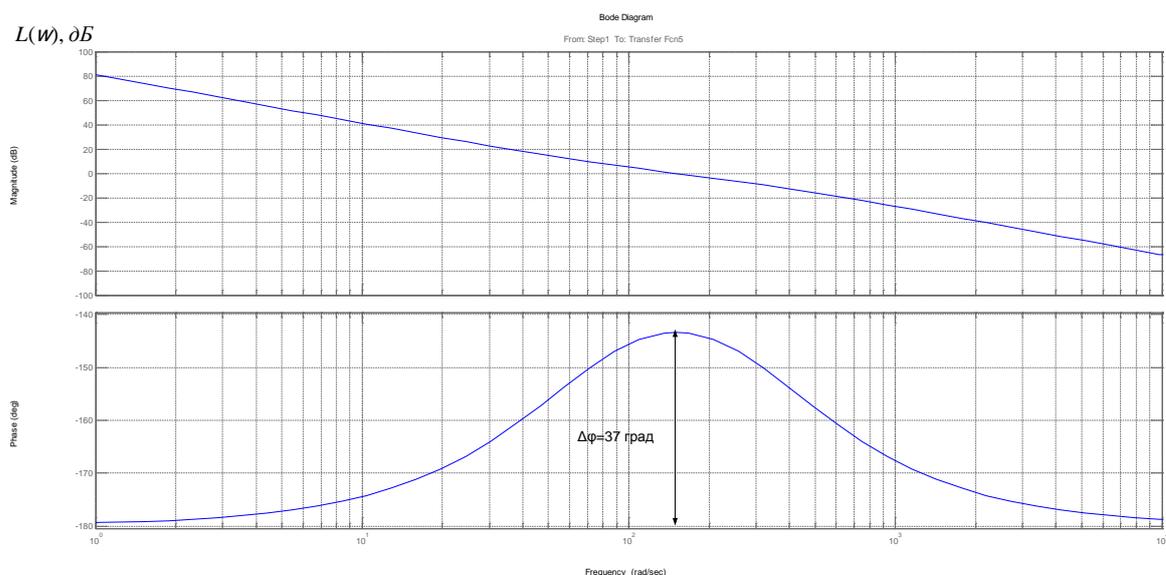


Рисунок 17 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристики разомкнутого контура скорости.

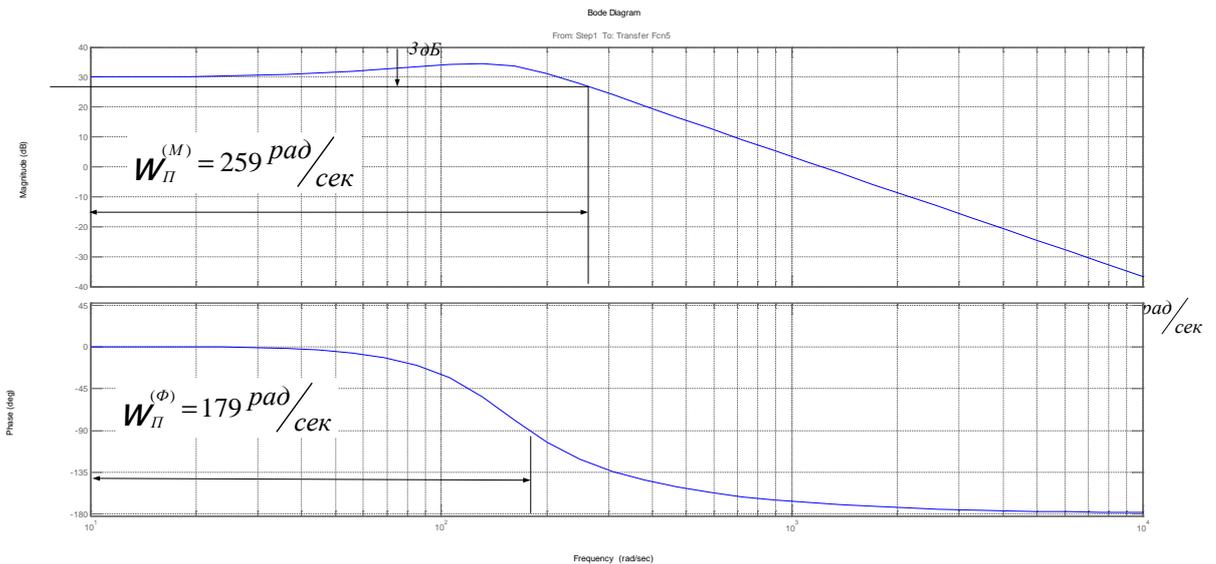


Рисунок 18 - Логарифмические амплитудно-частотные характеристики замкнутого контура скорости без фильтра.

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

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

$$f_n^{(\phi)} = \frac{W_n^{(\phi)}}{2\rho} = \frac{179}{2\rho} = 28,49 \text{ Гц}.$$

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 $(11 \div 12)B$ при напряжении источников питания

операционных усилителей $\pm 15B$. Принимаем при моделировании $U_{рег.макс} = \pm 10B$;

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

- 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 19.

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

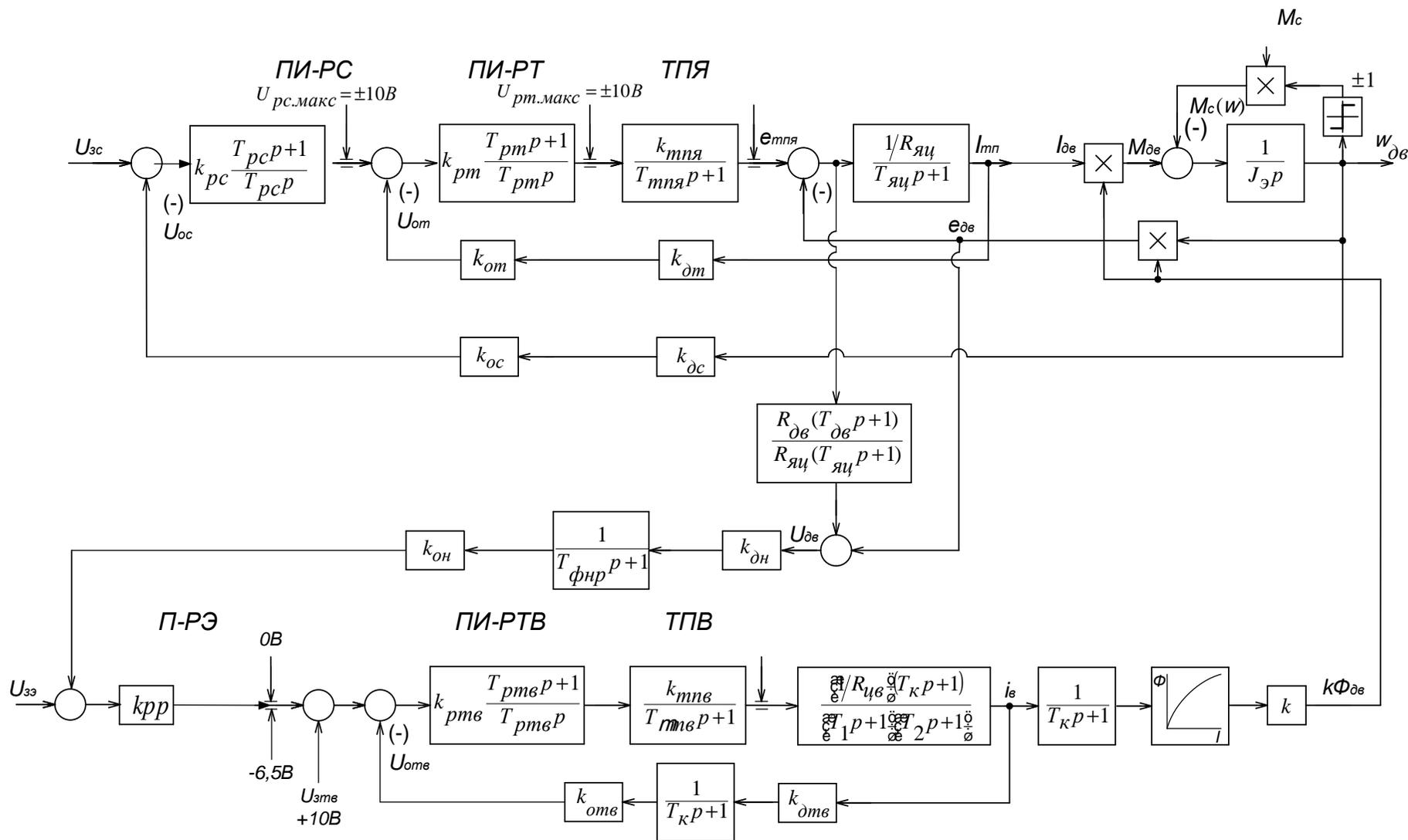


Рисунок 19 – Структурная схема САУ ЭП

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

Схема модели двухзонного электропривода представлена на рисунке 19

Переходные процессы нелинейной САУ РЭП преобразователь непрерывный представлены на рисунках 21-23.

Переходные процессы рассчитываются и строятся при помощи программы Матлаб.

