

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Частотно-регулируемый электропривод агломашины

УДК 62-83-523:622.788.36

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Абдуфаязов Акмаль Машарифович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин С.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Абдуфаязову Акмалю Машарифовичу

Тема работы:

Частотно-регулируемый электропривод агломашины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

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

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; безопасность и экологичность проекта; экономическая часть; заключение.
Перечень графического материала	Функциональная схема

	Схема электрическая структурная. Имитационная модель электропривода Динамические характеристики электропривода Статические характеристики электродвигателя и электропривода Техничко-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Абдуфаязов Акмаль Машарифович		05.04.2019г.

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

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

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ляпушкин С.В.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

РЕФЕРАТ

АГЛОМАШИНА, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом выпускной квалификационной работы является электропривод агломашины. Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода агломашины.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода агломашины.

В разделе социальная ответственность рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, в работе использованы программы Mathlab, MathCAD, Microsoft Power Point.

Содержание

Содержание	7
Введение	10
1 Проектно-пояснительная часть	11
1.1 Объект автоматизации. Назначение. Общий вид. Параметры и характеристики	11
1.2 Механизм. Назначение. Кинематическая схема. Параметры	13
1.3 Технологический процесс. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	16
1.3.1 Технологический процесс цеха агломерации.	16
1.3.2 Описание. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	23
1.4 Условия и режим работы, требования к электроприводу	24
1.5 Разработка технического задания	25
2 Проектно-расчетная часть	26
2.1 Выбор электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям	26
2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя	40
2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя	43
2.4 Определение области допустимой длительной работы двигателя	47
2.5 Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя	49
2.5.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя	49
2.5.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя	50
2.6 Выбор преобразователя частоты	52
2.7 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	58

2.7.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода.....	59
2.8 Структурная схема линеаризованной САУ электропривода.....	61
2.9 Оптимизация контуров регулирования САР электропривода	65
2.10 Имитационные исследования регулируемого электропривода агломашины.	75
2.11 Расчет переходных процессов <i>электропривода</i> агломашины	86
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	92
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	93
3.1 SWOT-анализ работ агломерационного цеха на объекте «Евраз ЗСМК»	93
3.2 Организация работ технического проекта.....	96
3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	97
3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП	99
3.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	99
3.4 Расчёт затрат на осуществление технического проекта	103
3.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта.....	103
3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы	104
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	106
3.3.4 Накладные расходы.....	106
3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта	106
Таблица 13 – Смета затрат технического проекта.....	107
3.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта	107
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	110
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	112
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	113
4.2 Производственная безопасность объекта исследования.....	113
4.3 Экологическая безопасность.....	121
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	123

Заключение	128
Список использованных источников	130
Приложение А	132

Введение

Современное металлургическое производство является крупным потребителем электрической энергии. Развитие металлургического производства характеризуется постоянным ростом потребления электроэнергии на тонну выпускаемой продукции. В электрификации черной металлургии особое место занимает электрический привод, так как удельный вес непрерывно растущего потребления электроэнергии на двигательную силу достигает в ней около 80%.

Автоматизация технологических процессов, повышая эффективность производства, увеличивает производительность оборудования, снижает эксплуатационные расходы, сырья, тем самым, обеспечивая экологическую чистоту и улучшение качества всего производства.

Современный автоматизированный электропривод – это высоконадежная и экономичная электромеханическая система, способная полностью обеспечить автоматизацию любого технологического процесса, достигнуть высокого быстродействия и точности при своей работе, улучшить условия труда обслуживающего персонала.

На современном этапе технологического развития существенно возрастает роль автоматизированного электропривода, который в значительной мере стал определять прогресс в областях техники и технологии, связанных с воспроизводством механических движений, получаемых путем электромеханического преобразования энергии.

Энергетическую основу аглоизвесткового производства составляет электрический привод, технический уровень развития которого определяет эффективность работы технологического оборудования цехов и основными направлениями развития которого являются, повышение экономичности и надежности работы. Это достигается путем усовершенствования электродвигателей, преобразователей, аналоговых и цифровых средств управления, коммутационной аппаратуры и элементов защиты.

1 Проектно-пояснительная часть

1.1 Объект автоматизации. Назначение. Общий вид.

Параметры и характеристики

Железорудная часть шихты, используемая в доменном процессе, подлежит окусковыванию, которое осуществляется двумя способами: агломерацией и окомковыванием (окатыванием).

Агломерацией называется термический процесс окусковывания рудных материалов путем их спекания с целью придания формы и свойств, необходимых для доменной плавки. Процесс агломерации осуществляется на агломерационных машинах.

Сущность процесса агломерации сводится к спеканию на агломерационных машинах исходного сырья, смешанного с топливом и различными добавками (известняком, доломитом, и т. д.), ускоряющими процесс спекания. В процессе агломерации из руды удаляются вредные для чугуна примеси (серы, фосфора, мышьяка и т. п.).

Применение агломерата ускоряет процесс плавки чугуна в доменных печах, при этом снижается расход кокса, а производительность доменной печи повышается на 15-20%.

Производственные процессы на агломерационных фабриках характеризуются непрерывностью, что создает благоприятные условия для их полной механизации и комплексной автоматизации.

Меняющийся состав исходного сырья, сложность физико-химических процессов, наличие большого количества внешних возмущающих воздействий (смерзание руды зимой, зависание материалов в бункерах, завалка течек, сход ленты и т. п.) предъявляют к системам автоматического управления ряд специфических требований.

Аглодоменное производство характеризуется непрерывным высокомеханизированным процессом, в котором участвует большое число технологически связанных механизмов. Конвейеры, питатели и другие транспортные механизмы и устройства аглоцеха объединены в поточно-транспортную систему (ПТС), имеющую централизованное автоматизированное управление

Механизмы ПТС сблокированы между собой, благодаря чему осуществляется последовательность пуска их в направлении, обратном грузопотоку, автоматическая остановка всех предыдущих механизмов (считая от начала линии) при остановки одного из них во избежании завала и т. п.

В аглоцехе широко применяется диспетчерское централизованное управление ПТС, оснащенное средствами программирования, телемеханики, и вычислительной техники. Централизованная система управления механизмами поточного производства предусматривает три режима управления: централизованное со щита оператора; местное для производства ремонтных работ, а также местное сблокированное для наладочных работ и на случай выхода из строя системы централизованного управления.

Режимы управления можно выбирать централизованно для всех механизмов участка, пользуясь общим для всех механизмов избирателем управления, установленным на щите оператора, либо индивидуальным для каждого механизма избирателем управления, или путем установки избирателя управления на блоках управления этими электродвигателями. Индивидуальный выбор режимов управления механизмами позволяет переводить отдельные механизмы на тот или иной режим управления, не нарушая централизованное управление участком. Это особенно важно для разветвленных участков с несколькими трактами, поскольку дает возможность при централизованном управлении участком на местном или местном сблокированном режимах, управления осуществлять ремонтные и наладочные работы отдельных механизмов. Однако индивидуальный выбор

режимов управления механизмами требует многочисленных приборов и больших капитальных затрат. Поэтому при небольшом числе механизмов на участке его не используют. Для обеспечения безопасности обслуживания предусматривают различные виды сигнализации: предупредительную, предупреждающую персонал о предстоящем пуске механизмов; предупреждающую, сигнализирующую отклонение от нормального состояния отдельных автоматизированных узлов поточного производства; аварийную, сигнализирующую об аварийной остановке механизмов, и др.

Используют как мало проводные схемы с шаговыми искателями и другими элементами телемеханики, так и более простые много проводные схемы, в которых избирание и управление механизмами осуществляется с помощью ключей и кнопок.

Высокое качество агломерата и максимальная производительность агломашины обеспечивается при автоматизации и оптимизации технологического процесса, когда создаются условия для поддержания постоянства состава и физико-механических свойств шихты, заданной высоты слоя шихты на спекательных тележках, постоянной оптимальной влажности шихты, постоянного соотношения газ-воздух и температуры горна, регулирование скорости движения ленты в зависимости от вертикальной скорости спекания с таким расчетом, чтобы процесс спекания заканчивался над предпоследней вакуум-камерой и т.п.

1.2 Механизм. Назначение. Кинематическая схема. Параметры.

В процессе агломерации исходные шихтовые материалы вначале усредняют по содержанию железа, затем дозируют, смешивают между собой и топливом (коксом), увлажняют и расстилают слоем заданной толщины (около 0,35м) на непрерывно движущихся колосниках, которые перемещаются по кольцевому рельсовому пути. Через образованный слой шихтовых

материалов продувается воздух с помощью мощных дымососов (эксгаустеров) с целью полного выгорания коксика по всей толщине рабочего слоя и получения пористой структуры агломерата, необходимой для доменной плавки.

Преимущественное распространение получили агломерационные машины серии АКМ. Основным узлом агломашины конвейерного типа является спекательная тележка, на которой укреплены колосники. Тележки перемещаются по направляющим рейкам. В конце горизонтального пути тележки опрокидываются, выгружая агломерат, и скатываются к головной части машины. Здесь специальные зубчатые колеса захватывают грузовые ролики тележки и, поднимая их на уровень верхнего пути, продвигают вперед все тележки. Лента приводится в движение зубчатыми колесами через редуктор от электродвигателя постоянного тока.

Одним из условий получения качественного агломерата является обеспечение соответствия между скоростью агломашины и скоростью спекания шихты, которая зависит от высоты ее слоя, влажности, состава и др. Кроме того, скорость движения аглоленты должна быть согласована с работой питателя, подающего на нее шихту.

Кинематическая схема механизма агломашины представлена на рисунке 1.

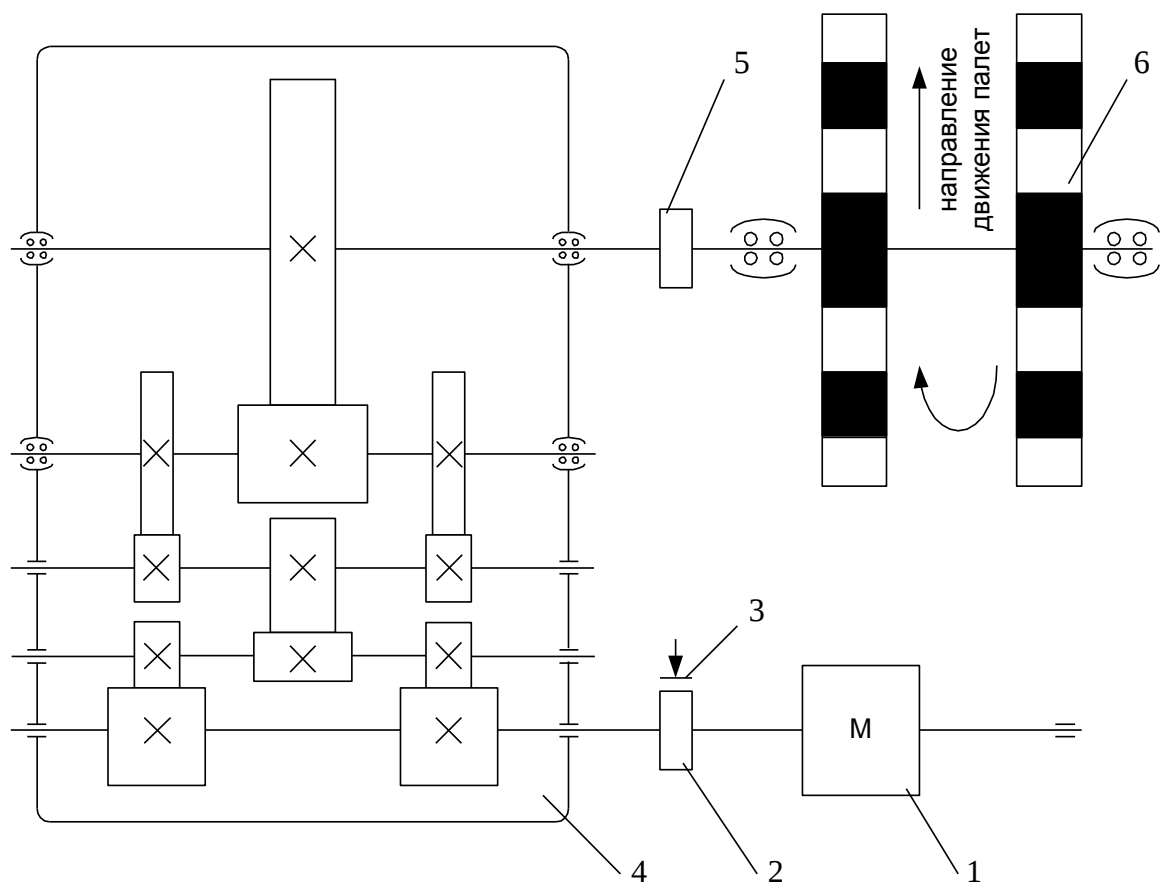


Рисунок 1.- Кинематическая схема механизма агломашины.

Состав механизма 1 двигатель, 2 электромагнитная муфта, 3 электромагнитный тормоз, 4 четырёх ступенчатый редуктор, 5 муфта и 6 паллета.

1.3 Технологический процесс. Параметры и характеристики.

Требование к электроприводу механизма и автоматизации

1.3.1 Технологический процесс цеха агломерации.

Все исходные материалы подвозятся к цеху в саморазгружающихся вагонах и хранятся в соответствующих бункерах.

Цех в своем составе имеет:

- участок дробления топлива;
- участок дробления известняка;
- дозировочное отделение;
- спекательное отделение;
- отделение охлаждения и сортировки агломегата.

Участок дробления топлива

На участок дробления кокса поступает кокс фракцией(25-40) мм около 1 % , фр.(10-25)мм до 10% и основная (отсев с КХП и доменного цеха) фр. 10 мм – 90%.

Площадь склада топлива разбивается на два квадрата по длине. В одном квадрате формируется штабель, в это время из заранее сформированного штабеля производится забор усредненного топлива. Постоянный технологический запас топлива на складе должен составлять 5-7 тыс. тонн.

Дробление топлива для агломерации производится в две стадии: на коротко конусной дробилке КМД-1750 до крупности 15 мм, а затем на четырех валковых дробилках типа ДТ900*700 до крупности 3мм.

Со склада усредненное топливо подается через перегрузочный узел N 16 в корпус дробления на инерционный грохот. Надрешетный продукт грохочения, классы крупностью более 15мм, поступают по конвейеру ДТ-2 в конусную дробилку, а подрешетный (фракция менее 15мм) – конвейерами П16-2, ИТ-1 подается в бункера корпуса измельчения топлива.

Для нормальной работы конусной дробилки необходимо обеспечить равномерное распределение топлива вокруг дробящего конуса. Разгрузочная щель дробилки устанавливается на уровне 8-12мм. Во избежании попадания металла в конусную дробилку, на конвейерах ИТ-1 и П16-1 установлены электромагнитные металлоискатели.

В случае остановки дробилки на ремонт, топливо фракция менее 15мм попадает в корпус измельчения топлива (КИТ). Измельчение топлива производится четырех валковыми дробилками, которых в корпусе имеется 6 шт., установлены бункера емкостью 50 м³ каждый. Загрузка их топливом производится реверсивным передвижным конвейером ИТ-2. Из бункеров топливо выдается через питающие воронки с затворами шиберного типа на ленточные конвейера, подающие топливо в дробилки. Для предупреждения попадания металла в дробилки на загрузочных конвейерах установлены электромагнитные метало искатели.

Для обеспечения качественного измельчения топлива валки должны иметь равномерный износ. Зазор как между верхними, так и между нижними валками устанавливается равномерный по всей длине и должен быть между верхними валками 4-6мм, между нижними – 1-1,5мм.

Подготовленное для агломерации топливо представляет собой измельченный продукт крупностью менее 3мм. Содержание классов крупностью 3мм в готовом топливе не должно превышать 9%. Чрезмерное измельчение топлива так же вредно, как и недоизмельчение, поэтому содержание классов в нем менее 0,5мм должно быть минимальным.

Контроль качества подготовленного топлива для агломерации проводится путем рассева проб топлива, отбираемых работниками отдела технического контроля (ОТК).

Участок дробления известняка

Подача известняка в корпус дробления осуществляется конвейером ДИ-1, загрузка бункеров молотковых дробилок – конвейером ДИ-3.

Дробление известняка производится на молотковых дробилках типа ДМ РИЭ-10*10, работающих в замкнутом цикле с инерционными грохотами 173ГР, на которых отсеивается фр. менее 5мм. Во избежании попадания металла в дробилку на конвейерах ДИ-1, ДИ-2 установлены металлоискатели и подвесные электромагниты.

Для равномерной загрузки дробилок на каждую предусмотрен бункер емкостью 15 т, оборудованный питателем. Загрузка известняка на дробилку, в зависимости от его крупности и качества оборотного продукта, регулируется при помощи изменения скорости ленты питателя, реечного затвора и шибера. Качество дробления обеспечивается величиной зазора между колосниками решетки и молотками ротора. Зазор между колосниками колосниковой решетки должен составлять 8-10мм.

Дробленый известняк из под молотковой дробилки конвейером СОИ-1 подается в бункера грохотов через двух рукавную загрузочную тележку (автостеллу). На грохотах сортировки известняка устанавливаются плетеные сита с размером ячейки 5мм. После грохочения готовый известняк фракция 5мм подается на бункера шихты по конвейерам П20-1,Ш-10. Известняк крупностью свыше 5мм (надрешетный продукт) конвейерами ДИ-2, ДИ-3 направляется в бункера молотковых дробилок.

Крупность известняка в готовом продукте не должна превышать 5мм, причем содержание фракции 5мм допускается не более 4%. Ситовый состав известняка контролируется ОТК.

Дозировочное отделение

Основное назначение дозировки, обеспечить получение агломерата заданного качества с постоянными физико-химическими свойствами.

Дозировка агломерационной шихты заключается в поддержании заданного соотношения и количества между компонентами шихты. По технологической схеме агломерации дозирование компонентов шихты (коршуновского концентрата, смеси руд, окалины, марганцевых добавок, флюса и части топлива) производится в шихтовом отделении, дозирование возврата – в корпусе первичного смешивания (КПС), окончательное дозирование топлива производится в аглокорпусе.

В дозировочном отделении работает система автоматического дозирование компонентов шихты.

На каждую машину шихта дозируется ленточными дозаторами (известняк, аглоруда, коксик) и тарельчатыми питателями (железорудный концентрат и добавки) из 19 бункеров емкостью 70м³ каждый.

Шихта из дозировочного отделения поступает в КПС, где смешивается с возвратом. Дозирование возврата в шихту каждой агломашины производится тарельчатыми питателями из общего бункера возврата объемом 500м³.

В общий бункер поступают: возврат, выделяемый на самобалансных грохотах горячего агломерата после дробления аглоспека; холодный возврат, выделяемый на самобалансных грохотах охлажденного и сортировки постели; отсев агломерата из газовых коллекторов агломашин.

Шихта с возвратом смешиваются в барабанных смесителях отдельными для каждой машины. В смесителях происходит перемешивание всех видов шихты, подогрев шихты за счет горячего возврата и первоначальное ее увлажнение.

Спекательное отделение

Окомковывание шихты производится в окомкователях ОВ6-3,2-12-5, которые установлены в аглокорпусе над каждой агломашинной. Там производится окончательное перемешивание шихты с добавочным топливом, увлажнение и окомковывание. Увлажнение шихты в окомкователях производится эвольвентными форсунками, позволяющими получать тонкое распыление воды.

Часть топлива вводят в аглошихту в корпусе шихтовых бункеров. Затем содержание углерода в обоих слоях шихты доводится до требуемого уровня дозированием дополнительного топлива в аглокорпусе перед смесителями-окомкователями, для чего на каждой агломашине имеется по 5 бункеров емкостью 50м³ (два для нижнего и три для верхнего слоя).

Шихта укладывается на предварительно уложенную постель. Постель представляет собой мелкий агломерат фракцией 20-23мм, который выделяется на самобалансных грохотах охлажденного агломерата с добавлением просыпи из под охладителей. Этот продукт подвергается дополнительной классификации в узле сортировке постели на пневмокласификаторе. Количество постели, загружаемое на колосниковую решетку, зависит от скорости агломашинной и должно быть таким, чтобы слой постели составлял не менее 20мм. Количество постели контролируется по показаниям весов на конвейере П8-3. Регулирование количества постели производится сокращением или добавлением щелей на грохотах.

Загрузка шихты на агломашинную осуществляется через барабанный питатель. Питатель находится над загрузочным бункером. Равномерное распределение шихты в загрузочном бункере в направлении, перпендикулярном оси агломашинной, достигается при помощи передвижных конвейеров, работающих в челноковом режиме.

Высота слоя шихты на агломашинных устанавливается в зависимости от

степени подготовки шихты и соответствии тяговых средств может меняться от 300 до 500мм.

Загрузка шихты двухслойная. Нормальное соотношение между верхним и нижним слоями при высоте слоя до 400мм должно составлять 1/2, при высоте более 400мм – 1/3.

На всех агломашинах чугунные колосники спекательных тележек заменены на стальные, часть из которых изготавливается на комбинате штампованием.

Зажигание шихты является начальной стадией процесса спекания и от правильной организации его зависят производительность агломашин и качество агломерата по механической прочности. Спекание подготовленной шихты является основным этапом в технологии получения качественного агломерата и осуществляется за счет горения углерода топлива в слое шихты и формирования жидкой фазы.

Агломерационный процесс является весьма совершенным по использованию тепловой энергии топлива за счет регенерации тепла. Поэтому несмотря на небольшое содержание топлива в шихте (3,5-4,5%), при правильной организации процесса спекания в зоне горения топлива развивается температура до 1450-1500С⁰, при которой происходит плавление и формирование жидкой фазы.

Скорость движения спекательных тележек регулируется агломератчиком в зависимости от вертикальной скорости спекания таким образом, чтобы спекание заканчивалось на предпоследней вакуум-камере.

Вертикальную скорость спекания можно определить по формуле:

$$V_B = (H \cdot V_T) / L$$

где H – высота слоя шихты, мм;

V_T – скорость движения палет, м/мин;

L – длина площади просасывания, м;

Скорость движения палет должна быть временно снижена при следующих режимах спекания:

- недостаток или избыток влаги в шихте;
- ухудшение подготовки смешивания и окомковывания шихты;
- уплотнение шихты при загрузке;
- снижение температуры подогрева шихты;
- работа без постели;
- избыток углерода в шихте.

После снижения скорости движения палет принимают все необходимые меры к устранению причин.

Для получения наибольшей производительности агломашины следует стремиться использовать полную мощность эксгаустеров. В исключительных случаях (при аварии или ремонте эксгаустера) с разрешения начальника цеха допускается работа агломашины с одним эксгаустером. При работе одним эксгаустером необходимо уменьшить общую высоту слоя шихты до 250-300мм и откорректировать расход топлива.

Высокопроизводительная работа доменных печей достигается в том случае, когда используется агломерат крупности фракцией в пределах 5-30мм, что достигается соответствующим дроблением и грохочением агломерата.

Охлаждение и сортировка агломерата

Транспортировка агломерата в доменный цех осуществляется конвейерами с резиновой лентой. В целях исключения случаев загорания ленты, а также по санитарно-техническим требованиям, агломерат должен охлаждаться до 100-120С⁰. Дробленый агломерат охлаждается на прямолинейных охладителях ОП-315 с продувом воздуха снизу.

На агломашине №1 для подачи агломерата на охладитель применяется

схема обратной загрузки. Охлажденный агломерат после охладителей вначале поступает на стационарный грохот, где отделяется фр. Более 30мм, и затем направляется в доменный цех, а фр. Менее 30мм поступает на самобалансный грохот, на котором вначале отделяется мелочь (менее 5мм), а затем "постель" крупностью 5-13мм. Мелочь подается в КПС, а "постель" укладывается на колосники спекательных тележек агломашины.

Готовый агломерат по конвейерным трактам подается в доменный цех. Перед загрузкой в скип доменной печи из агломерата отделяется класс менее 5мм, который в смеси с холодным возвратом направляется в КПС.

1.3.2 Описание. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации

Система электропривода агломерационной машины должна удовлетворять следующим основным требованиям: диапазон регулирования скорости 1:10; точность поддержания скорости во всем диапазоне регулирования 5%. Система регулирования скорости автоматическая, в функции сигналов технологических датчиков. Должны быть обеспечены также автоматическое поддержание величины тормозного момента, предварительный выбор зазора между палетами в верхней ветви ленты, фиксация палет на звездочках во время остановки машины и т. п. Схема должна обеспечивать также подрегулирование скорости барабанного и тарельчатого питателей.

Для ЭП большинства механизмов аглоцеха, в том числе ПТС, используются в основном асинхронные электродвигатели напряжением 380 В, мощностью до 250 кВт. Двигатели с фазным ротором используются для конвейеров большой протяженностью. Для эксгаустеров используются синхронные электродвигатели напряжением 10кВ, мощностью 5МВт.

Включение в работу механизмов потока агломашины осуществляется в строго определенной последовательности, что обеспечивается соответствующими блокировками. Например, перед пуском агломашины включается насос масла смазки и дробилки агломерата. Питатели включаются и останавливаются одновременно с агломашинной и т. д.

1.4 Условия и режим работы, требования к электроприводу

Выбор рода тока и типа электропривода производится исходя из целого ряда условий, предъявляемых к режиму работы исполнительного механизма.

Одним из условий получения качественного агломерата является обеспечение соответствия между скоростью движения аглоленты и скоростью спекания шихты, которая зависит от высоты ее слоя, влажности, состава и др. Кроме того, скорость движения аглоленты должна быть согласована с работой питателя, подающего на нее шихту.

Система электропривода агломерационной машины должна удовлетворять следующим основным требованиям: диапазон регулирования скорости 1 : 10 погрешность поддержания скорости во всем диапазоне регулирования не более 15%. Система регулирования скорости автоматическая, в функции сигналов технологических датчиков. Должны быть обеспечены также автоматическое поддержание величины тормозного момента, предварительный выбор зазора между спекательными тележками в верхней ветви ленты, фиксация спекательных тележек на звездочках во время остановки машины.

Указанным требованиям удовлетворяет электропривод переменного тока с частотным регулированием

1.5 Разработка технического задания

Разработать регулируемый электропривод агломерационной машины, удовлетворяющий следующим заданным техническим условиям и требованиям:

1. Род тока – переменный;
2. Преобразователь частоты;
3. Напряжение питающей сети переменного трехфазного тока $U_c=380\text{В}$ с частотой $f_c=50\text{Гц}$;
4. Нагрузка - реактивная;
 - 1 Работа в длительном режиме;
 - 2 Максимальная линейная скорость: $V_{\max}=6.9\text{ м/мин.}$;
 - 3 Диапазон регулирования скорости: $D=1:10$;
 - 4 Время переходных процессов не более 3 с;
 - 5 Перерегулирование не более 20%;
10. Коэффициент полезного действия 0.92;
- 11 Частота питающей сети 50 Гц $\pm 2\%$, качество подаваемого напряжения должно соответствовать ГОСТ13109 – 87;
- 12 По защищенности от проникновения твердых тел и воды технические средства электропривода должны иметь степень защиты IP55, согласно ГОСТ14254 – 80;
13. По устойчивости к внешним вибрационным воздействиям аппаратура электропривода должна соответствовать исполнению L3 по ГОСТ12007–84;
14. Система электропривода должна обеспечивать безотказную работу в помещениях со следующими условиями: температура окружающей среды от 1 до 40°C; относительная влажность от 40 до 80% (при температуре +25°C); атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст.; высота над уровнем моря до 1000м;

15. Бесперебойная работа электропривода должна обеспечиваться за счет высокой надежности аппаратных средств и правильной эксплуатации. Гарантийный срок работы 4000-6500 ч.;
16. Срок службы не менее 20 лет;
17. Конструкция системы должна обеспечивать легкий доступ к любому ее элементу, а также возможность быстрой замены вышедшего из строя модуля;
18. Требования по безопасности использования электропривода должны соответствовать ГОСТ25.861 – 83;
19. Все элементы, находящиеся под напряжением должны иметь защиту от случайного соприкосновения, а также заземление или зануление в соответствии с ГОСТ12.1030-81;
20. Уровень воздушного шума при работе системы не должен превышать 70 дБ.