Структурная схема набора модели приведены на 20

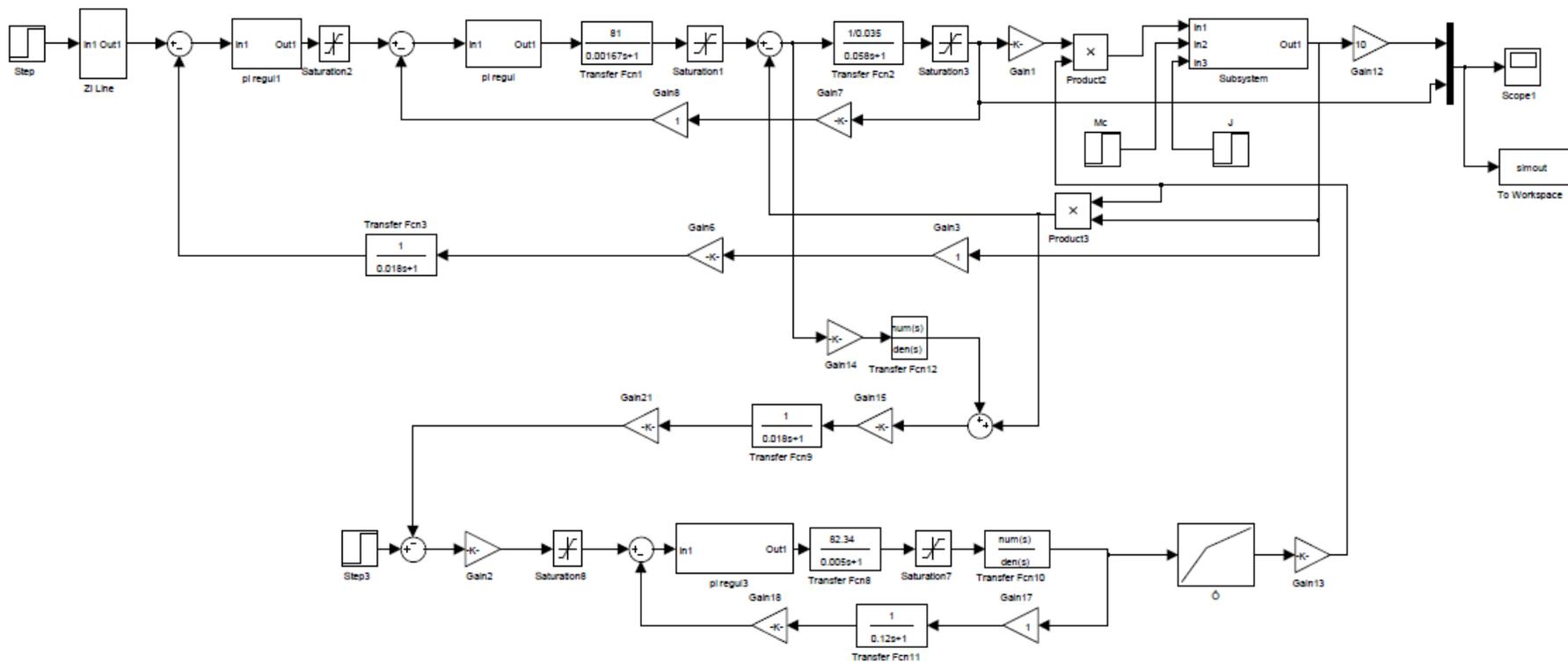


Рисунок 20 – Схема набора модели в программе Matlab.

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.

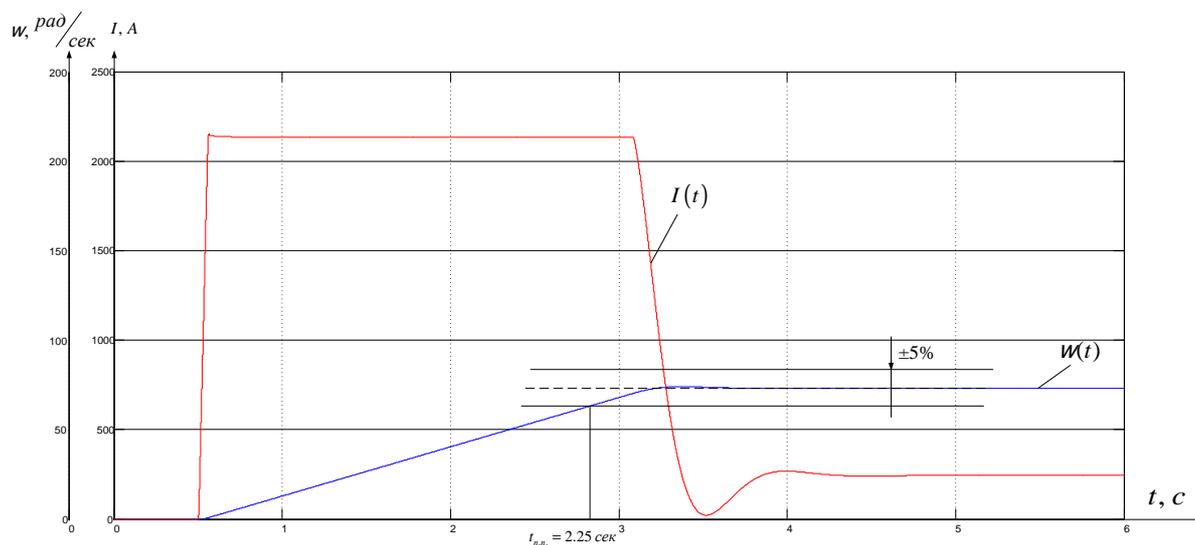


Рисунок 21 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 10В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 73,2 \text{ рад/с}$.

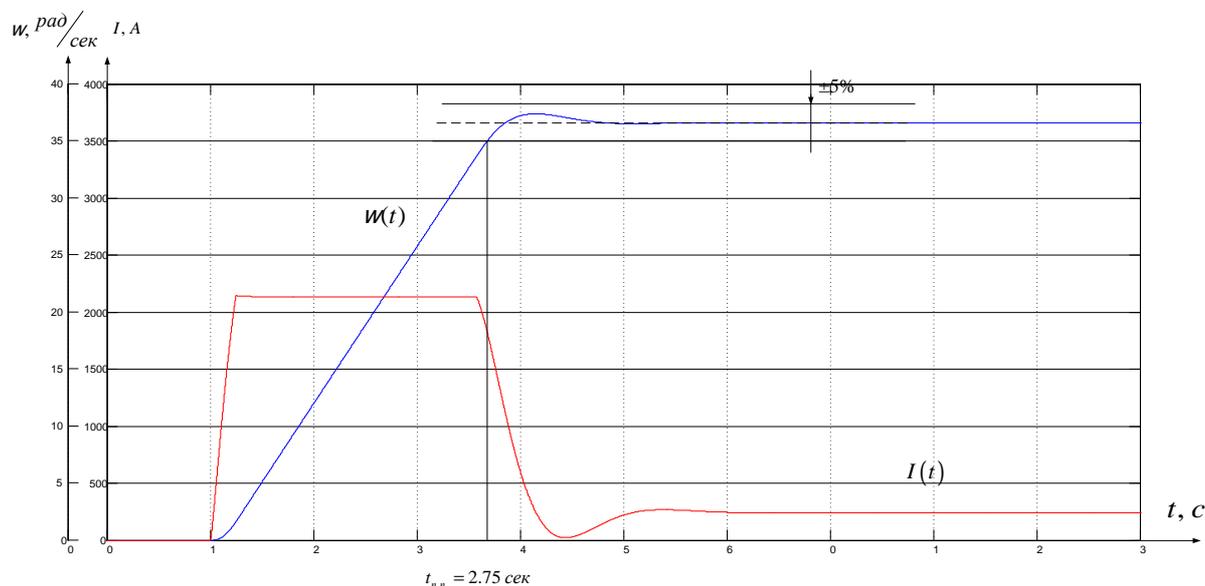


Рисунок 22 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 5В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 2150 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 36,6 \text{ рад/с}$.

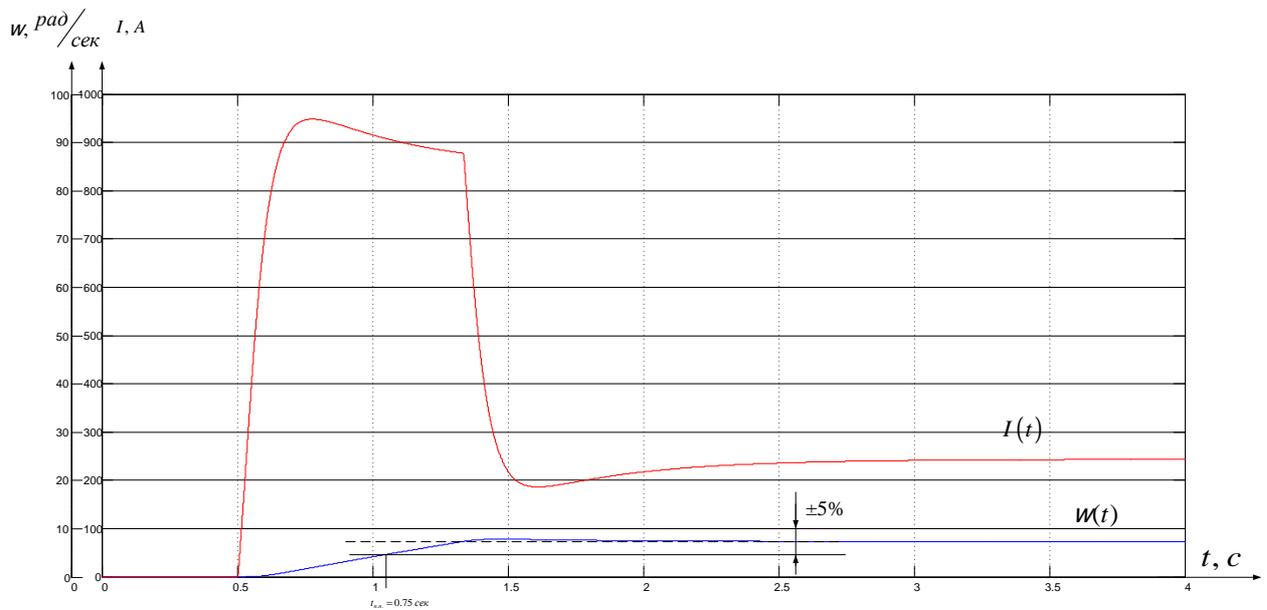


Рисунок 23 - Переходный процесс в нелинейной САУ РЭП при единичном воздействии 1В. $M_c = 1453 \text{ Н*м}$, $I_{\text{баз}} = 750 \text{ А}$, $\omega_{\text{баз}} = 7.32 \text{ рад/с}$.

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.

2.7.4 Расчет статических характеристик

ДПТ управляется по цепи обмотки якоря изменением напряжения. Следовательно, при постоянном потоке двигателя, механические и электромеханические характеристики совпадают для различных ЭДС. Причём

$$E_{\text{тп}} = K_{\text{рз}} \times K_{\text{рт}} \times K_{\text{тп}} \times U_{\text{зс}} ;$$

Предположим, что двигатель работает на характеристике с $E_{\text{тп}2}$ и нагрузкой M_{c1} , то есть, в точке А. Предположим также, что нагрузка на валу двигателя возросла и стала равной M_{c2} . В первый момент скорость двигателя падает. Уменьшается в этом случае и сигнал, пропорциональный ЭДС двигателя, так как

$$E_{\text{дв}} = c \times \omega$$

В реальном приводе сигнал, пропорциональный $E_{\text{дв}}$ формируется более

сложно с помощью датчиков тока и напряжения якорной цепи, однако в любом случае если система настроена правильно, сигнал по $E_{дв}$ пропорционален скорости двигателя (при постоянном потоке двигателя).

Если в первом приближении не учитывать сигнал обратной связи по току $U_{от}$, действующий на вход регулятора тока, то Етп можно определить по формуле

$$e_{ng} = (U_{pc} - U_{pc}) \times K_{pэ} \times K_{pm} \times K_{mn}$$

Как следует из этого уравнения, уменьшение сигнала обратной связи по ЭДС приводит к увеличению ЭДС тиристорного преобразователя. Привод переходит с $E_{тп} = E_{тп3}$ (т.е в точку В) и так далее. В результате формируется характеристика замкнутой системы более жёсткая, чем характеристика разомкнутой системы.

Для вывода уравнения электромеханической характеристики электропривода составим систему уравнений, которые описывают электропривод в статике.

В режиме стабилизации скорости

В режиме стабилизации скорости составит систему уравнений.

$$U_{урс} = U_3 - U_{oc}; \quad (1)$$

$$U_{pc} = k_{pc} \cdot U_{урс}; \quad (2)$$

$$U_{урт} = U_{pc} - U_{om}; \quad (3)$$

$$U_{om} = k_{om.cm} \cdot k_{om.cm} \cdot I_{mn}; \quad (4)$$

$$U_{oc} = k_{dc} \cdot k_{oc} \cdot \omega; \quad (5)$$

$$U_{pt} = k_{pt} \cdot U_{урт}; \quad (6)$$

$$e_{mn} = k_{mn} \cdot U_{pt}; \quad (7)$$

$$U_{mn} = e_{mn} - I_{mn} \cdot R_{mn}; \quad (8)$$

$$U_{mn} = U_{дв}; \quad (9)$$

$$U_{дв} = E_{дв} + I \cdot R_{дв}; \quad (10)$$

$$E_{дв} = c \cdot \omega. \quad (11)$$

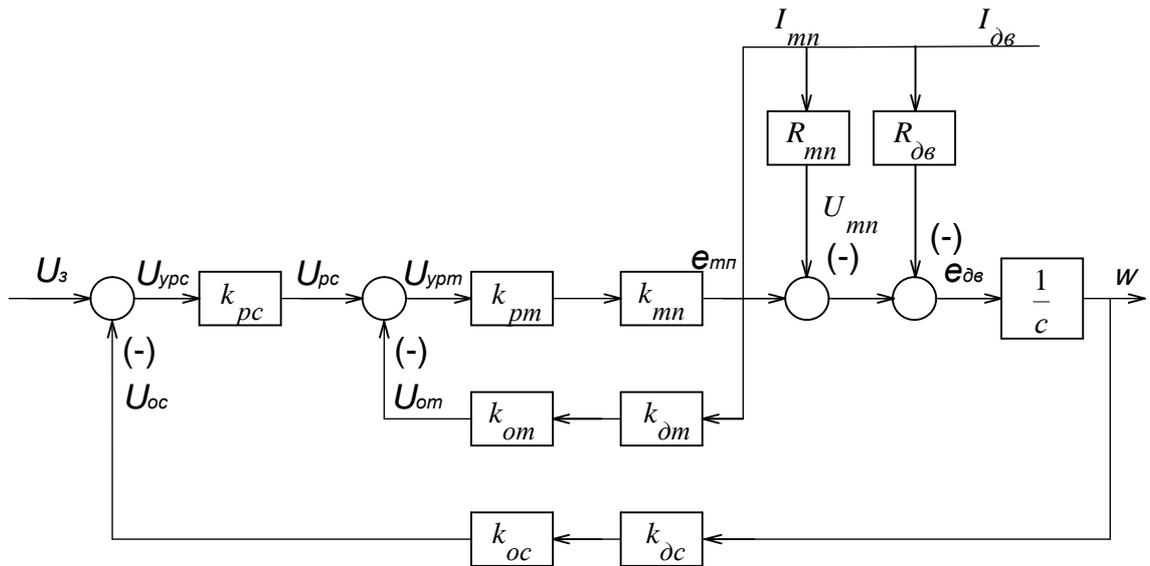


Рисунок 24. - Структурная схема электропривода в режиме стабилизации скорости

Решим систему уравнений 1-12 относительно угловой скорости ω , получим:

$$W = \frac{k_{\delta} \times k_{mn} \times k_{pm} \times k_{pc} \times U_{zc}}{1 + k_{\delta} \times k_{mn} \times k_{pm} \times k_{pc} \times k_{oc} \times k_{\delta c}} - I_{\delta\epsilon} \times \frac{k_{\delta} \times (2R_{\delta\epsilon} + R_{mn} + k_{mn} \times k_{pm} \times k_{dm} \times k_{om})}{2 \times (1 + k_{\delta} \times k_{mn} \times k_{pm} \times k_{pc} \times k_{oc} \times k_{\delta c})}, \quad (13)$$

где $k_{\delta} = \frac{1}{c}$ — коэффициент двигателя;

Особенностью при анализе статических характеристик в режиме стабилизации скорости является то, что значения коэффициентов астатических регуляторов тока и скорости является принятие их коэффициентов максимальными. Для данной системы примем коэффициенты регуляторов равными $K_{pc} = 20000$, а $K_{рт} = 65530$.

В режиме стабилизации тока

Анализ статики в режиме стабилизации тока проводим из условия что регулятор скорости вошёл в насыщение. Для анализа составим модель, которая

показана на рисунке 25.

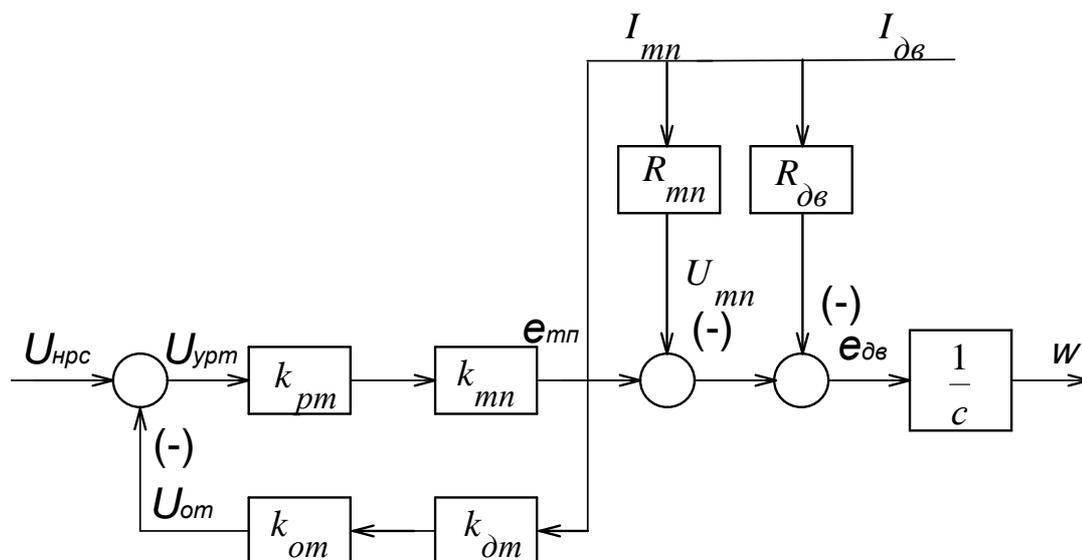


Рисунок 25 – Структурная схема электропривода в режиме стабилизации тока

$$U_{урт} = U_{рс.макс} - U_{ом}; \quad (15)$$

$$U_{ом} = k_{дт} \cdot k_{от} \cdot I_{мн}; \quad (16)$$

$$U_{рм} = k_{рм} \cdot U_{урт}; \quad (17)$$

$$e_{мн} = k_{мн} \cdot U_{рм}; \quad (18)$$

$$U_{мн} = e_{мн} - I_{мн} \cdot R_{мн} \quad (19)$$

$$U_{мн} = U_{дв}; \quad (20)$$

$$U_{дв} = e_{дв} + I_{дв} \cdot R_{дв}; \quad (21)$$

$$E_{дв} = c \cdot \omega. \quad (22)$$

Решая систему уравнений 13-19 получим:

$$\omega = k_{д} \cdot k_{мн} \cdot k_{рм} \cdot U_{рс.макс} - I_{дв} \cdot k_{д} \cdot (2 \cdot R_{дв} + R_{мн} + k_{мн} \cdot k_{рм} \cdot k_{дт} \cdot k_{от}) \quad (23)$$

На основании методики, проведём расчёт статических характеристик электропривода. Данные расчёта сведём в таблицу 3.

Таблица 3 Расчётные данные для построения статических характеристик

I, A $U_{3,B}$	0	860	2150	8,%
1	7.319	7.317	7,315	0,05
2,5	18,296	18,295	18,293	0,02
5	36,593	36,591	36,589	0,0099
7,5	54,889	54,888	54,886	0,0053
10	73,186	73,184	73,183	0,00399

По данным таблицы 6 на рисунке 26 построены электромеханические характеристики электропривода в режиме стабилизации скорости. Рассчитанные точки нанесены на графики характеристик в виде звездочек.