2 Проектно-расчетная часть

2.1 Выбор электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям

По технологическим условиям для получения непрерывно качественного агломерата электропривод агломашины должен работать в длительном режиме, что облегчает расчет мощности электропривода и делает ненужным проверки электродвигателей. Расчет мощности привода агломашины состоит из двух основных этапов. Первый этап, расчет мощности двигателя привода аглоленты. Для облегчения расчетов распределим нагрузку по участкам агломашины, то есть, разделим агломашину на участки разной длины, что приведено на рисунке 2.

Окружные усилия на звездочке электропривода складываются из следующих усилий :

1. Усилия на подъем тележек на участке АБ;
2. Усилия на продвижение тележек на участке БД;
3. Усилия на продвижение тележек на участке ДС под горнами;
4. Усилия на преодоление трения в торцевых уплотнениях;
5. Усилия на продвижение тележек на участке СЕ;
6. Усилия от давления тележек на нижней наклонной части, направляющих средней части на участке НА.

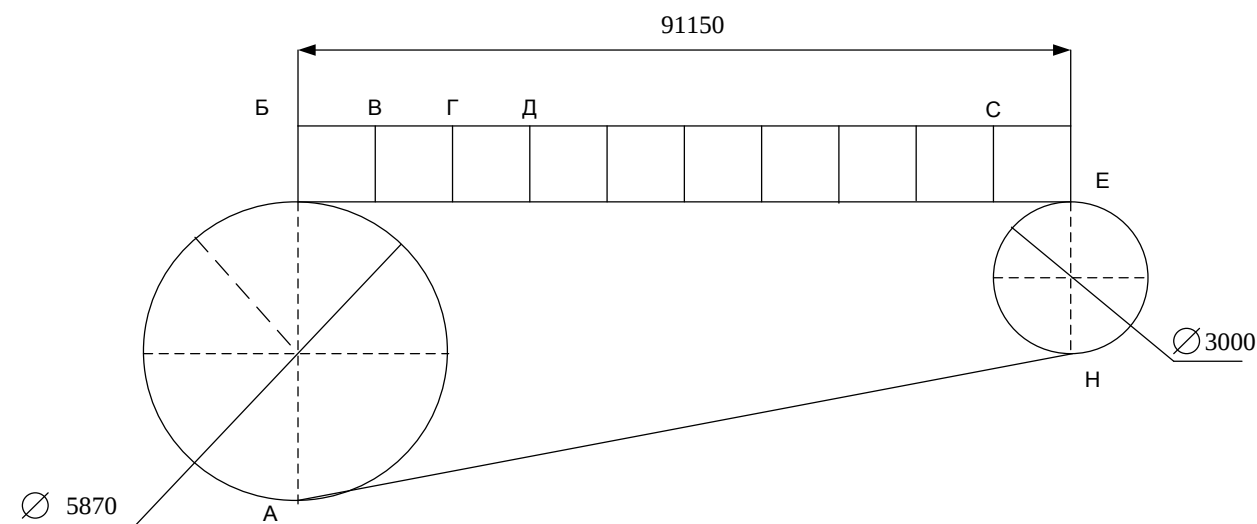


Рисунок 2. Распределение нагрузки по участкам агломашины.

Мощность главного привода ленты рассчитывается с учетом использования всей рабочей площади ленты машины только для спекания.

Сначала рассчитывается распределение спекательных тележек по ленте машины:

1. Количество незаполненных тележек на участке БВ рассчитывается по выражению

$$n_1 = \frac{L_{\text{БВ}}}{r} = \frac{2450}{1500} = 1.5 \text{ шт.}$$

где $L_{\text{БВ}}$ - длина участка БВ ($L_{\text{БВ}}=2450$ мм.);

r - радиус звездочки разгрузочной части ($r=1500$ мм.).

2. Количество тележек на участке ВГ и ГД, где насыпаются первый и второй слой шихты, рассчитывается по выражению

$$n_2=n_3= L_{\text{ВГ}} / r = 2.5 \text{ шт.},$$

где $L_{\text{ВГ}}$ - длина участка ВГ ($L_{\text{ВГ}}=3800$ мм.);

$L_{\text{ГД}}$ - длина участка ГД ($L_{\text{ГД}}=3800$ мм.).

3. Количество тележек на участке ДС, где происходит спекание, рассчитывается по выражению

$$n_4 = \frac{L_{\text{ДС}}}{r} = \frac{78000}{1500} = 52 \text{ шт.},$$

где $L_{\text{ДС}}$ - длина участка ДС ($L_{\text{ДС}}=78000$ мм.).

4. Количество тележек на участке СЕ, где происходит охлаждение агломерата, рассчитывается по выражению

$$n_5 = \frac{L_{\text{СЕ}}}{r} = \frac{3150}{1500} = 2 \text{ шт.},$$

где $L_{\text{СЕ}}$ - длина участка СЕ ($L_{\text{СЕ}}=3150$ мм.).

5. Количество тележек на участке АБ, рассчитывается по выражению

$$n_6 = \frac{3.14 \cdot D_{\text{НО}}}{2 \cdot r} = \frac{3.14 \cdot 5870}{2 \cdot 1500} = 6 \text{ шт.},$$

где $D_{\text{НО}}$ - диаметр наружной окружности приводной звездочки

($D_{\text{НО}}=5870$ мм.).

6. Количество тележек на участке ЕН, рассчитывается по выражению

$$n_7 = \frac{3.14 \cdot D'_{\text{НО}}}{2 \cdot r} = \frac{3.14 \cdot 3000}{2 \cdot 1500} = 3 \text{ шт.},$$

где $D'_{\text{НО}}$ - диаметр наружной окружности звездочки ($D'_{\text{НО}}=3000$ мм.).

7. Количество тележек на наклонной части агломашины на участке НА, рассчитывается по выражению

$$n_8 = \frac{L_M}{r \cdot \cos \alpha} = \frac{91150}{1500 \cdot 0.996} = 61 \text{ шт.},$$

где

L_M - длина агломашины по частям звездочки ($L_M=91150$ мм.);

α - угол наклона холостой ветви агломашины ($\alpha=1^\circ 5' 13''$).

8. Общее количество спекательных тележек на агломашине определяется по выражению

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7 + n_8$$

$$n = 1.5 + 2.5 + 52 + 2 + 6 + 3 + 61 = 130 \text{ шт.}$$

Теперь определяем усилия на преодоление трения качения ходовых роликов по рельсам и трения в цапфах на горизонтальном пути.

1) На участке БВ это усилие определяется по формуле:выражению

$$A_1 = \frac{Q_T \cdot n_1 \cdot (\mu \cdot d + 2 \cdot f)}{D} \cdot \beta =$$

$$= \frac{688662.2 \cdot 0.01 \cdot 11 + 2 \cdot 0.05}{30} \cdot 1.3 = 1253 \text{ Н},$$

где Q_T - вес порожней тележки ($Q_T=68866.2$ Н);

n_1 - количество паллет на участке БВ ($n_1=2$ шт.);

μ - приведенный коэффициент трения в подшипниках качения ($\mu=0.01$);

f - коэффициент трения качения роликов о рельсы путей направляющих ($f=0.05$);

β - коэффициент, учитывающий трение ребер роликового рельса путей ($\beta=1.3$);

D - диаметр ролика ($D=30$ мм.);

d - диаметр подшипника качения ($d=11$ мм.).

2) На участке ВГ тележки заправляются одним слоем шихты и усилия определяются по выражению

$$A_2 = \frac{\left(Q_T + \frac{Q_2}{2} \right) \cdot \mu \cdot d + 2 \cdot f \cdot n_2}{D} \cdot \beta =$$

$$= \frac{68866.2 + \frac{38112}{2} \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2.5}{30} \cdot 1.3 = 2000 \text{ Н},$$

где

Q_2 - вес шихты на тележке, определяем по выражению

$$Q_2 = F \cdot H \cdot \gamma \cdot 9.81 = 6 \cdot 0.35 \cdot 1.85 \cdot 10^3 \cdot 9.81 = 38112 \text{ Н},$$

где

F - площадь спекательной тележки ($F=6 \text{ м}^2$);

H - высота спекательного слоя ($H=0.35 \text{ м}$);

γ - плотность шихты ($\gamma=1.85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

3) На участке ГД на тележки насыпается второй слой шихты, и усилие определяется по выражению

$$A_3 = \frac{Q_T + Q_2 \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_3}{D} \cdot \beta = \frac{68866.2 + 38112 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2.5}{30} \cdot 1.3 = 2434 \text{ Н.}$$

4) На участке ДС происходит спекание шихты, и усилие определяется по выражению

$$A_4 = \frac{Q_T + Q_2 + p \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_4}{D} \cdot \beta$$

$$A_4 = \frac{68866.2 + 38112 + 64746 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 52}{30} \cdot 1.3 = 81260 \text{ Н,}$$

где

p - давление на одну спекательную тележку от разряжения под ней, это давление определяется по выражению

$$p = p' \cdot 9.81,$$

где

p' - разряжение под спекательной тележкой ($p' = 0.66 \cdot 10^4$).

$$p = 0.66 \cdot 10^4 \cdot 9.81 = 64746 \text{ Н}$$

5) На участке СЕ усилие определяется по выражению

$$A_5 = \frac{Q_T + Q_2 \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_5}{D} \cdot \beta$$

$$= \frac{68866.2 + 38112 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2}{30} \cdot 1.3 = 1947 \text{ Н.}$$

Подъемное усилие гидроуплотнения, которое действует на одну спекательную тележку, определяется по выражению

$$p'' = (2 \cdot b \cdot l \cdot p_y) - k = (2 \cdot 150 \cdot 1.9 \cdot 9.8) - 736 = 4856 \text{ Н,}$$

где

l - длина спекательной тележки ($l=150$ см) ;

b - ширина поверхности соприкосновения ($b=1.9$ см) ;

κ - вес пластин гидроуплотнения, приходящихся на одну спекательную тележку ($\kappa=736$ Н) ;

p_y - усилие гидроуплотнения ($p_y=9.8$ Н/см²).

Усилие на преодоление сопротивления движения спекательных тележек от гидроуплотнения на участке ДС определяется по выражению

$$A_6 = p'' \cdot n_4 \cdot \mu_1 = 4856 \cdot 52 \cdot 0.15 = 37876 \text{ Н},$$

где

μ_1 - коэффициент трения скольжения стали по чугуну при незначительной смазке поверхности скольжения ($\mu_1=0.15$) ;

Суммарное усилие, необходимое для продвижения спекательной тележки по верхнему горизонтальному пути, определяется по выражению

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 = 1253 + 2000 + 2434 + 81260 + 1947 + 37876 = 126770 \text{ Н}.$$

Крутящий момент на приводной звездочке, для продвижения паллет по горизонтальному пути, определяется по выражению

$$M_1 = A \cdot R_{НО} = 126770 \cdot 2935 \cdot 10^{-3} = 372.1 \text{ кНм}.$$

Теперь определяем все усилия на подъем тележек на участке АБ, то есть на приводной звездочке. Этот момент определяется по выражению

$$M_2 = G \cdot R_{ПЛ} \cdot \sum_{1}^n \sin[\pi / n \cdot (b - 1) + \alpha],$$

где

G - вес порожней тележки ($G=Q_T$) ;

$R_{ПЛ}$ - радиус линии подъема тележки—это расстояние от оси звездочки до центра тяжести порожней тележки, этот радиус определяется по формуле:

$$R_{ПЛ}=R_{ОР} + h_{ЦП}=2.88 + 0.27=3.15 \text{ м},$$

где

$R_{ОР}$ - радиус оси роликов тележки, определяется по выражению

$$R_{ОР}=R_{НО} \cdot \cos 10^\circ 20' = 2.935 \cdot 0.984 = 2.88 \text{ м},$$

где

$R_{НО}$ - радиус приводной звездочки ($R_{НО}=2.935 \text{ м}$);

$h_{ЦП}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней тележки ($h_{ЦП}=0.27 \text{ м}$);

n - количество тележек на звездочке ($n=6$) ;

b - номер тележки, который меняется от 1 до 6;

α - угол поворота звездочки относительно заранее принятого начального положения.

Из исследования максимума функции, максимальный момент, который необходим для определения мощности привода будет при $\alpha=0$, при начальном угле равном $\pi/2 \cdot n$ имеем следующее выражение

$$M_2 = G_T \cdot R_{ПЛ} \cdot \sum_{b=1}^n \sin\left(\frac{\pi}{n} \cdot (b - 0.5)\right) =$$

$$\begin{aligned}
&= 68.8662 \cdot 3.15 \cdot [\sin(\pi/6 \cdot 0.5) + \sin(\pi/6 \cdot 1.5) + \sin(\pi/6 \cdot 2.5) + \\
&\sin(\pi/6 \cdot 3.5) + \sin(\pi/6 \cdot 4.5) + \sin(\pi/6 \cdot 5.5)] = \\
&= 217 \cdot (\sin 15 + \sin 45 + \sin 75 + \sin 75 + \sin 45 + \sin 15) = \\
&= 838.6 \text{ кНм}.
\end{aligned}$$

На рисунке 3. представлены следующие силы, действующие на тележку, находящуюся на нижней ветви агломашины.