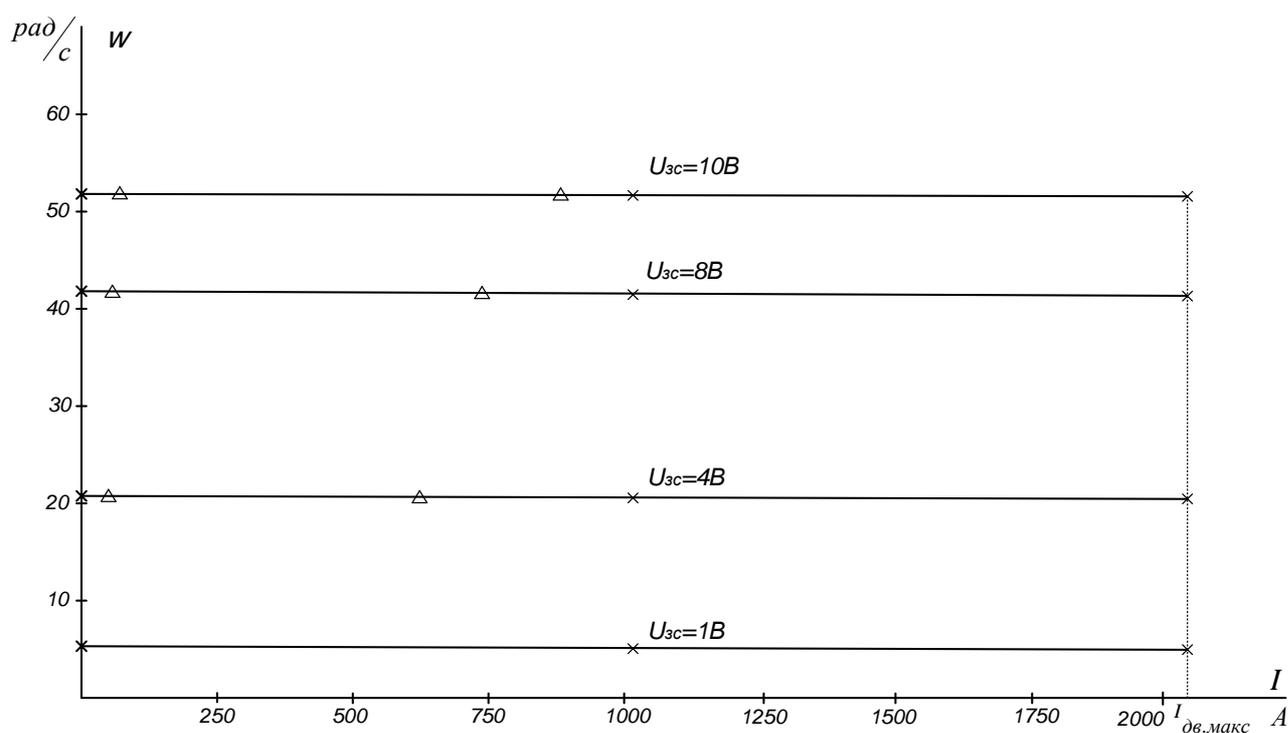


Рисунок 26 – График электромеханической характеристики

Как следует из таблицы 6 погрешность поддержания скорости на нижней регулировочной характеристике с $U_{3c} = 1В$ составляет 0,05%, что соответствует требованиям технологического процесса прокатки металла в чистой группе клетей и требованиям технического задания.

2.8 Принципиальная электрическая схема.

2.8.1 Принципиальная электрическая схема. Согласование с сетью. Интеграция в схему автоматизации технологического процесса

Принципиальная схема представлена на устройство электропривода SIMOREG на ток свыше 630А выполняется в виде блока электроники (собственно устройство SIMOREG), включающий помимо схемы управления электроприводом тиристорный преобразователь тока возбуждения, электропривод вентилятора охлаждения и блок SITOP, который представляет собой реверсивную мостовую схему выпрямления тока якоря.

Питание блок электроники, вентилятора и возбудителя осуществляется индивидуально включением соответствующих автоматических выключателей QF2, QF3, QF4, которые помимо функции коммутации цепей осуществляют их защиту от токов короткого замыкания и перегрузки.

Согласование с сетью производится посредством силового трансформатора, выбранного в п. 7.3. Коммутация цепей силового трансформатора по высокой стороне осуществляется масляным выключателем QF1.

Система построена таким образом, что постоянно один преобразователь находится в резерве, а два находятся в работе. Выбор рабочих преобразователей производится рубильниками QS1, QS2 (якорная цепь) и QS3, QS4 (цепь обмотки возбуждения). Блок - контакты рубильников заведены в контроллер.

Управление механическими тормозами - релейно-контакторное, с управлением через контроллер. Данные на управление тормозами контроллер получает от тиристорного преобразователя (параметры P080, P086, P087) через интерфейс RS232 (разъём X501).

SA1 - ключ-бирка на панели, SA2 - SA4 - аварийные выключатели в скиповой яме, машинном зале и на посту местного управления.

SA5 - ключ обхода защиты от слабины канатов на посту местного

управления. Концевые выключатели, контролирующие наличие слабины канатов находятся под барабаном лебёдки.

SA6 - ключ обхода защиты от перехода за предел левого и правого скипа на посту местного управления. Защита от перехода за предел левого и правого скипа формируется механическим путевым выключателем, отстроенным на срабатывание в крайних точках допустимого пути скипов.

Так как тиристорный преобразователь полностью цифровой и имеет множество средств коммуникации с внешними устройствами, такими, как контроллер типа SIMATIC, на базе которых в данное время строится вся автоматизация технологического процесса, интеграция привода в технологическую цепь производится программно с помощью алгоритмической обработки данных, получаемых от преобразователя через аналоговые и двоичные выходы, а так же через шину SINESи промежуточный контроллер непосредственного управления приводом. Для повышения надёжности управления работой привода имеет смысл применение дублирования сигналов, поступающих в контроллер управления приводом с аналоговых и двоичных выходов основным технологическим контроллером.

Данный привод, имея двухдвигательную структуру, построен по принципу "ведущий - ведомый". Передача главного заданного значения для ведомого привода осуществляется через интерфейс RS485 (разъём X500), а инициализация приоритета "ведомый - ведущий" осуществляется через параметр P500.

Подключение тахогенератора производится к клеммам 101 и 104.

2.8.2 Описание. Защиты и блокировки.

Тиристорные преобразователи SIMOREGK типа 6RA24 представляют собой компактные цифровые приборы для трёхфазного подключения и предназначены для питания якоря и поля возбуждения регулируемых приводов постоянного тока с нормативными токами для якоря от 15А до 1200А. благодаря

параллельному подключению компактных приборов с блоками SITOR возможны токи до 3600А.

Тиристорные преобразователи SIMOREGK отличаются компактным построением. Подключение к внешним сигналам (двоичные входы/выходы, аналоговые входы/выходы и т.д) производится на отдельном клеммном блоке.

Параметризация устройства SIMOREGK производится через находящееся на электронном модуле простое табло управления посредством трёх кнопок, а так же при помощи персонального компьютера и программного обеспечения SIMOVIS.

Преобразователь SIMOREGK имеет 980 параметров, характеризующих его работу. Одними из основных являются следующие группы параметров:

- Дефиниция устройства SIMOREG K;
- Дефиниция параметров двигателя;
- Дефиниция опции "Интерфейс двигателя".

К первой группе относятся:

P070 - тип управляющего модуля (деление по питающему напряжению);

P071 - номинальное напряжение устройства;

P072 - номинальный ток устройства (преобразователь);

P073 - номинальный ток устройства (возбудитель);

Ко второй группе параметров относятся:

P100 - ток якоря двигателя (по фирменному щитку);

P101 - напряжение якоря двигателя (по фирменному щитку);

P102 - ток возбуждения двигателя (по фирменному щитку);

P110 - сопротивление цепи якоря;

P111 - индуктивность цепи якоря;

P112 - сопротивление цепи возбуждения;

Третью группу составляют:

P150 - граничный угол выпрямительного режима (преобразователь);

P151 - граничный угол инверторного режима (преобразователь);

P155 - коэффициент П - усиления тока якоря;

P156 - время регулирования регулятора тока якоря;
P225 - коэффициент П - усиления регулятора скорости;
P226 - время регулирования регулятора скорости;
P250 - граничный угол выпрямительного режима (возбудитель);
P251 - граничный угол инверторного режима (возбудитель);
P255 - коэффициент П - усиления регулятора тока возбуждения;

В преобразователе предусмотрен цикл автооптимизации, который может быть выбран ключевым параметром P051.

При P051=25 происходит настройка регулятора тока преобразователя и возбудителя. Следующие параметры устанавливаются автоматически: P110, P111, P112, P155, P156, P255, P256.

При P051=26 настраивается регулятор скорости. При его настройке автоматически устанавливаются параметры: P225 и P256.

Помимо перечисленных параметров существует группа параметров уставки для функций "Компенсация трения" и "Компенсация момента инерции". При P051=28 происходит компенсация моментов трения и инерции. Автоматически устанавливаются параметры: P520...530, P540.

Индикация рабочих состояний преобразователя осуществляется с помощью параметров индикации P001...P054.

Преобразователь имеет встроенные защиты и блокировки, такие, как:

- 1) защита от понижения напряжения;
- 2) защита от перенапряжения;
- 3) максимально-токовая защита;
- 4) защита по среднеквадратичному току;
- 5) защита от размыкания контуров регулирования САУ;
- 6) защита от превышения максимальной скорости двигателя.

Также в приводе имеются технологические защиты, воздействующие непосредственно на аварийное отключение преобразователя:

- 1) защита от слабины канатов;
- 2) переход за предел правого скипа;

- 3) переход за предел левого скипа.

В качестве датчика пути использован инкрементальный цифровой датчик типа BRZ, а так же механический путевой выключатель, отстроенный на конечные максимальные положения скипов.

2.8.3 Рекомендации по настройке и эксплуатации

- 1) Трассы, ведущие от датчиков к электроприводу должны быть экранированные.
- 2) В контурах датчиков тока поля и якоря должны быть запаяны сопротивления, соответствующие нормированным значениям токов поля и якоря.
- 3) Основной прибор оснащён простой панелью управления. Дополнительно имеется возможность оснастить прибор выносной панелью управления. В этом случае простая панель показывает только рабочее состояние (P000) и не может использоваться для ввода.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович

Институт	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов проектных работ	Затраты на специальное оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам или по договорной цене. Положение об оплате труда.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;	ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения.	Отчисления во внебюджетные страховые фонды
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности выполнения технического проекта;	Оценка потенциала и перспективности реализации ТП можно оценить с помощью анализа конкурентных технических решений
2. Планирование пусконаладочных работ.	Для составления графика технико-конструкторских работ используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график инженерных работ, позволяющий лучше спланировать процесс реализации ТП
3. Определение сметы пусконаладочных работ	В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: <ul style="list-style-type: none"> • затраты на специальное оборудование; • полная заработная плата исполнителей; • отчисления во внебюджетные фонды; • накладные расходы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
График выполнения пусконаладочных работ	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В основной части выпускной квалификационной работы был произведен расчет автоматизированного электропривода скипового подъема типа ДП74/34-6 SIMOREG 6RA24 фирмы Siemens

Целью данного раздела является обоснование целесообразности использования технических решений, разработанных в ВКР, а также определение перспективности и успешности проекта.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведение анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсосберегающей эффективности проекта;
- организация и планирование пусконаладочных работ.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведение анализа с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Оценка коммерческого потенциала осуществляется при помощи анализа конкурентных технических решений. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 4. Для этого сравним три вида комплекта оборудования:

- Б_ф – выбранный комплект оборудования на основе цифрового электропривода SIMOREG 6RA24 фирмы Siemens,

• $B_{к1}$ - комплект оборудования Харьковского электромашиностроительного завода на основе генератора-двигатель типа КП4-4 по 190 кВт;

• $B_{к2}$ – комплект оборудования Харьковского электромашиностроительного завода на основе оборудования генератора ПБК-6, 500 кВт, с приводным синхронным двигателем 700 кВА.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [24]:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя

Таблица 4 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{ф}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{ф}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
2. Удобный в эксплуатации соответствует требованиям потребителей	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Помехоустойчивый	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
4. Энергосберегающий	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
5. Надежный	0,09	5	5	5	0,3	0,3	0,3
6. Уровень шума	0,06	3	2	2	0,18	0,12	0,12
7. Безопасный	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
8. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
9. Простота эксплуатации	0,09	5	5	5	0,3	0,3	0,3

Экономические критерии оценки эффективности							
10.Конкурентоспособность продукта	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
11.Уровень проникновения на рынок	0,03	5	5	4	0,15	0,15	0,12
12.Цена	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
13.Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
14.Послепродажное обслуживание	0,05	4	4	2	0,20	0,20	0,10
Итого	1,00	65	63	58	4,15	3,89	3,56

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

При сравнении конкурентных технических решений, приведенных в таблице 4, можно сделать вывод что Б_ф является более надежный и безопасный в эксплуатации, а самое главное более всех способствует к росту производительности.

3.2 Организация и планирование пусконаладочных работ

От качества проведения пуско-наладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования.

Планирование комплексных предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- Определение структуры работ в рамках технического проекта.
- Определение участников каждой работы.
- Установление продолжительности работ.
- Построение графика проведения выполненных работ.

3.2.1 Структура пусконаладочных работ

Структура пусконаладочных работ включает в себя [24]:

Подготовительные работы – организаторская и инженерная подготовка работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовка парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

Подготовительные мероприятия включают в себя:

- заблаговременное ознакомление с проектом электроустановки, выявление неточностей, пробелов и других дефектов проекта;
- выявление и подсчёт объёма ПНР, определение необходимого количества наладочного персонала;
- подготовка комплектов наладочной аппаратуры и инструмента;
- составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с монтажной организацией и заказчиком;
- внешний осмотр электрооборудования и установка количества электромонтажных работ;
- определения технических характеристик электрооборудования;
- составление рабочей программы испытаний и наладки электрооборудования с учётом особенностей налаживаемого объекта.

Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования- внешний осмотр электрооборудованияна соответствие проекту, проверка и настройка отдельных элементов и функциональных групп, сборка испытательных схем, проверка параметров и снятие характеристик отдельных устройств, измерение сопротивления изоляции, проверка соединения обмоток, регулировку релейной аппаратуры.

Электротехнические ПНР должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства

электроустановок, технической документацией предприятия–изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования - наладка электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладка оборудования в холостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

Комплексное опробование - обеспечение взаимных связей устройств в составе электроустановки и механизмов в составе агрегата; согласование входных и выходных параметров и характеристик отдельных механизмов в составе агрегата; обеспечение на агрегатах электрических и электромеханических параметров и режимов, предусмотренных проектом.

Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации - результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Протоколы ПНР и испытания составляются в одном экземпляре, в протокол вносятся схемы, которые были изменены в процессе работы.

Для того чтобы качественно и в короткие сроки произвести наладку электрооборудования и электрических схем, необходимо хорошее знание данного оборудования, проектные схемы и расчёты электрических параметров. Поэтому бригада наладчиков комплектуется из опытных и квалифицированных специалистов.

3.2.2 Состав бригады для проведения ПНР

Состав бригады, сформирован, из штатных работников производства:

- Инженер-наладчик – 1 человек
- Электромонтёр – 2 человека

По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В, запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

3.2.3 Определение времени выполнения ПНР

Продолжительность работ определяется на основе нормативной базы вышеуказанного предприятия, при которой дается две оценки времени выполнения работ, исходя, из которых ожидаемое значение трудоемкости определяется по следующей формуле [24]:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.

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

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

Расчеты трудоемкости работ приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Продолжительность всех технических работ

№	Название работ	Трудоемкость работ, дни			Исполнители
		t_{min} Минимальное время	t_{max} Максимальное время	Ожидаемое время	
1	Подготовительные работы	2	3	2,4	Инженер-наладчик, Электромонтер 1
2	Налад. работы до индивид. испыт. техн. обр.	6	7	6,4	Инженер-наладчик, Электромонтер 2
3	Налад. работы в пер. индивид. испыт. техн. оборуд.	5	6	5,4	Инженер-наладчик, Электромонтер 1
4	Комплексное опробование	3	4	3,4	Инженер-наладчик, Электромонтер 2
5	Оформление документации	1	1	1	Инженер наладчик

По результатам расчетов строится диаграмма-Ганта, приведенная в таблице 6. В этой таблице используются следующие обозначения: ИН - Инженер-наладчик; ЭМ1 - Электромонтер 1, ЭМ2 - Электромонтер 2.

Из графика следует, что на выполнение пуско-наладочных работ потребовалось 19 рабочих дней. В данном проекте все работы вводятся последовательно, так как одна работа не может быть выполнена параллельно другой.

Таблица 6 - Диаграмма-Ганта

№ работ	Исполнители		Выполнение работ, раб.дн.																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	ИН ЭМ1	2,5	—————																			
2	ИН ЭМ2	6,4			—————																	
3	ИН ЭМ1	5,4								—————												
4	ИН ЭМ1 ЭМ2	3,4													—————			—————				
5	ИН	1,0																		—————		
	ИН ЭМ1 ЭМ2		—————																			

3.3 Расчет полных затрат на оборудование и проведение работ ПНР

Расчет полных затрат производится по следующей формуле:

$$K = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + C_{\text{об}} + \text{н.р.}$$

где K – единовременные затраты на выполнение работ;

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

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

$Z_{\text{внеб}}$ – отчислений во внебюджетные фонды;

$C_{\text{об}}$ – затраты на оборудование;

н.р. – накладные расходы.

3.3.1 Расчет полной заработной платы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата работников выполняемых ПНР. Величина расходов по заработной плате

определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов на предприятии.

Полная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{пол}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

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

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

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

T_p – продолжительность работ;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{O + \text{Пр.} + \text{р.к}}{D_p}$$

где O –оклад;

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

р.к – выплата связанная с районным регулированием заработной платы;

D_p – количество рабочих дней в месяце

Оклады работников представлены в таблице 7.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

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

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

$k_{\text{доп}}$ –коэффициент дополнительной заработной платы ($k_{\text{доп}}$ 14%);

Все расчеты сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчет полной заработной платы на проведение ПНР

Исполнители	Оклад, тыс. руб	Премия	Районный коэффициент	Количество отработанных дней	Месячная заработная плата, тыс. руб	Дневная заработная плата, тыс. руб	Основная заработная плата тыс. руб
ИН	27.000	27.000	10,8	19	64800	2900	55100
ЭМ1	20.000	20.000	8,0	12	48000	2200	26400
ЭМ2	20.000	20.000	8,0	11	48000	2200	24200
Итого							105700

Полная заработная плата составит:

$$Z_{\text{полн}} = 1,14 \cdot 105,7 = 120 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 30\% \cdot 120 = 36 \text{ тыс. руб.}$$

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

3.3.3 Затраты на закупку оборудования

В таблице приведены затраты на закупку электрооборудования. Цены всех комплектующих представлены на 1 квартал 2019 года.

Таблица 8 - Затраты на закупку электрооборудования

№ п/п	Наименование комплектующих	Ед. измерения	Кол - во	Цена тыс. руб	Сумма, тыс.руб
1	Цифровой электропривод SIMOREGK серии 6RA24	Шт.	1	146.900	146.900
2	Реверсивный вентильный преобразователь SIMOREGK-K-6RA2491-4DV62-0	Шт.	1	19.000	19.000
3	Трансформатор скипового подъемника ТСЗП-630/10УЗ	Шт.	1	49.200	49.200

4	Трехфазный токоограничивающий реактор РТСТ-660-0,034 УЗ	Шт.	1	1.600	1.600
5	Сглаживающий дроссель ФРОС-1000/0,5УЗ	Шт.	1	2.500	2.500
6	Шкаф распределительный ШР11-73514-54УЗ	Шт.	1	25.700	25.700
7	Монтажный кабель (3x120мм ²)	М	20	1.500	30.000
Итого:					275.000

Первоначальная стоимость электрооборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{общ}} = \Sigma C_{\text{общ}} \cdot k_{\text{тр}}$$

где $\Sigma C_{\text{обр}}$ – общая стоимость электрооборудования и комплектующих;

$k_{\text{тр}}$ – коэффициент транспортных расходов 1.1;

$$C_{\text{общ}} = 275 \cdot 1,1 = 300 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, полная стоимость электрооборудования и комплектующих составляет 300тыс.руб.