- 1) Q_T - вес спекательной тележки ;
- 2) N - сила тяжести, действующая на пути направляющих, она определяется по формуле:

$$N = Q \cdot \cos 1^\circ 5' 15'' = 68866.2 \cdot 0.9998 = 68853.8 \text{ Н}$$

T - движущая сила, действующая на одну тележку, определяется по выражению

$$T = Q \cdot \sin 1^\circ 5' 13'' = 68866.2 \cdot 0.0189 = 1306 \text{ Н}.$$

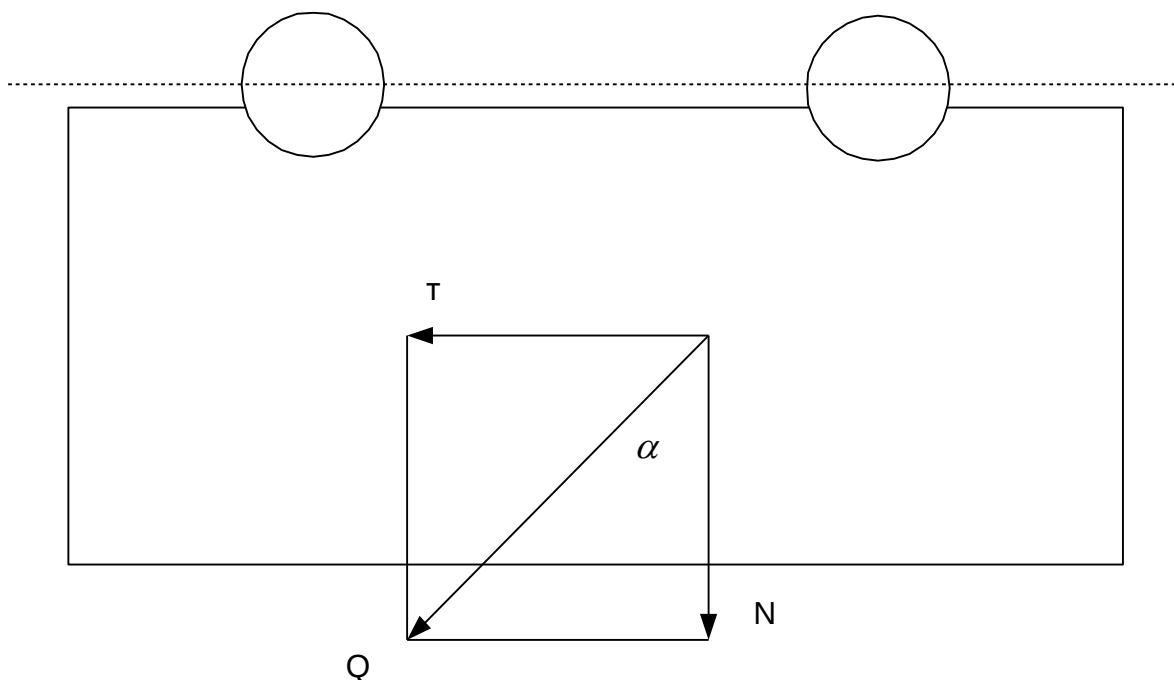


Рисунок 3. Распределение сил, действующих на тележку агломашины.

Сила сопротивления движению одной спекательной тележки определяется по выражению

$$T_1 = \frac{N \cdot \mu \cdot d + 2 \cdot f}{D} \cdot \beta = \frac{68853.8 \cdot 0.01 \cdot 11 + 2 \cdot 0.05}{30} \cdot 1.3 = 626 \text{ Н.}$$

Скатываясь по наклонному пути спекательные тележки создают силу давления на зубья звездочек, способствующую приводному моменту, эта сила определяется по выражению

$$P_{\text{изб}} = (T - T_1) \cdot n_8 = (1306 - 626) \cdot 61 = 41480 \text{ Н.}$$

Теперь определим суммарный крутящий момент на приводной звездочке без учета влияния изменения момента на разгрузочной звездочке по выражению

$$M_{1\Sigma} = M_1 + M_2 - M_3 ,$$

где

M_3 - крутящий момент от избыточной силы давления на приводной звездочке, который определяется по выражению

$$M_3 = P_{\text{изб}} \cdot R_{\text{но}} = 41.48 \cdot 2.935 = 121.7 \text{ кНм}$$

$$M_{1\Sigma} = 372.1 + 838.6 - 121.7 = 1089 \text{ кНм.}$$

Максимальный крутящий момент на разгрузочной части определяется по выражению

$$M_{\text{MAX}} = G_T \cdot R_{\text{ПЛ } 1,2} \cdot \sum_1^n \sin \left[\frac{\pi}{n} \cdot (b - 0.5) \right] \quad (2.1)$$

Момент на разгрузочной звездочке равен сумме моментов, определяется по выражению

$$M_p = M_{\text{MAX } 1} + M_{\text{MAX } 2}, \quad (2.2)$$

где

$M_{\text{MAX } 1}$ - момент, создаваемый груженными тележками, которые находятся на верхней ветви разгрузочной звездочки ;

$M_{\text{MAX } 2}$ - момент, создаваемый порожними тележками, находящимися на нижней ветви разгрузочной звездочки после сброса агломерата.

Определим расстояние от центра звездочки до центра тяжести порожней и груженной тележки, соответственно по выражениям

$$R_{\text{пл1}} = R'_{\text{ор}} + k_{\text{цт1}} = 1.4 + 0.44 = 1.84 \text{ м};$$

$$R_{\text{пл2}} = R'_{\text{ор}} + k_{\text{цт2}} = 1.4 + 0.27 = 1.67 \text{ м},$$

где

$R'_{\text{ор}}$ - радиус оси роликов, определяется по выражению

$$R'_{\text{ор}} = R'_{\text{но}} \cdot \cos 20^\circ 30' = 1.5 \cdot 0.9333 = 1.4 \text{ м}$$

$k_{\text{цт}}$ - расстояние до центра тяжести тележки от оси роликов, это расстояние разное для порожней и для груженной тележки;

$k_{\text{цт1}}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести груженной тележки ($k_{\text{цт1}} = 0.44 \text{ м}$) ;

$k_{\text{цт2}}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней тележки ($k_{\text{цт2}} = 0.27 \text{ м}$).

Подставляя полученные данные, в (2.1), получим значения двух максимальных моментов при условии, что значения для каждого G различны:

$$M_{\text{max1}} = 106,978805 \cdot 1,84 [\sin \frac{\pi}{3} (1 - 0,5) + \sin \frac{\pi}{3} (2 - 0,5)] = 295,3 \text{ кНм}$$

$$M_{\text{max2}} = 68,8662 \cdot 1,67 [\sin \frac{\pi}{3} (1 - 0,5) + \sin \frac{\pi}{3} (2 - 0,5)] = 51,5 \text{ кНм}$$

Подставляя полученные значения моментов, в (2.2), находим значение момента на разгрузочной звездочке:

$$M_p = 295,3 + 57,5 = 352,8 \text{ кНм.}$$

Наряду с максимальным крутящим моментом на звездочке создается и минимальный крутящий момент, который создается так же от двух тележек, он рассчитывается аналогичным образом:

$$M_{\min 1} = 106,978805 \cdot 1,84 \cdot \sin 60^\circ = 170,5 \text{ кНм;}$$

$$M_{\min 2} = 68,8662 \cdot 1,67 \cdot \sin 60^\circ = 99,6 \text{ кНм;}$$

$$M_{p\min} = 170,5 + 99,6 = 270,1 \text{ кНм.}$$

При условии создания тормозной машиной постоянного момента, равному максимальному крутящему моменту на приводную звездочку, определяется тормозной избыточный момент, который равен:

$$M_{\text{изб}} = M_p - M_{p\min} = 352,8 - 270,1 = 82,7 \text{ кНм.}$$

Избыточный момент создает на приводной звездочке дополнительное усилие, которое определяется по выражению

$$F_{\text{изб}} = M_{\text{изб}} / R'_{\text{но}} = 82,7 / 1,5 = 54,9 \text{ кН.}$$

Дополнительный момент на приводной звездочке, создаваемый дополнительным усилием равен:

$$M_4 = F_{\text{изб}} \cdot R_{\text{но}} = 54,9 \cdot 2,935 = 161 \text{ кНм.}$$

Суммарный момент действующий на звездочке головного привода, определяется по выражению

$$M_{2\Sigma} = M_{1\Sigma} + M_4 = 1089 + 161 = 1250 \text{ кНм.}$$

Требуемая мощность привода головной части, определяется по выражению

$$P_{\text{тр}} = \frac{\dot{I}_{2\Sigma} \cdot n_d}{9550 \cdot \eta} \cdot 1.3 = \frac{1250 \cdot 10^3 \cdot 0.372}{9550 \cdot 0.92} \cdot 1.3 = 69 \text{ кВт}$$

где

1.3- коэффициент, учитывающий увеличение мощности в динамическом режиме ;

η - общий коэффициент полезного действия ($\eta=0.92$) ;

n_B - скорость вращения звездочки, определяется по выражению

$$n_B = \frac{V_T}{\pi \cdot D_{\text{НО}}} = \frac{6.9}{3.14 \cdot 5.870} = 0.372 \text{ об/мин},$$

где

V_T - скорость движения спекательных тележек ($V_T=6.9$ м/мин).

Максимальная скорость электропривода

$$n_{\text{элмакс}} = n_B \cdot i_{\text{ред}} = 0.372 \cdot 1448 = 538,13 \text{ об/мин}$$

или

$$\omega_{\text{элмакс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{элмакс}}}{30} = 56,35 \text{ рад/с}$$

Момент инерции механизма приведенный к валу двигателя определяется по выражению

$$J_{\text{МЕХ ПР}} = m \cdot (V_T / \omega)^2 = 1417650 \cdot (0.125 / 56.52)^2 = 6.8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.,$$

где

m – масса механизма (спекательных тележек);

ω – скорость вращения двигателя;

V_T – скорость движения спекательных тележек.

В качестве приводного электродвигателя выбираем асинхронный электродвигатель фирмы SIEMENS серии 1LG4313-8AB. Это серия крановых двигателей предназначена для широкого регулирования скорости с использованием преобразователей частоты. Технические данные двигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные двигателя 1LG4313-8AB

P_H , кВт	n_0 , об/мин	$U_{лн}$, В	При номинальной нагрузке			
			n_H , об/мин	$I_{лн}$, А	η_H , %	$\cos \varphi_H$
75	750	400	738	140	93.3	0.83

Продолжение таблицы 1.

$M_{двн}$, Н·м	$\frac{M_{п}}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	$I_{п}/I_H$	J , кг·м ²
971	2.2	2.6	5.7	2.48

Определение дополнительных параметров двигателя

Синхронная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 750}{30} = 78.53 \text{ рад/с.}$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 738}{30} = 77.28 \text{ рад/с.}$$

Номинальное скольжение двигателя

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{750 - 738}{750} = 0,016.$$

Номинальное фазное напряжение и фазный ток обмотки статора

$$U_{1\phi n} = \frac{U_{1лн}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В},$$

$$I_{1\phi n} = I_{1лн} = 140 \text{ А}$$

– при схеме соединения обмоток Y.

Максимальный пусковой ток двигателя

$$I_{1\text{макс}} = 5.7 \cdot I_{1\phi n} = 5.7 \cdot 140 = 798 \text{ А}.$$

Максимальный (критический) момент на валу двигателя на естественной характеристике

$$M_k = 2.6 \cdot M_{\text{двн}} = 2.6 \cdot 971 = 2524,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент на валу двигателя

$$M_{\text{пуск}} = 2.2 \cdot M_{\text{двн}} = 2.2 \cdot 971 = 2136,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя

Производитель выбранных приводных двигателей серии 1LG4313-8AB не указывает параметры схемы замещения, поэтому предварительно необходимо произвести расчет данных параметров.

Расчёт параметров схемы замещения в номинальном режиме

Расчёт параметров ведем для Т-образной схемы замещения электродвигателя. Схема замещения приведена на рисунке 4.

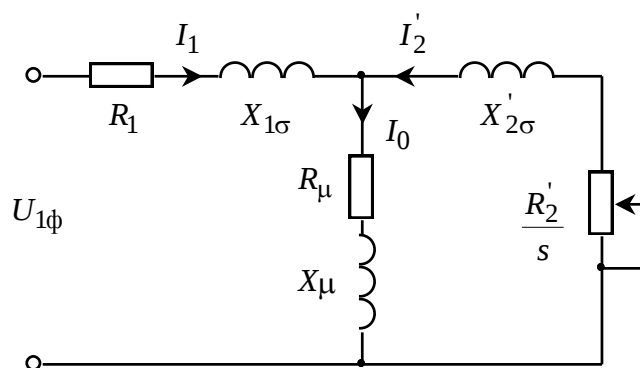


Рисунок 4 – Т – образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

$$R'_{2H} = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_H \cdot c_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,016)}{2 \cdot 2,6 \cdot 75000 \cdot 1,021^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,088} \right)} = 0,028 \text{ Ом},$$

где

$m_K = 2,6$ – кратность максимального момента;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{35,145}{2 \cdot 5,7 \cdot 146,743} = 1,021$$

– коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$;

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1p^*}^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \cdot I_{1H} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_H)}{1 - p^* \cdot s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{112,075^2 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,016)}{1 - 0,75 \cdot 0,019} \cdot 146,743 \right]^2}{1 - \left[\frac{0,75 \cdot (1 - 0,016)}{1 - 0,75 \cdot 0,016} \right]^2}} = 35,145 \text{ А}$$

– ток холостого хода;

$$I_{1p^*} = \frac{p^* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{p^*}} = \frac{0,75 \cdot 75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,83 \cdot 0,916} = 112,075 \text{ А}$$

– ток обмотки статора при частичной загрузке двигателя $p^* = 0,75$;

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_K + \sqrt{m_K^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_K - 1)} = 0,016 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,016 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,016 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,088$$

– критическое скольжение двигателя;

$\beta = 1$ – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора выбирается из диапазона $(0,6 \div 2,5)$.

Активное сопротивление обмотки статора в номинальном режиме работы

$$R_1 = R'_2 \cdot \beta \cdot c_1 = 0,028 \cdot 1 \cdot 1,021 = 0,029 \text{ Ом}.$$

Сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме работы

$$X_{\text{кн}} = R'_2 \cdot \gamma \cdot c_1 = 0,028 \cdot 11,377 \cdot 1,021 = 0,329 \text{ Ом},$$

где

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_{\text{к}}}\right)^2 - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,088}\right)^2 - 1} = 11,377$$

– коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведённого активного сопротивления ротора.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора в номинальном режиме работы

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,329 = 0,138 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,138}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 4,39 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Приведённое к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме работы

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{c_1} = 0,58 \cdot \frac{0,329}{1,021} = 0,187 \text{ Ом}.$$

Приведённая к обмотке статора индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния, в номинальном режиме работы

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,187}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 5,96 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205,717}{35,145} = 6,026 \text{ Ом},$$

где

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sin \varphi_{\text{н}} - I_{1\text{н}} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,83 - 146,74 \cdot 0,029)^2 + (220 \cdot 0,558 - 146,74 \cdot 0,138)^2} = 205,717 \text{ В} \end{aligned}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведённая потоком воздушного зазора, в номинальном режиме;

$$\sin \varphi_{\text{н}} = \sqrt{1 - (\cos \varphi_{\text{н}})^2} = \sqrt{1 - 0,83^2} = 0,558.$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{5,853}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 18,64 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя

Зная значения параметров схемы замещения и их зависимость от скольжения, можно с достаточной точностью рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристики двигателя.

Механическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости двигателя от электромагнитного момента на валу двигателя $\omega(M)$. Однако расчетные значения момента двигателя соответствуют электромагнитному моменту. Поэтому расчетные механические характеристики двигателя представляют собой зависимость скорости вращения от электромагнитного момента $\omega(M_{\text{эм}})$. Электромеханическая характеристика двигателя представляет собой зависимость скорости $I_1(\omega)$ или скольжения $I_1(s)$ от величины тока статора. Естественные характеристики строятся при частоте инвертора $f_{\text{и}} = f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$.

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'(s)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left[X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]};$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_1(\omega)$ с учетом эффекта вытеснения тока ротора и насыщения цепей потоков рассеяния рассчитывается по выражениям:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)};$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s),$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left[X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2}};$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma}(s) + X_{\mu})^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left[X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s) \right]^2}}.$$

Используя приложение MathCAD 14, рассчитываются и строятся естественные характеристики двигателя $\omega(M_{\text{эм}})$ и $I_1(\omega)$. В процессе расчета механической характеристики находятся расчетные значения критического скольжения s_K , электромагнитного номинального $M_{\text{эмH}} = M_{\text{эм}}(s_H)$, критического $M_{\text{эмK}}(s_K) = M_{\text{эмK}}$ моментов, соответствующие расчетной естественной механической характеристике двигателя. При расчете электромеханической характеристики находятся расчетные значения тока холостого хода I_0 , номинального $I_H = I_{1\phi H}$ тока двигателя.

Естественные расчетные механическая и электромеханическая характеристики двигателя приведены, соответственно, на рисунках 5 и 6.

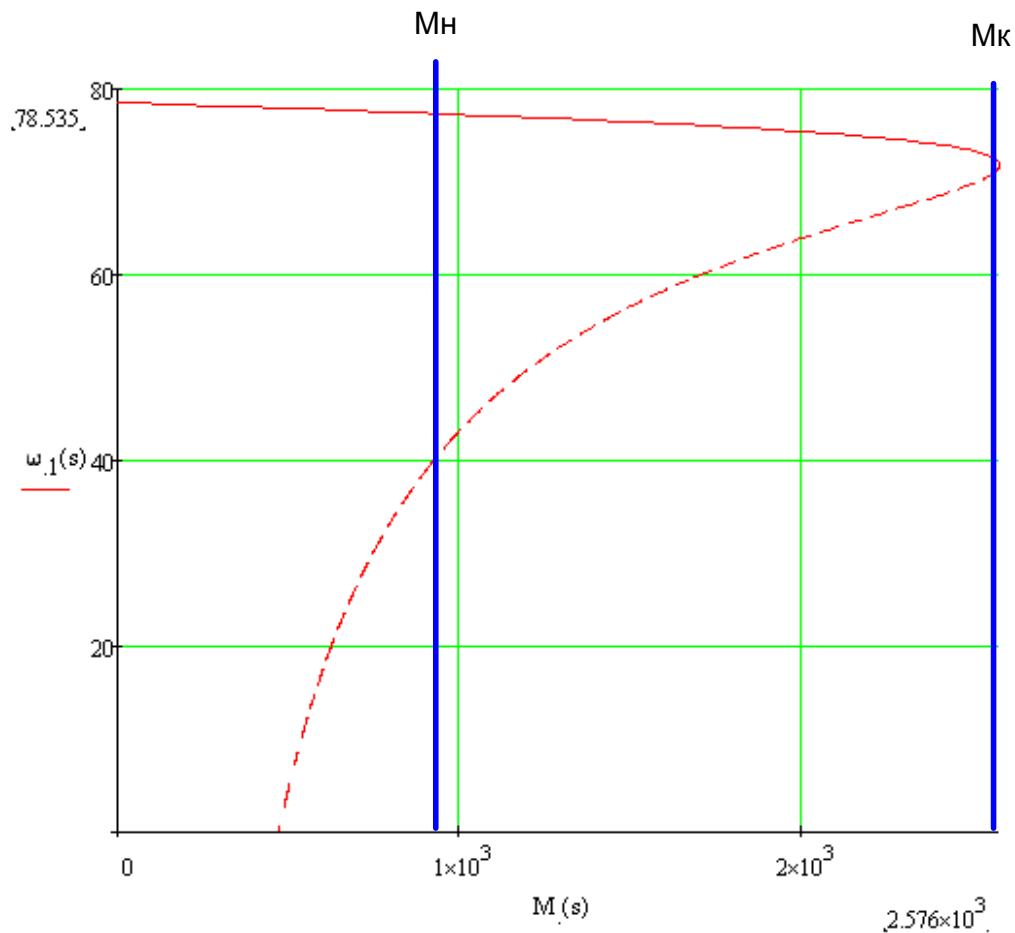


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика двигателя

По результатам расчета механической характеристики найдены значения электромагнитных моментов двигателя: номинального $M_{\text{эм н}} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$; критического $M_{\text{эм к}} = 2576 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при угловой скорости $\omega_k = 71,5 \text{ рад/с}$.

– кратность максимального (критического) момента

$$m_k = \frac{M_{\text{эм к}}}{M_{\text{эм н}}} = \frac{2576}{980,2} = 2,62;$$

– критическое скольжение

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{78.53 - 71.5}{78.53} = 0,089.$$

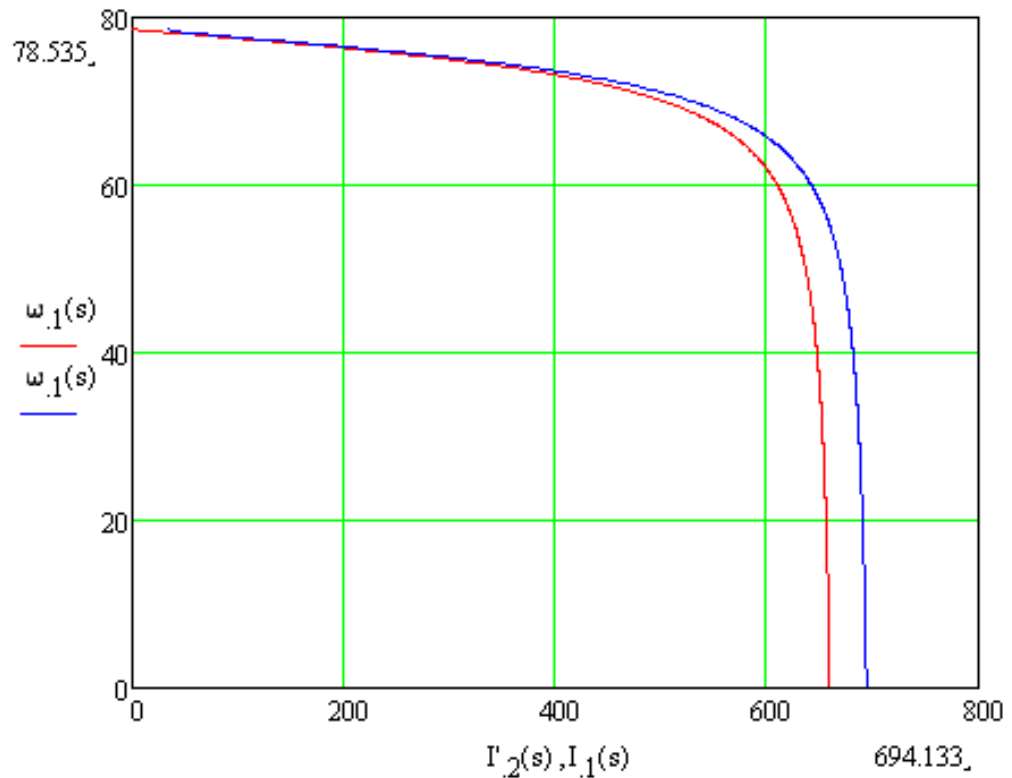


Рисунок 6 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя

По результатам расчета электромеханической характеристики найдены значения тока холостого хода $I_0 = 36,718 \text{ A}$, номинального тока $I_n = 132 \text{ A}$.

Параметры расчетных механической и электромеханической характеристик двигателя оказались близки к приведённым в таблице 1 справочным параметрам двигателя.

2.4 Определение области допустимой длительной работы двигателя

Асинхронный двигатель питается и управляется от преобразователя частоты. При регулировании скорости будет использоваться способ векторного управления, что определяет поддержание постоянного потокосцепления двигателя при регулировании скорости ниже номинальной. В соответствии с этим был выбран двигатель с независимой вентиляцией, что позволяет ему работать с нагрузками близкими к номинальным при низких скоростях работы электродвигателя.

Таким образом, перед выбором частотного преобразователя необходимо определить зону безопасной работы электродвигателя и задаться максимальными нагрузками.

В соответствии с техническими данными, предоставляемыми производителем, границы режима допустимой длительной работы двигателя при независимой вентиляции, можно представить в виде зависимостей:

– для тока двигателя

$$I_{\text{дв длит доп}}(\omega) = \begin{cases} I_{\text{дв н}} = 140 \text{ А, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0.9 \cdot I_{\text{дв н}} = 0.9 \cdot 140 = 126 \text{ А, при } \omega = 0; \end{cases}$$

– для момента (электромагнитного) двигателя

$$M_{\text{эм длит доп}}(\omega) = \begin{cases} M_{\text{эм н}} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega \geq 0.5 \cdot \omega_{\text{н}} \\ 0.9 \cdot M_{\text{эм н}} = 0.9 \cdot 980,2 = 882,2 \text{ Н} \cdot \text{м, при } \omega = 0. \end{cases}$$

В соответствии с приведенными зависимостями на механическую и электромеханическую характеристики наносим границы зон $M_{\text{эм длит доп}}(\omega)$ и $I_{\text{дв длит доп}}(\omega)$ длительной допустимой работы двигателя. Графики зависимостей приведены на рисунках 7 и 8.

Из приведённых на рисунках характеристик следует, что длительно допустимый момент нагрузки, с которым может работать двигатель на минимальной скорости $\omega_{\text{дв мин}} = 5,635 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (диапазон регулирования скорости $1 \div 10$), составляет $M_{\text{эм длит доп}} = 908 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при длительно допустимом токе статора $I_{\text{дв длит доп}} = 129 \text{ А}$.

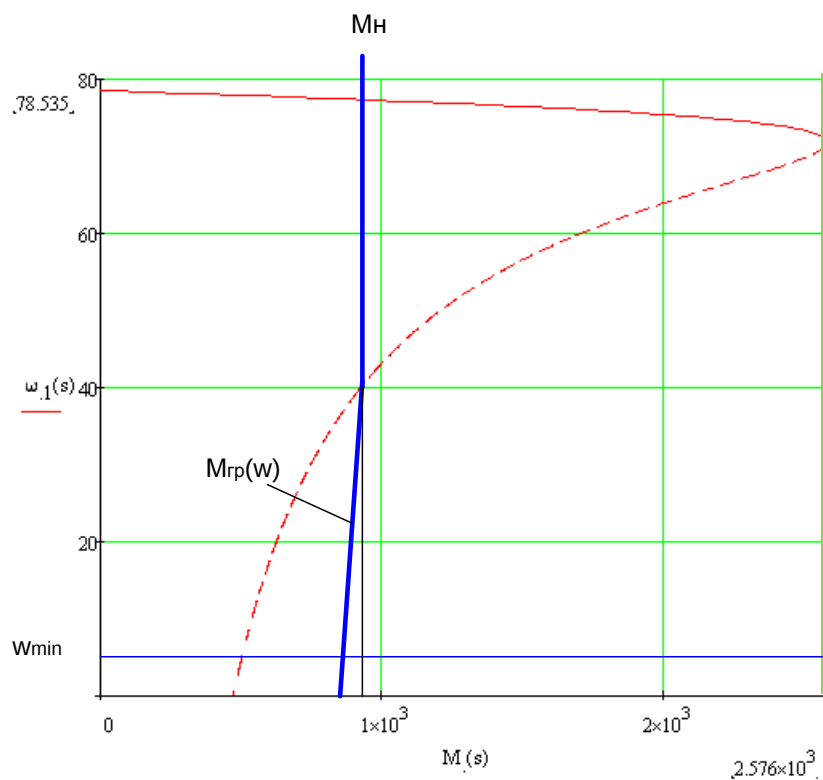


Рисунок 7 – Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $M_{\text{ЭМ длит доп}}(\omega)$ двигателя

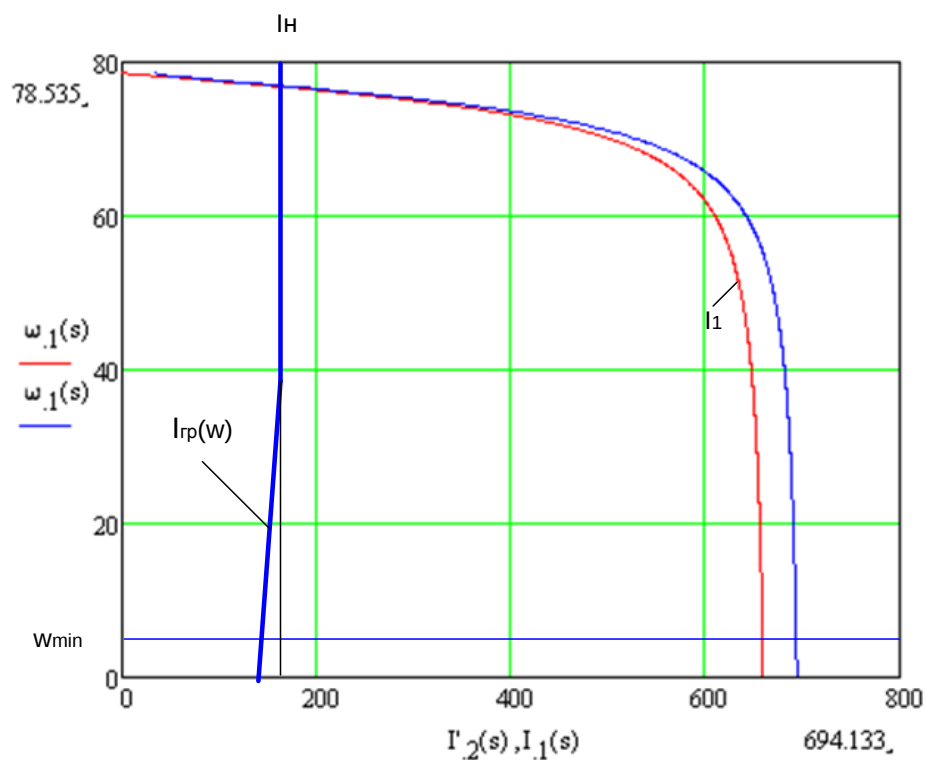


Рисунок 8 – Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $I_{\text{ДВ длит доп}}(\omega)$ двигателя

2.5 Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя

2.5.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя

Статический момент, приложенный к валу двигателя

$$M_c = 863 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Требуемое максимальное значение динамического момента двигателя

$$M_{\text{дин}} = J_{\text{э}} \cdot \varepsilon = 9,28 \cdot 45,08 = 418 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где

$$J_{\text{э}} = 9,28 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

– эквивалентный момент инерции привода;

$$\varepsilon_{\text{макс}} = \frac{a \cdot \omega_{\text{эп макс}}}{V_{\text{макс}}} = \frac{0,1 \cdot 56,35}{0,125} = 45,08 \text{ рад} / \text{с}^2$$

– угловое ускорение привода;

$$V_{\text{макс}} = 0,125 \text{ м} / \text{с}$$

– заданная максимальная рабочая скорость движения палет;

$$a = 0,1 \text{ м} / \text{с}^2$$

– принятое значение ускорения привода.