3.3.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{нр}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{нр}}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы равен 90%

$$C_{\text{н.р.}} = 105.700 \cdot 0,9 = 94,0 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.5 Общая стоимость затрат на проведение ПНР

Все затраты на проведение ПНР сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Затраты на проведение ПНР

Наименование статей затрат	Сумма, тыс.руб.	Структура затрат, %
Полная заработная плата	120,0	21,8
Отчисления во внебюджетные фонды	36,0	6,5
Затраты на закупку электрооборудования	300,0	54,4
Накладные расходы	94,0	17,1
Итого:	550,0	100,0

Полная стоимость ПНР составила 550,0 тыс. руб., из них 300,0 тыс. руб. (54,4%) составляет стоимость оборудования.

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

- в результате анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведена оценка сравнительной эффективности разработки с имеющимися аналогами и определены направления для ее будущего совершенствования;

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

- составление сметы для проведения пусконаладочных работ позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	Регулируемый электропривод скипового подъемника
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом исследования является регулируемый электропривод скипового подъемника в цеху шихтовых материалов. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для транспортировки и переработки шихтовых материалов и горной массы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность	- основные требования по обеспечению безопасной эксплуатации скипового подъемника - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, где установлены скиповые подъемники <i>Основными вредными факторами являются:</i> - Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания, то есть аномальное физическое состояние воздуха (запыленность, загазованность); - Механические колебаниями твердых тел и их поверхностей, (вибрация); - Акустические колебаниями в производственной среде (шум); - Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата); - Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны). <i>Опасными факторами цеха являются:</i> Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов; б) наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	
1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	
2. Экологическая безопасность:	-Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	-Возможные ЧС -Пожар.

4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	-Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. -Организация и охрана труда.
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сотникова Анна Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А1	Ачилов Владимир Шухратович		

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе скипового подъемника обогатительной фабрики, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.[14].

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 [18].

Напряжение питания 220 и 380В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовые отношения на обогатительной фабрике «ЗСМК» регулируются "Трудовым кодексом Российской Федерации"[23], коллективным договором данного предприятия, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены[23]:

I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени (ч. 3 ст. 108 Трудового кодекса РФ). В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск продолжительность 28 календарных дней предоставляется работникам в соответствии со ст. 115 ТК РФ[23]. Людям, работающим по совместительству, ежегодные оплачиваемые

отпуска предоставляются одновременно с отпуском по основной работе (ст. 286 Трудового кодекса РФ)[23]. Если на работе по совместительству работник не отработал 6 месяцев, отпуск предоставляется авансом. По соглашению между работником и работодателем ежегодный оплачиваемый отпуск может быть разделен на части. При этом хотя бы одна из частей этого отпуска должна быть не менее 14 календарных дней (ст. 125 Трудового кодекса РФ)[23].

На работах с вредными условиями труда, а также на работах, связанных с загрязнением, работникам выдается бесплатно по установленным нормам специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты. В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации на работах с вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание.

4.2 Производственная безопасность

Таблица 10 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).			+	ПБ 05-580-03 Правила безопасности на предприятиях по обогащению и брикетированию углей (сланцев) [24]
2.Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).			+	Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху обогащения – 90дБ.
3.Акустические колебаниями в производственной среде(шум)			+	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки; СП 51.13330.2011. Защита от шума. [20]
4.Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)			+	Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]: СанПиН 2.2.4.548-96
5.Факторы, связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)			+	Требуемая норма освещения Енор=200 ЛК. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95[28].

4.2.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредным факторам на рассматриваемом производстве относятся:

Ø Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания (запыленность, загазованность).

В процессе транспортировки шихтовых материалов в доменную печь, в воздушной среде повышается уровень запыленности и загазованности. Неблагоприятное воздействие пыли на организм может быть причиной возникновения различных заболеваний: специфических (пневмокониозы, аллергические болезни) и неспецифических (хронические заболевания органов дыхания, заболевания глаз и кожи) пылевые поражения. Производственные пыли рассматриваемого производства относятся к четвертому классу опасности (малоопасные). ПДК пыли в воздухе рабочей зоны не должны превышать для угольной и углепородной пыли с содержанием диоксида кремния: 6 мг/куб.м (антрацит) и 10 мг/куб.м (уголь, сланцы) - до 5%; 4 мг/куб.м - 5 - 10%; 2 мг/куб.м - более 10%. [21].

Ø Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация).

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации является работа доменной печи. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами и ГОСТом. Допустимый уровень вибрации по ГОСТ 12.1.003-83-99 ССБТ [24] цеху доменной печи ОАО "ЗСМК" - 90 дБ.

Ø **Акустические колебаниями в производственной среде(шум)**

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании линии, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, дробилки, конвейер в рабочем состоянии. В горно-перерабатываемом производстве шум достигает 75—80 дБ.

Ø **Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего (отклонение показателей микроклимата)**

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожаному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Ø **Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны)**

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

4.2.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

Возможность получения травм в следствии:

А) Движения машин и механизмов

Основными причинами травмирования рабочих при эксплуатации скипового подъемника является: отсутствие ограждений у движущихся и вращающихся частей муфт, приводов, барабанов; расштыбовка барабанов скипового подъемника при его работе; ремонт и смазка скипового подъемника во время его работы;

включение скипового подъемника без предупреждения; некачественное крепление приводных и натяжных головок; нарушение производственной и технологической дисциплины (переход через конвейер во время его работы, эксплуатация цепи с повышенным износом и т.п.).

Для исключения возможности получения травм в работе на скиповом подъемнике допускаются лица, хорошо изучившие правила обслуживания и управления линией и прошедшие инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Б) Наличие высокого напряжения, поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты,

предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. Средства защиты, к которым относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием. При наладке привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

Виды электротравм: местные, когда возникает местное повреждение организма; общие, так называемый электрический удар, когда непосредственно нарушается весь организм, из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы – это ярко выраженное местное нарушение целостности тканей тела, в том числе костных тканей, вызванное воздействием электрического тока или электрической дуги. Чаще всего это поверхностные повреждения, т. е. поражение кожи, а иногда и других мягких тканей, а также связок и костей. Опасность местных травм и сложность их лечения зависит от места, характера и степени повреждения тканей, реакции организма на это повреждение. Как правило, местные электротравмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Смерть от местных электротравм - редкий случай (обычно при тяжелом ожоге человек погибает). Причиной смерти при этом является не ток, а местное повреждение организма, вызванное током. X

Характерные местные электротравмы:

- электроожоги – 40 %
- электрические знаки – 7 %
- металлизация кожи – 3 %
- механические повреждения – 0,5 %

- электроофтальмия – 1,5 %

- смешанные (ожоги + др. местные электротравмы) – 23 %

Элетроожог – самая распространенная электротравма. Возникает у 63 % пострадавших от электротока. 23 % (т.е. треть из них) сопровождается другими травмами. 85 % ожогов приходится на электромонтеров, обслуживающих действующие ЭУ.

4.2.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов

Загрязнение воздушной среды в зоне дыхания(запыленность, загазованность).В рассматриваемом производстве борьба с пылью ведётся с помощью промышленного пылесборника, так как технологический процесс требует ликвидации пыли. К индивидуальным средствам защиты относятся противопылевые респираторы, защитные очки, специальная противопылевая одежда. Производственный процесс относится к 1а группе (избытки явного тепла незначительны, отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ)[15].

Механические колебания твердых тел и их поверхностей (вибрация)

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты работающих, используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат

рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

Акустические колебаниями в производственной среде (шум)

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью[20].

Если эквивалентный уровень шума – от 85 дБА, то работать нельзя [20]. Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

Работы оператора по обслуживанию скипового подъемника относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч) [15].

Микроклимат производственного помещения характеризуется согласно [15]:

- температурой воздуха:

- в холодный период года $t=19-21^{\circ}\text{C}$;

- в тёплый период года $t=20-22^{\circ}\text{C}$;

- влажностью воздуха:

- в холодный период года 60-40 %;

- в тёплый период года 60-40%;

- скорость движения воздуха:

- в холодный период года 0,2 м/с;

- в тёплый период года 0,2 м/с.

Факторы связанные со световой средой (недостаточная освещенность рабочей зоны):

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы. В данном случае работы относятся к разряду IV Г [17]. Требуемая норма освещения $E_{нор}=200$ ЛК. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения большое значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения.

4.3 Экологическая безопасность

В процессе эксплуатации перерабатываемой фабрики образуются отходы производства: отходы углеобогащения, отходы чёрного металла, отработанные ртутные лампы, отработанные индустриальные масла, бытовой мусор. Собственных мест хранения, захоронения отходов у ПФ «ЗСМК» нет. Все отходы предприятие передает различным организациям для дальнейшей утилизации. На предприятии разработан проект нормативов образования и лимитов размещения отходов на основании нормативных актов, действующих в сфере обращения с отходами. В соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей среды» и другими законодательными документами, а также с целью поддержания экологического равновесия в районе на ПФ «ЗСМК» проводится экологический мониторинг.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг загрязнения атмосферы - проводится на границе санитарно - защитной зоны предприятия;

- мониторинг сточных вод - проводится по безымянному ручью на входе его на промплощадку и при выходе с промплощадки.

Функции и обязанности по соблюдению норм в области охраны окружающей среды выполняет инженер по охране окружающей среды, действующий на основании «Положения о производственном контроле...» и Должностной инструкции инженера по охране окружающей среды

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

4.4.1 Защита электрооборудования от короткого замыкания и перегрузок

Защита электрооборудования и электрических сетей от токов короткого замыкания и значительных по величине и продолжительных перегрузок осуществляется предохранителями с плавкими вставками и автоматическими выключателями. При выборе аппаратов защиты должны быть соблюдены следующие условия:

- номинальное напряжение предохранителя должно быть равно или больше номинального напряжения сети
- плавкая вставка предохранителя не должна плавиться при расчетном токе
- плавкая вставка не должна расплавляться при пиковых токах

4.4.2 Воспламенения изоляции в следствии повышения температуры

С физической точки зрения, источниками загорания, проявляющимися при описанных аварийных электрических режимах, являются:

а) сильное тепловыделение при прохождении тока. Это может происходить по причине несоответствия величины протекающего тока и сечения проводника – либо за счет того, что ток слишком велик для данного штатного проводника (перегрузка) или микроканала, по которому проходит ток утечки (нагрев при не полном коротком замыкании)

б) искры, возникающие при больших переходных сопротивлениях, а также работе коммутационных устройств другого искрящего «электрооборудования»;

в) макродуги, возникающие при коротком замыкании;

г) раскаленные частицы и капли расплавленного металла, образующиеся при коротком замыкании

При анализе версий обычно учитывают, что источники зажигания как правило проявляют себя не поодиночке, а в комплексе. И при коротком замыкании, и при перегрузке, и больших переходных сопротивлениях часто

имеет место сочетание последовательно или параллельно протекающих физических процессов и в каждом из них в ходе развития может проявиться несколько указанных факторов:

- при металлическом коротком замыкании – электрическая дуга с присущими «опасными факторами», но, плюс к этому, может проявиться и перегрузка за счет прохождения по электрической цепи тока короткого замыкания

- при неметаллическом коротком замыкании – утечка тока, нагрев изоляции, и ее карбонизация, разложение (если она представляет собой органический материал), но, в конечном счете, дело может закончиться пробоем и электрической дугой, опять же, с присущими ей «опасными факторами» и характерными следами (дуговыми оплавлениями)

- при перегрузке – нагрев проводников на протяженном участке и более сильный – в локальных зонах БПС. Если последние присутствуют в электрической цепи, то горение при перегрузке, скорее всего, возникнет в зоне их нахождения, если там имеются соответствующие горючие материалы. Если нет, то изоляция перегруженного провода может загореться в любом другом месте. Закончиться же все может, как и в предыдущих случаях, электрической дугой и дуговыми оплавлениями

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

- в результате анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проведена оценка сравнительной эффективности разработки с имеющимися аналогами и определены направления для ее будущего совершенствования;

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

- составление сметы для проведения пусконаладочных работ позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» был проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе эксплуатации скипового подъемника. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Также рассмотрены вопросы

экологической безопасности, составлены меры и действия, проводимые работниками, во время возникновения аварийной ситуации.

CONCLUSION

In the degree project was designed and designed electric drive main skip lift of domain stove on the base of device of transformation of current SIMOREG - K.

In the course of designing were calculated parameters of power drive chain, made calculation of регулировочных features of converter, parameters of optimum adjustment and logarithmic amply-frequency and phase-frequency features electric drive. Was it Also made calculation of connecting features САУРАР by the method of mathematical modeling and determined quality factors, which completely meet the requirements technical requirement.

In organizing-economic section were considered actions (starting-adjustment and alignments), required for introductions to the usage электропривода main скипового lift of domain stove and calculated expenseses on undertaking these work..

In the section "Safety and ecology" project were evaluated dangerous and bad factors, acting in the domain shop, considered questions labour protection, surrounding ambiences and made calculation of artificial illuminating of indoors operator

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

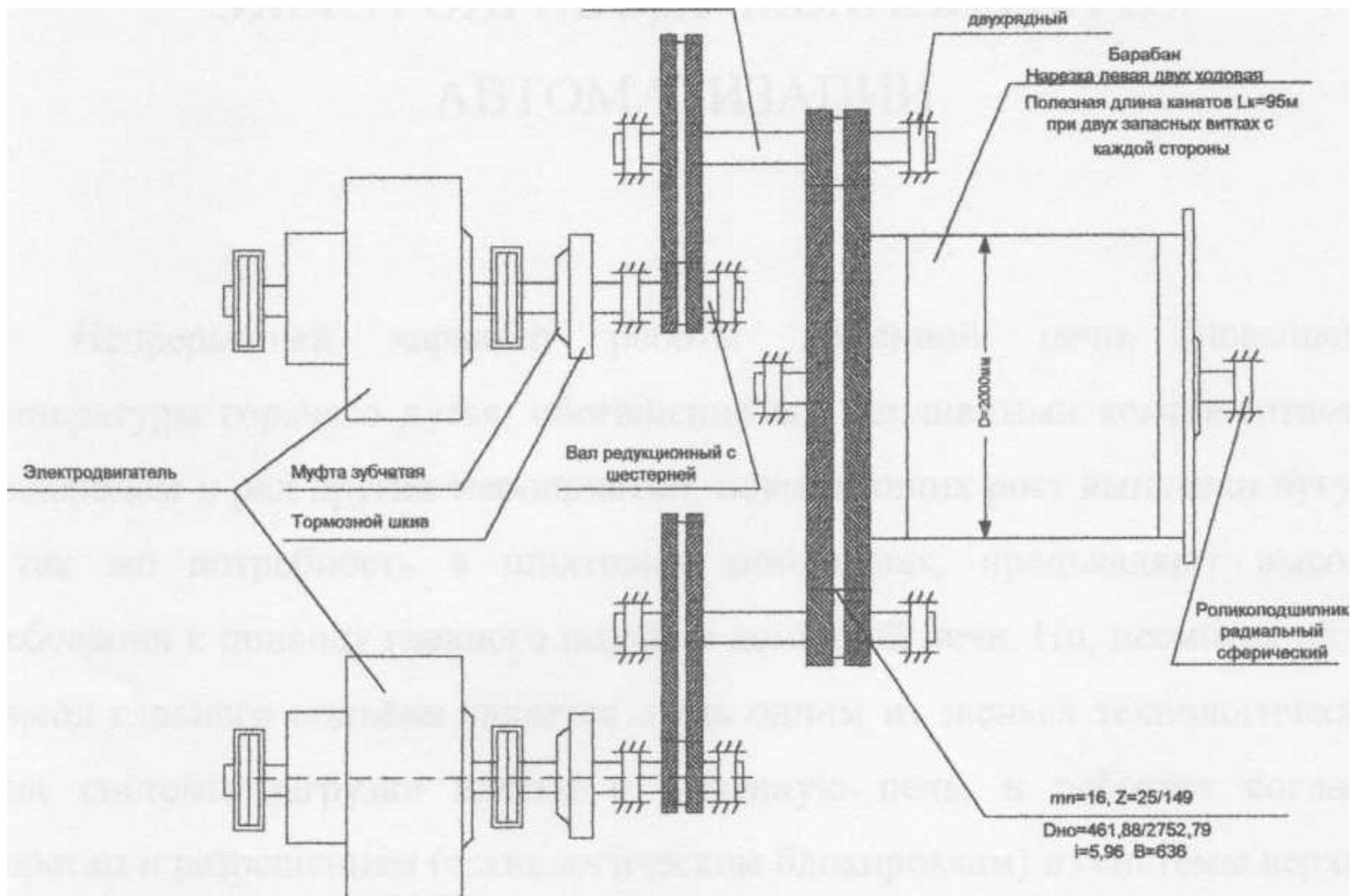
1. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г.Барыбина, М.Л.Самовера. — 3-е изд., перераб. и доп. - М.; Энергоиздат, 1982. - 416 с.
2. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / 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.
23. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
24. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.

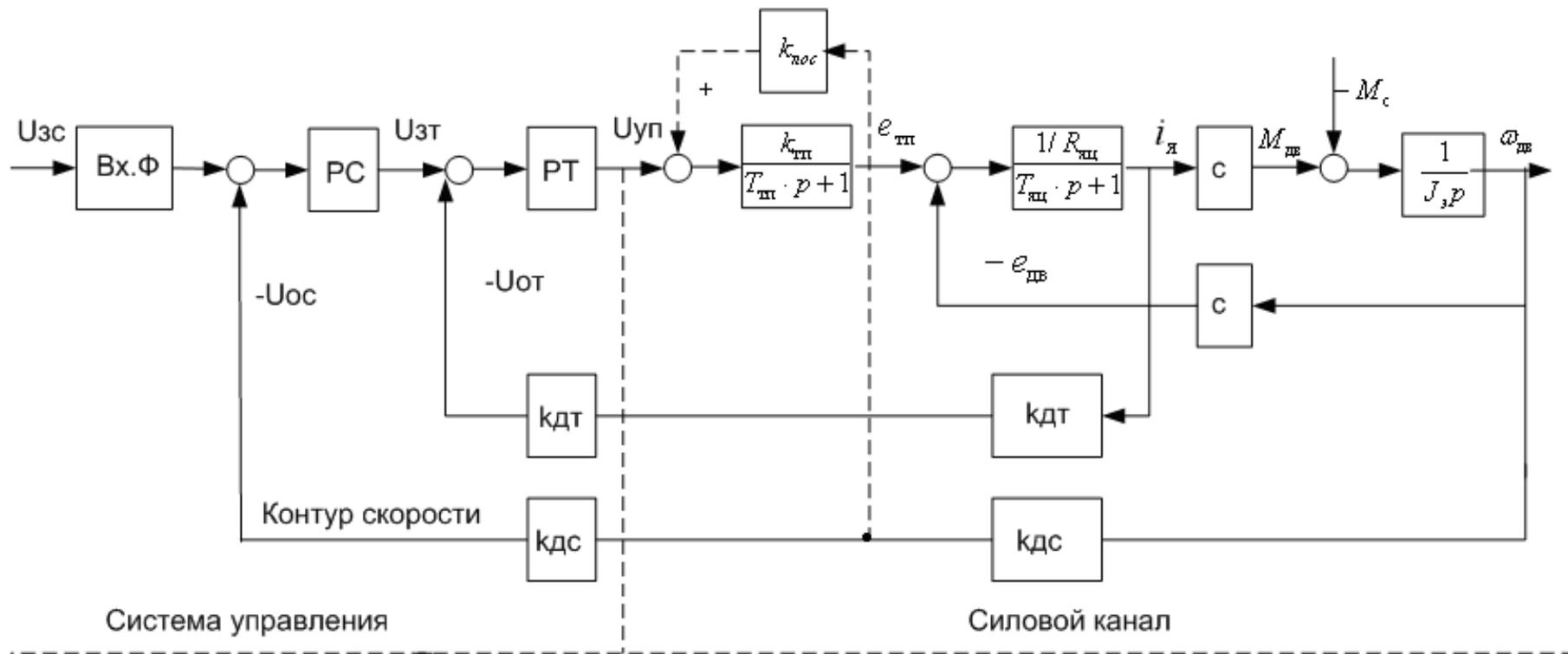
- 25 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.
- 26 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень графического материала.