Максимальный требуемый момент электропривода в пусковом режиме.

$$M_{\text{эп макс}} = M_c + M_{\text{дин}} = 863 + 418 = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Найденные значения моментов нанесены на плоскость механических характеристик электродвигателя (рисунок 9).

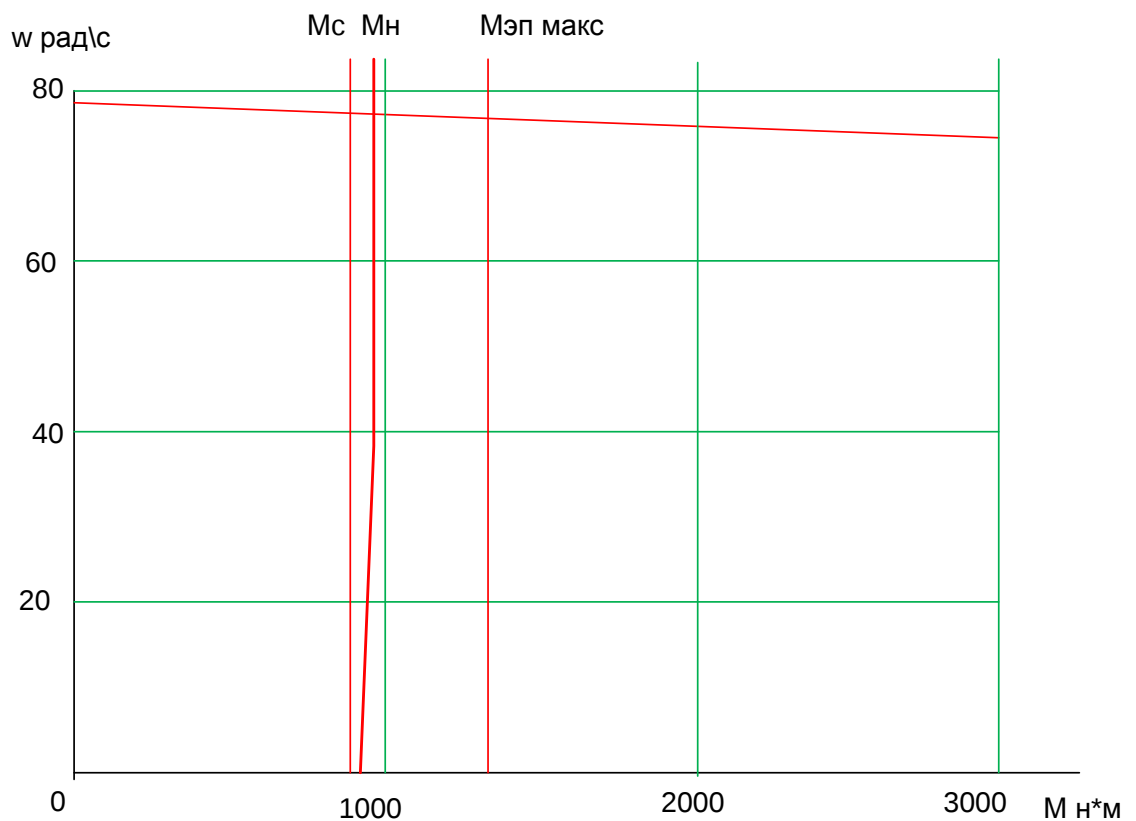


Рисунок 9 – Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

2.5.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

Используя полученные значения моментов, определим соответствующие им значения токов двигателя. Для этого, с помощью процедуры Given в приложении MathCAD, решая уравнение механической характеристики двигателя $M(s)$ при заданном значении момента, определяем соответствующее ему скольжение s . Подставляя полученное значение скольжения в уравнение электромеханической характеристики двигателя $I(s)$, определяем значение тока обмотки статора, соответствующее исходному значению момента.

Например, решая уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'(s)}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu H}} \right)^2 \right]} = M_c ,$$

при значении $M_c = 863 \text{ Н} \cdot \text{м}$ находим значение скольжения $s = 0,014$ и по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2(s) + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0(s) \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} ,$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'(s)}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2}} ;$$

$$I_0(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma}(s) + X_{\mu})^2}} ;$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'(s)}{s} \right)^2 + [X_{1\sigma}(s) + X_{2\sigma}'(s)]^2}}$$

значение тока статора $I_{c \text{ макс}} = 120 \text{ А}$.

Поступая аналогично, находим:

– для момента $M_{\text{эп макс}} = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – $I_{\text{эп макс}} = 172,8 \text{ А}$;

Найденные значения моментов нанесены на плоскость электромеханических характеристик электродвигателя (рисунок 10).

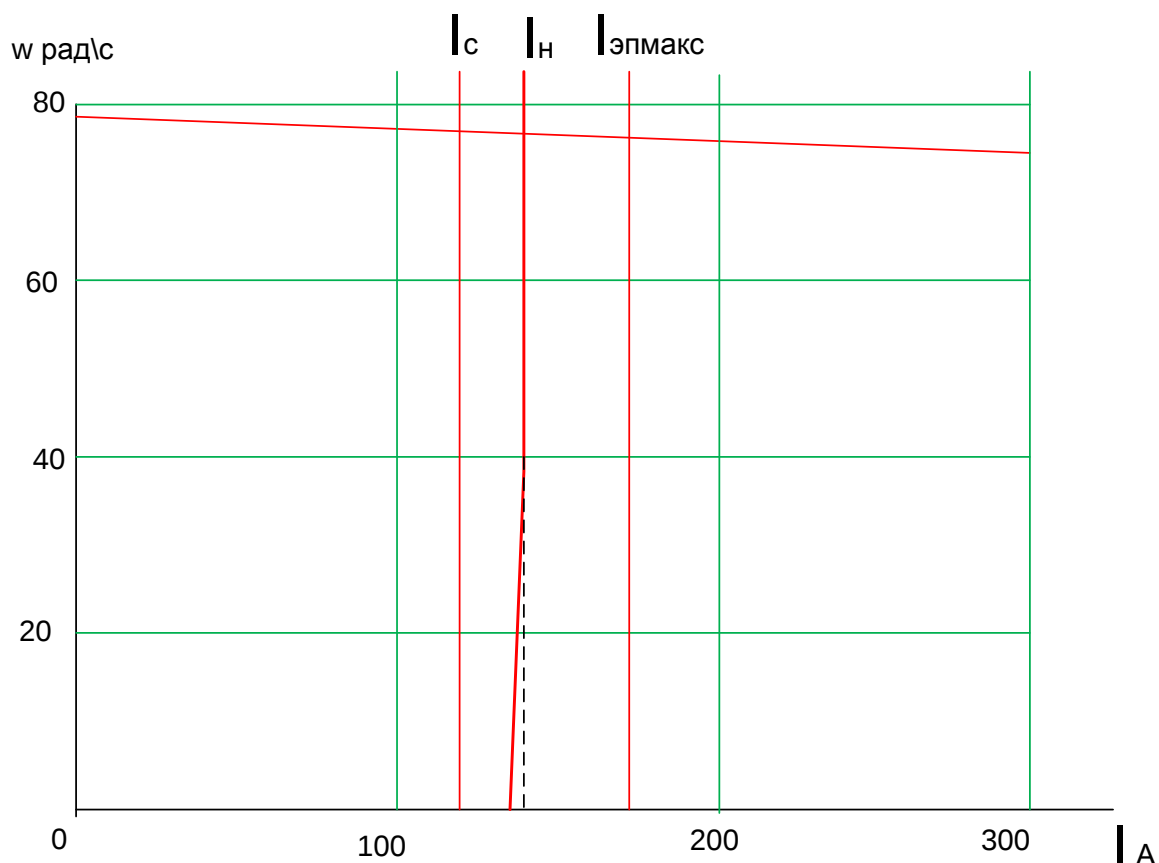


Рисунок 10 – Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

2.6 Выбор преобразователя частоты

Тип преобразователя частоты в общем случае выбирается из следующих условий: длительный ток нагрузки, ток кратковременной перегрузки, напряжение питающей сети и двигателя, диапазон регулирования выходной частоты, способы и законы частотного управления, набор комплектующих устройств (дополнительных блоков, расширяющих возможности привода), условия эксплуатации.

Сложность выбора преобразователя частоты для совместной работы с электродвигателем заключается в том, что номинальные режимы работы электродвигателей ($S1 - S8$), основанные на постоянной времени нагрева двигателя (десятками минут), не приемлемы для преобразователей, постоянная времени нагрева которых определяется десятками секунд.

Преобразователи частоты спроектированы для продолжительной работы с номинальным током инвертора $I_{ин}$. Если номинальный ток протекает длительное время (более 60 с), то рабочая температура блока достигает максимально допустимого значения. Выше этого значения срабатывает защита ($I^2 \cdot t$), что не позволяет перегружать преобразователь по току даже кратковременно (рисунок 11).

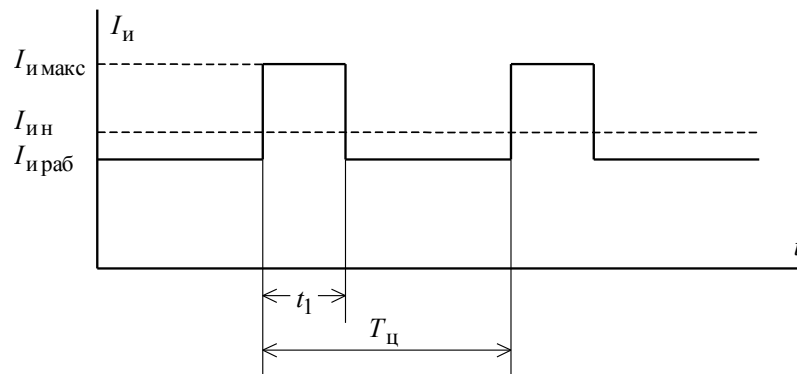


Рисунок 11

По этой причине преобразователи частоты в системах электропривода, имеющих кратковременные перегрузки двигателя, связанные с периодическими изменениями скорости или технологическими изменениями момента нагрузки, должны работать с эквивалентным за цикл работы током, не превышающим номинальный ток инвертора

$$I_{ин} \geq I_{иэ}.$$

Предварительно преобразователь частоты выбираем исходя из следующих условий.

Питающая сеть: 3-х фазная 380В, 50Гц;

Параметры нагрузки:

- 3-х фазная;
- максимальное выходное линейное напряжение 380В;
- максимальная частота

$$f_{\text{макс}} > 50 \cdot \frac{\omega_{\text{эп макс}}}{\omega_0 \cdot (1 - s_k)}, \text{ Гц.}$$

– номинальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{и н}} > I_{\text{с макс}} = 120 \text{ А};$$

– максимальный ток инвертора должен удовлетворять условию

$$I_{\text{и макс}} > I_{\text{эп макс}} = 172,8 \text{ А}.$$

Условия выбора преобразователя по току должны быть выполнены с учетом фактических значений высоты над уровнем моря и температуры окружающей среды места установки преобразователя. Длительность перегрузки двигателя не должна превышать значение допустимого времени протекания максимального тока инвертора, а длительность фактического рабочего цикла электропривода не должна быть меньше времени предельного цикла инвертора;

Для рассматриваемого привода подъемного механизма спуск груза осуществляется в режиме рекуперативного торможения, что для возврата энергии в сеть требует установки дополнительного блока рекуперации. Исходя из перечисленных условий выбираем преобразователь частоты типа MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS шкафного исполнения.