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



Структурная схема линейризованной САУ РЭП

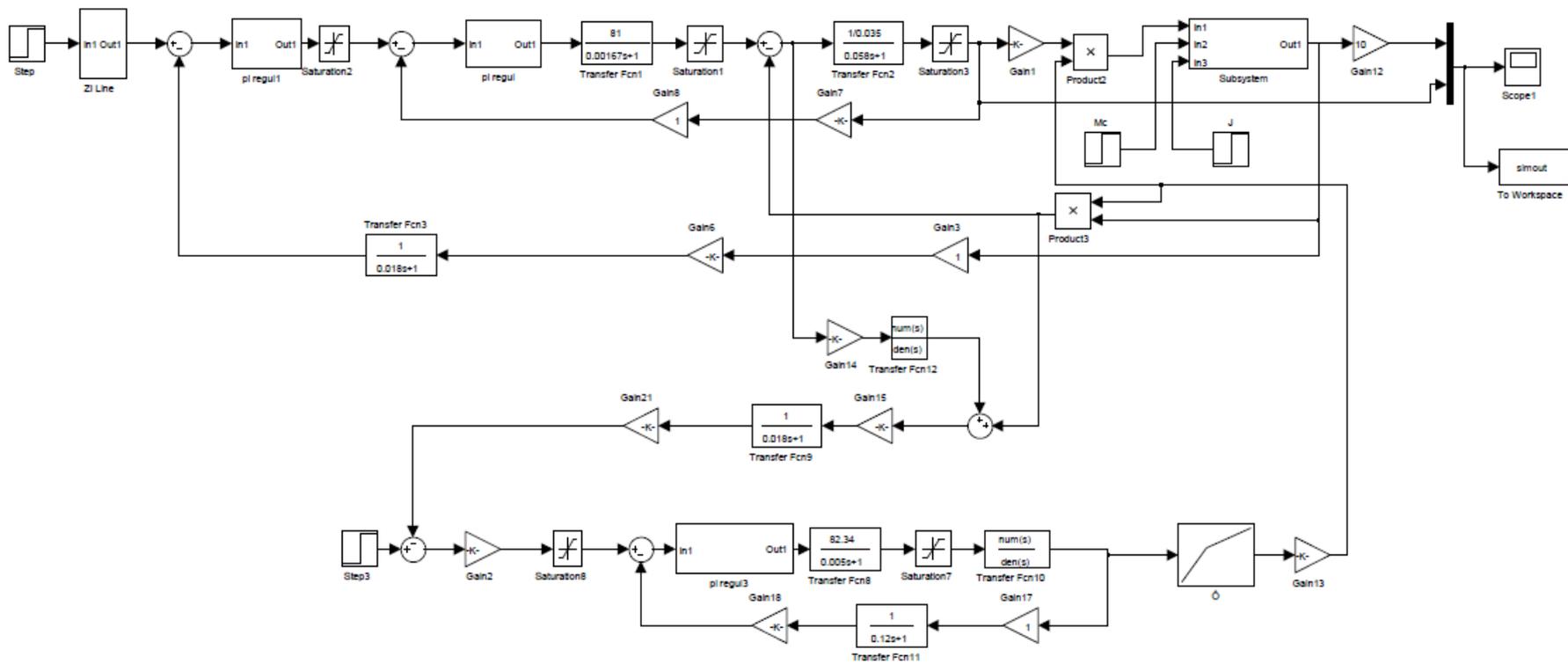
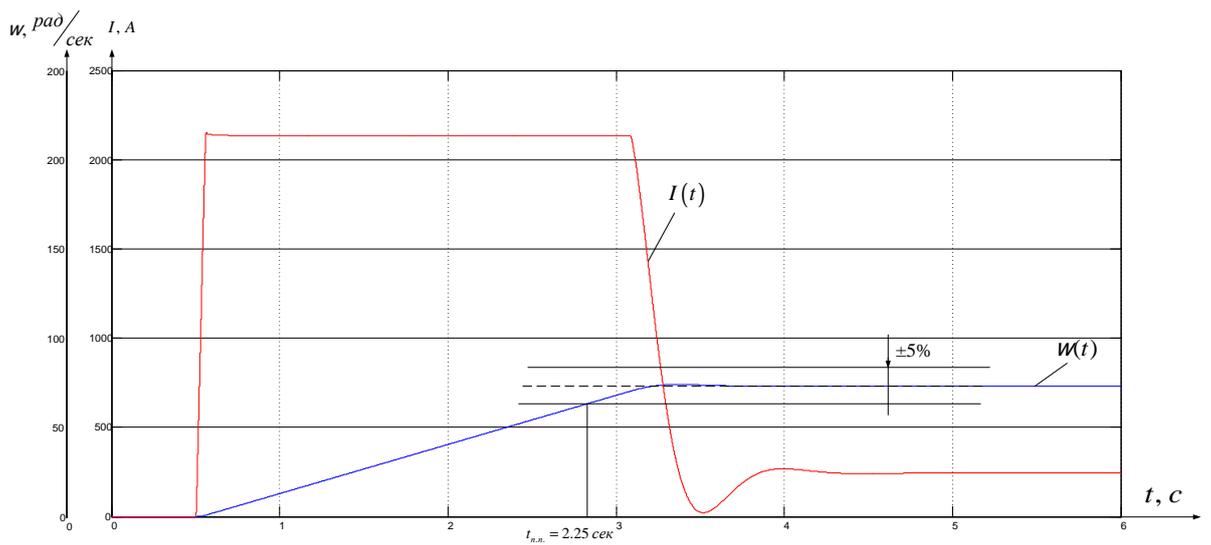
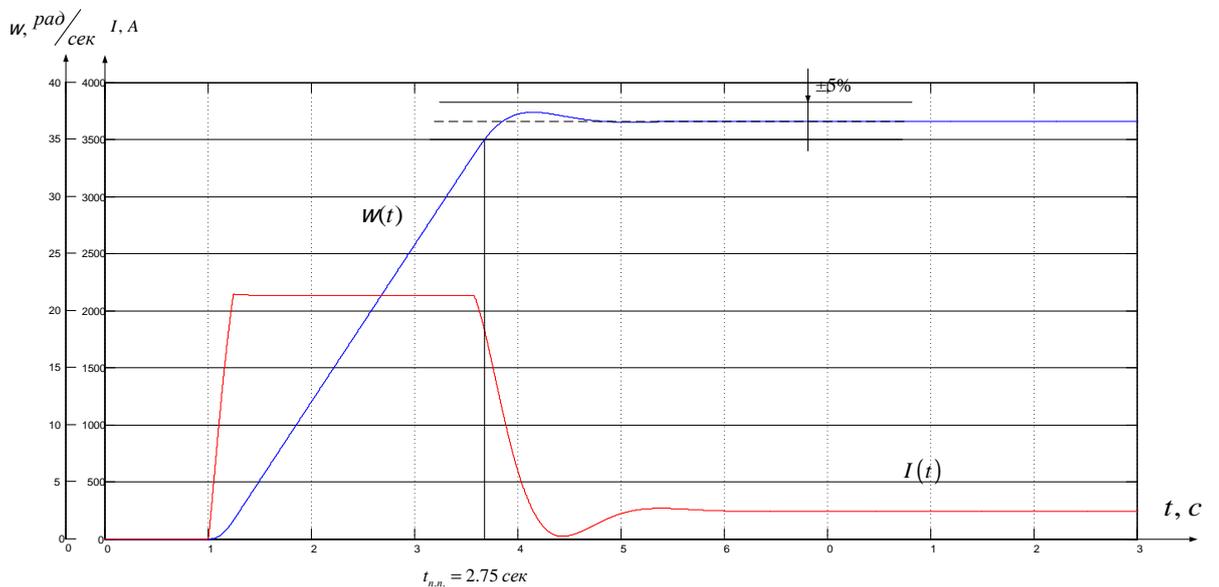


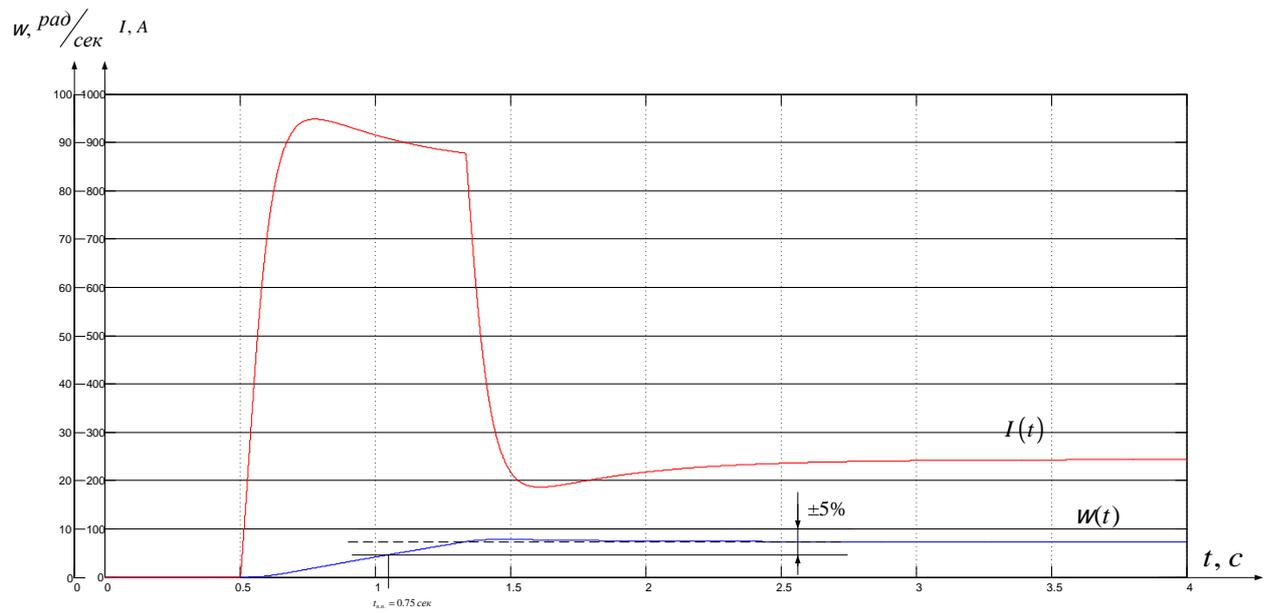
Схема набора модели в программе Matlab.



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.

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