Функциональные особенности

- Векторное регулирование без датчика скорости
- Регулирование потока (FCC) для улучшения динамических характеристик и
- повышения качества регулирования электродвигателя
- Мгновенное ограничение тока (FCL) для работы без отключения двигателя
- Встроенное динамическое торможение постоянным током

- Комбинированное торможение для улучшения возможностей торможения

- Времена ускорения и торможения с программируемым сглаживанием
- Использование замкнутого PID регулятора с автоподстройкой
- Встроенный прерыватель тормоза
- Выбираемая интенсивность разгона и остановки
- 4-х точечная интенсивность сглаживания
- Многоточечная V/f характеристика, задаваемая пользователем
- Установленные параметры могут быть перенесены на другие устройства

аналогичных процессов

Особенности защиты

- Защита от повышенного и пониженного напряжений
- Защита преобразователя от перегрева
- Защита от замыкания на землю
- Защита от короткого замыкания
- Защита от перегрева двигателя по потерям $I^2 t$
- Защита двигателя по термисторам РТС/КТУ

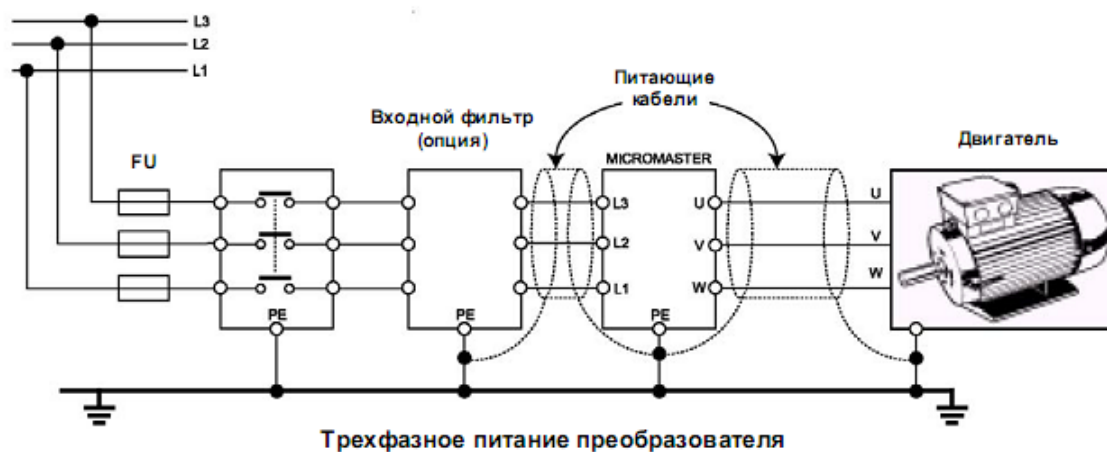


Рисунок 12 Подключение питающей сети и двигателя

Технические данные преобразователя частоты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные преобразователя частоты MICROMASTER 440

$P_{\text{пр н}}, \text{ кВт}$	$U_{\text{пр н}}, \text{ В}$	$I_{\text{пр н}}, \text{ А}$	$I_{\text{пр макс}}, \text{ А}$
75	460	178	267

Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 13.

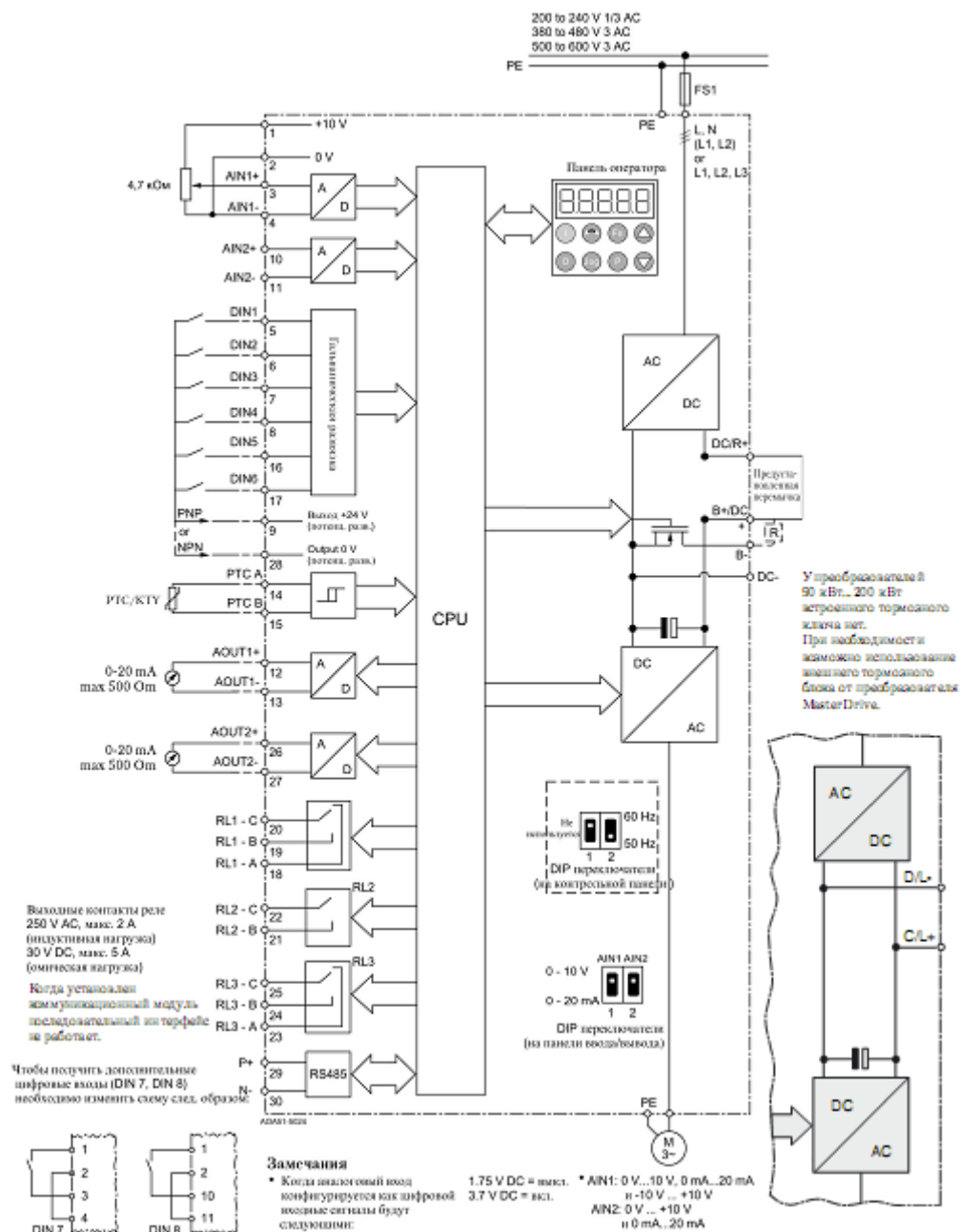


Рисунок 13- Функциональная схема преобразователя.

2.7 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

Структурная схема силового канала системы ПЧ – АД во вращающейся двухфазной системе координат dq , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, и компенсацией внутренних обратных связей представлена на рисунке 14.

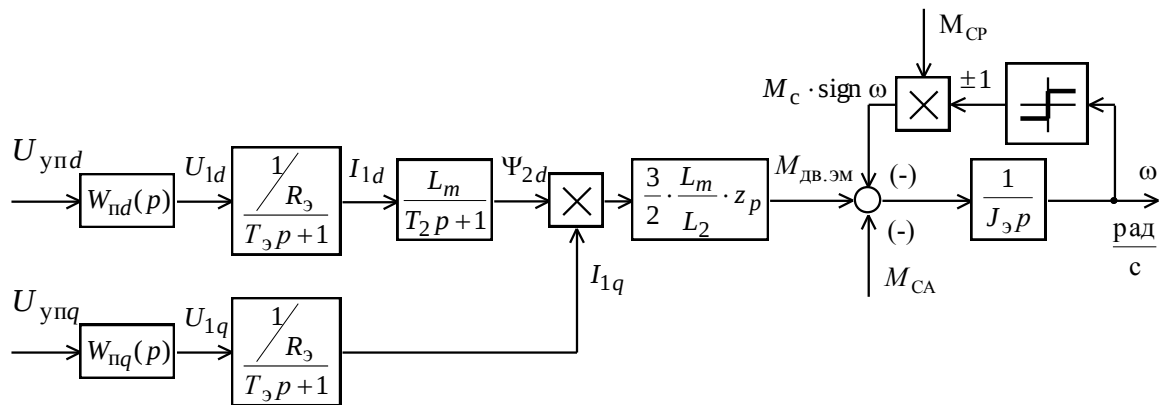


Рисунок 14 – Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

Управляющими сигналами на входе преобразователя структурной схемы силового канала являются напряжения постоянного тока. Выходные напряжения преобразователя представляют собой составляющие напряжения статора U_{1d} и U_{1q} в ортогональной системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора Ψ_{2d} .

В системе ПЧ – АД предполагается применить частотное векторное управление с обратной связью по скорости (с датчиком или без датчика). Характерной особенностью частотно-регулируемых электроприводов

переменного тока является относительно большая инерционность в цепях обратных связей контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости. Структурная схема силового канала асинхронного частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 15.

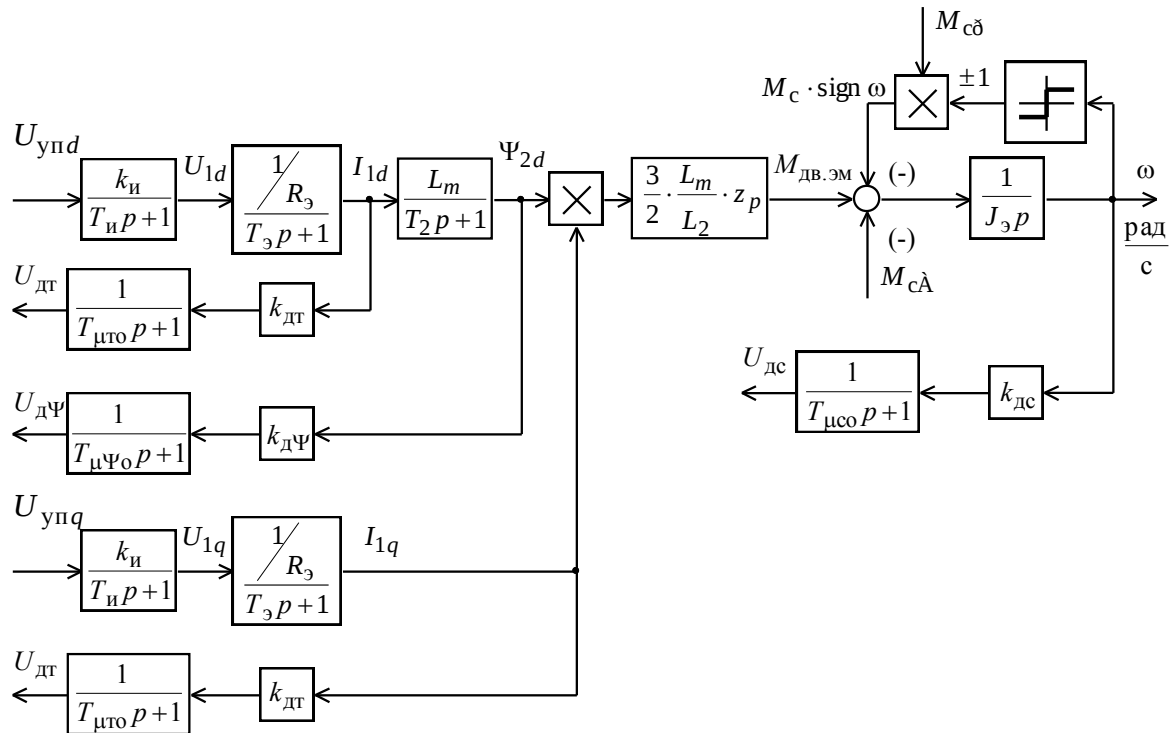


Рисунок 15 – Структурная схема силового канала электропривода подъёмника

2.7.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчёт параметров преобразователя

Максимальный коэффициент усиления преобразователя

$$k_{и} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1фн}}{U_{уп макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,11,$$

где $U_{уп макс} = 10$ В – принятое максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_{\text{и}} = \frac{0,5}{f_{\text{шим}}} = \frac{0,5}{6 \cdot 10^3} = 0,0833 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где $f_{\text{шим}} = 6 \text{ кГц}$ – несущая частота инвертора.

Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмотки статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,439 \cdot 10^{-3} + 18,64 \cdot 10^{-3} = 19,08 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,596 \cdot 10^{-3} + 18,64 \cdot 10^{-3} = 19,24 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_{\text{с}} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,029 + 0,028 \cdot \frac{(18,64 \cdot 10^{-3})^2}{(19,24 \cdot 10^{-3})^2} = 0,0553 \text{ Ом}.$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_{\text{с}} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\text{с}}} = \frac{0,0535 \cdot 19,08 \cdot 10^{-3}}{0,0553} = 18,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

где

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{(18,64 \cdot 10^{-3})^2}{19,08 \cdot 10^{-3} \cdot 19,24 \cdot 10^{-3}} = 0,0535$$

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{19,24 \cdot 10^{-3}}{0,028} = 0,6871 \text{ с}.$$

2.8 Структурная схема линеаризованной САУ электропривода

Регулирование скорости электропривода агломашины производится в первой зоне регулирования скорости приводных двигателей с номинальным значением потокосцеплений. При частотном векторном управлении асинхронным электродвигателем потокосцепление двигателя может поддерживаться постоянным равным по значению номинальному. Это позволяет обеспечить постоянную жесткость рабочего участка механических характеристик двигателя и сохранить его перегрузочную способность.

Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 16.

На схеме рисунка 16 обозначены:

$W(p)_{pT}$, $W(p)_{p\Psi}$, $W(p)_{pC}$ - соответственно передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости;

k_T - коэффициент обратной связи по току;

k_Ψ - коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

k_C - коэффициент обратной связи по скорости;

$T_{\mu TO}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по току;

$T_{\mu \Psi O}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению;

$T_{\mu CO}$ - малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости.

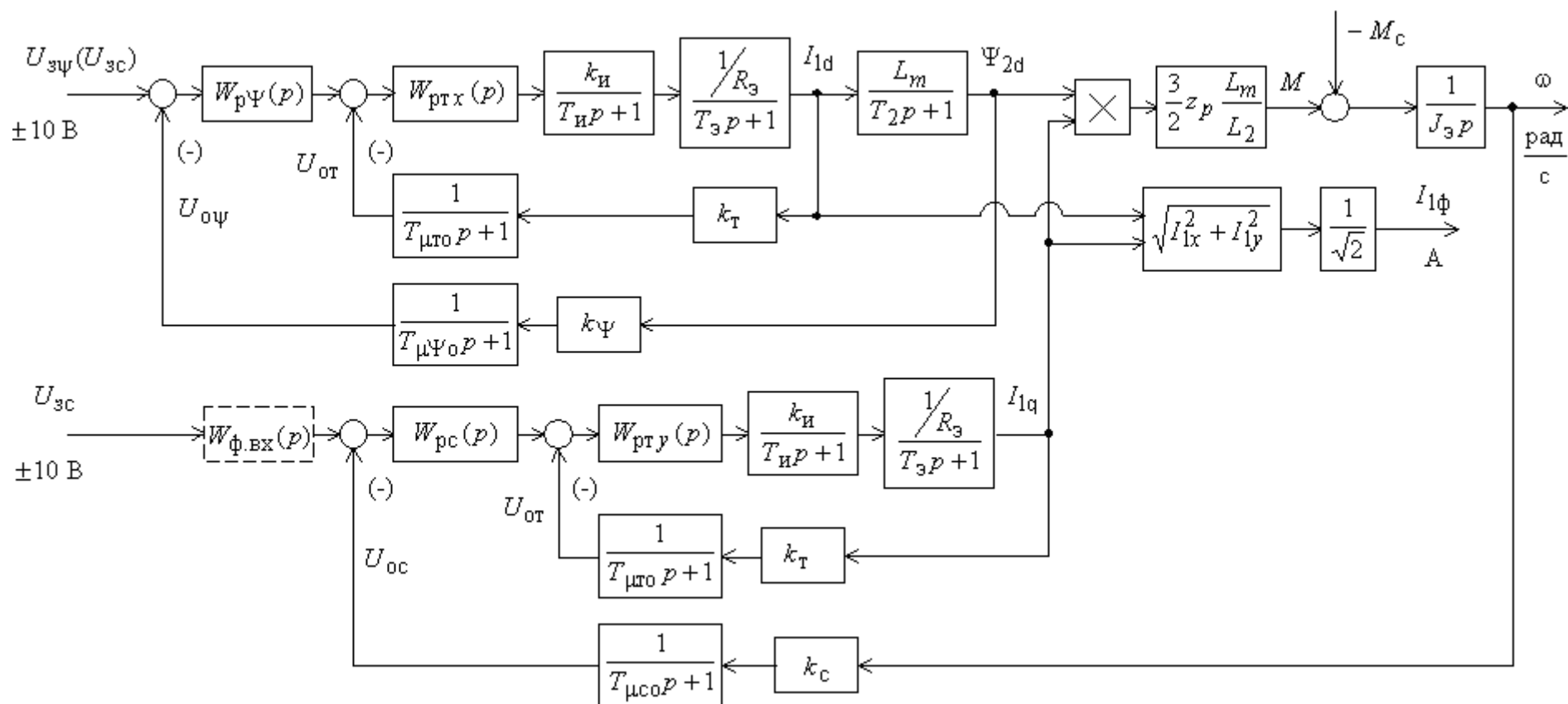


Рисунок 16 – Структурная схема линейризованной САУ электропривода

Малая постоянная времени цепи обратной связи по току.

$$T_{\mu \text{ то}} = \frac{T_{\text{ст}}}{3} = \frac{0,00133}{3} = 0,000444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{ст}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_{\text{т}} = \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 8 = 0,00133 \text{ с}$$

– период сглаживания результатов измерения тока;

$n_{\text{т}} = 8$ – количество периодов модуляции для измерения тока.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu \Psi \text{ о}} = \frac{T_{\text{с}\Psi}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{с}\Psi} = 16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_{\Psi} = 16 \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 5 = 0,0133 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$n_{\Psi} = 5$ – количество периодов модуляции для измерения
потокосцепления.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по скорости

$$T_{\mu \text{ со}} = \frac{T_{\text{сс}}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

где

$$T_{\text{сс}} = 16 \cdot \frac{1}{f_{\text{шим}}} \cdot n_{\text{с}} = 16 \cdot \frac{1}{6 \cdot 10^3} \cdot 5 = 0,0133 \text{ с}$$

– период расчёта потокосцепления;

$$n_c = 5$$

– количество периодов модуляции для измерения скорости.

Обеспечим адекватность параметров модели, справочных и полученных расчетных параметров электродвигателя. Параметры двигателя, соответствующие справочным данным: $I_{двн} = I_{1\phi н} = 140 \text{ А}$; $M_{двн} = 971 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Параметры двигателя расчетные: $I_0 = 35,145 \text{ А}$; $I_n = I_1(s_n) = 132 \text{ А}$; $M_{эмн} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$. За основные параметры электродвигателя примем значения номинального тока $I_{1\phi н} = 140 \text{ А}$ и номинального электромагнитного момента $M_{эмн} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Решив совместно систему уравнений

$$\Psi_{2н} = \frac{M_{эмн}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\phi н}^2 - I_0^2}} = \frac{980,2}{\frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,01864}{0,01924} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{140^2 - I_0^2}},$$

$$\Psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 0,01864 \cdot I_0$$

относительно тока I_0 , определим значение тока намагничивания $I_0^* = 33,34 \text{ А}$, соответствующее параметрам структурной схемы. Значение последнего существенно не отличаться от значения расчетного тока намагничивания I_0 . Рассчитываем параметры структурной схемы, необходимые для оптимизации контуров регулирования:

– значение номинального потокосцепления двигателя, Вб

$$\Psi_{2дн}^* = \Psi_{2н}^* = \sqrt{2} \cdot L_m \cdot I_0^* = \sqrt{2} \cdot 0,01864 \cdot 33,34 = 0,879 \text{ Вб};$$

– значение номинального тока $I_{1д}$, А

$$I_{1дн}^* = \sqrt{2} \cdot I_0^* = \sqrt{2} \cdot 33,34 = 47,15 \text{ А}$$

– значение номинального тока I_{1q} , А

$$I_{1qн}^* = \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\phi н}^2 - (I_0^*)^2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{140^2 - 33,34^2} = 192,3 \text{ А};$$

– максимально допустимое значение тока I_{1q}

$$I_{1q\text{ макс}}^* = \frac{M_{\text{эп макс}}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \left(\frac{L_m}{L_2}\right) \cdot \Psi_{2н}^*} = \frac{1281}{\frac{3}{2} \cdot 4 \cdot \frac{0,01864}{0,01924} \cdot 0,879} = 250,7 \text{ А},$$

где $M_{\text{эп макс}} = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальный момент электропривода.

2.9 Оптимизация контуров регулирования САР электропривода

Основным воздействием на электропривод агломашины является управляющее воздействие. Оптимизация контуров регулирования электропривода по управляющему воздействию выполнена по методике, изложенной в учебном пособии [3].

Оптимизация контура тока

Структурная схема контура тока с инерционной обратной связью и полной компенсацией внутренней отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя приведена на рисунке 17. Контуров токов I_{1d} и I_{1q} идентичные.

Контур тока характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_э = 0.01405 \text{ с}$ и двумя малыми постоянными времени в прямом канале $T_{\mu\pi\pi} = T_{\text{и}} = 0.0000833 \text{ с}$ и в цепи обратной связи $T_{\mu\text{то}} = 0.00043 \text{ с}$.

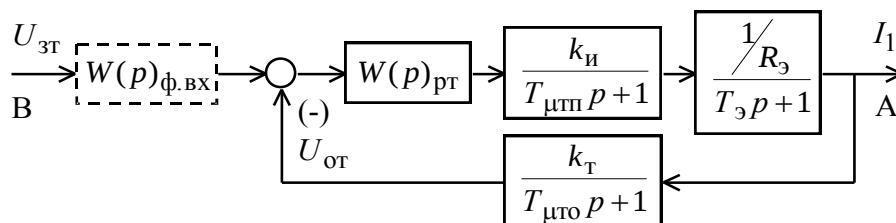


Рисунок 17 – Структурная схема контура тока

В качестве регулятора тока принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

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

и настраиваем контур тока на модульный оптимум (МО):

$$k_{\text{рт}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot R_{\text{э}}}{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\mu\text{тэ}}} = \frac{0.0185 \cdot 0.0553}{31.11 \cdot 0.0399 \cdot 2 \cdot 0.0005273} = 0.7815$$

– коэффициент усиления регулятора тока,

где

$$T_{\mu\text{тэ}} = T_{\mu\text{тп}} + T_{\mu\text{то}} = 0.0000833 + 0.000444 = 0.0005273 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени контура тока;

$$k_{\text{т}} = \frac{U_{\text{зт макс}}}{I_{1\text{q макс}}} = \frac{10}{311} = 0.0399 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

– коэффициент обратной связи по току;

$U_{\text{зт макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура тока;

$a_{\text{т}} = 2$ – коэффициент оптимизации контура тока.

$T_{\text{рт}} = T_{\text{э}} = 0.0185 \text{ с}$ – постоянная времени регулятора тока

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет следующий вид

$$W(p)_{\text{т зам}} = \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{то}} \cdot p + 1)}{a_T T_{\mu\text{тп}} T_{\mu\text{то}} T_{\mu\text{тэ}} p^3 + a_T T_{\mu\text{тэ}}^2 p^2 + a_T T_{\mu\text{тэ}} p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T} \cdot (T_{\mu\text{то}} \cdot p + 1)}{a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0399} \cdot (0.000444 \cdot p + 1)}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}.$$

Настройка контура тока близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Однако показатели качества работы оптимизированного контура тока по управлению зависят от отношения малых постоянных времени $T_{\mu\text{тп}}$ и $T_{\mu\text{то}}$. Поскольку контур тока является внутренним контуром, то для уменьшения перерегулирования в нем на входе контура устанавливаем сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ф вх}} = \frac{1}{T_{\text{ф вх}} \cdot p + 1},$$

постоянную времени которого выбираем из условия

$$T_{\text{ф вх}} = T_{\text{ф вх т}} = T_{\mu\text{то}} = 0.000444 \text{ с.}$$

Передаточная функция замкнутого оптимизированного контура тока с фильтром на входе имеет следующий вид:

$$W(p)_{\text{т зам}} = \frac{\frac{1}{k_T}}{a_T \cdot T_{\mu\text{тп}} \cdot T_{\mu\text{то}} \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p^3 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_T}}{a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}}^2 \cdot p^2 + a_T \cdot T_{\mu\text{тэ}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0399}}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}.$$

Контур является астатической системой 1-го порядка по управлению и имеет следующие ожидаемые показатели качества работы по управлению:

– статическая ошибка, A ,

$$\Delta I_{y \text{ сг}} = 0;$$

– полоса пропускания контура по фазе и модулю

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \omega_{\Pi}^{(M)} \approx \frac{0.71}{T_{\mu\text{тэ}}} = \frac{0.71}{0.0005273} = 1346.48 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

или

$$f_{\Pi}^{(\Phi)} = f_{\Pi}^{(M)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(\Phi)}}{2\pi} \approx \frac{1346.482}{2 \cdot 3.1415} = 214.3 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5% зону установившегося значения тока при отработке ступенчатого задания

$$\sigma \approx 4.3\%,$$

$$t_{\text{py1}}^{(5)} = t_{\text{py2}}^{(5)} \approx 4.1 \cdot T_{\mu\text{тэ}} = 4.1 \cdot 0.0005273 = 0.002162 \text{ с}.$$

Оптимизация контура потокосцепления

При оптимизации контура потокосцепления внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \approx \frac{\frac{1}{k_{\text{Т}}}}{T_{\text{Т}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{\text{Т}} = a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{тэ}} = 2 \cdot 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 18.

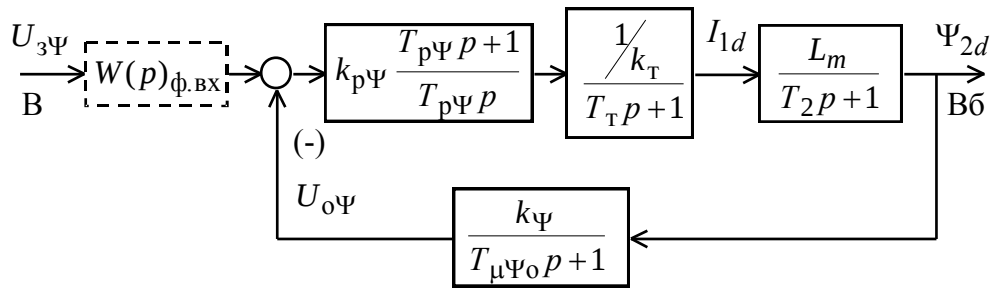


Рисунок 18 – Структурная схема контура потокоцепления

Контур потокоцепления характеризуется одной большой постоянной времени в прямом канале $T_2 = 0.6871$ с и малыми постоянными времени в прямом канале $T_T = 0.0010546$ с и в цепи обратной связи $T_{\mu\Psi o} = 0.00444$ с.

В качестве регулятора потокоцепления принимаем ПИ-регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{p\Psi} = k_{p\Psi} \cdot \frac{T_{p\Psi} \cdot p + 1}{T_{p\Psi} \cdot p}$$

и настраиваем контур потокоцепления на модульный оптимум:

$$T_{p\Psi} = T_2 = 0.6871 \text{ с}$$

– постоянная времени регулятора потокоцепления;

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_{\Psi}} \cdot \frac{1}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi o}} = \frac{0.6871 \cdot 0.0399}{0.01864 \cdot 11.377} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.005495} = 11.76$$

– коэффициент усиления регулятора потокоцепления,

где

$$T_{\mu\Psi o} = T_T + T_{\mu\Psi o} = 0.0010546 + 0.00444 = 0.005495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_{\Psi} = \frac{U_{3\Psi \text{ макс}}}{\Psi_{2н}} = \frac{10}{0.879} = 11.377 \frac{\text{В}}{\text{Вб}}$$

– коэффициент обратной связи по потокосцеплению;

$U_{\Psi \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура потокосцепления;

$a_{\Psi} = 2$ – коэффициент оптимизации контура потокосцепления.

Передаточная функция замкнутого контура потокосцепления по управлению имеет следующий вид

$$W(p)_{\Psi \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_{\tau} \cdot T_{\mu\Psi_0} \cdot T_{\mu\Psi_{\Sigma}} \cdot p^3 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_{\Sigma}}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_{\Sigma}} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_{\Psi}} \cdot (T_{\mu\Psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_{\Sigma}}^2 \cdot p^2 + a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi_{\Sigma}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{11,377} \cdot (4,44 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{6,039 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01099 \cdot p + 1},$$

Настройка контура близка к настройке на МО системы 2-го порядка. Контур является астатической системой регулирования 1-го порядка по управлению и обеспечивает нулевую установившуюся ошибку, Вб

$$\Delta\Psi_{\text{уст}} = 0.$$

В зависимости от соотношения малых постоянных времени в прямом канале $T_{\mu\Psi_{\Pi}}$ и в цепи обратной связи $T_{\mu\Psi_0}$ контур имеет следующие динамические показатели качества работы:

– полоса пропускания по модулю

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\Psi_{\Sigma}}} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{0,005495} = (129,21 \div 163,785) \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

или

$$f_{\Pi}^{(M)} = \frac{\omega_{\Pi}^{(M)}}{2\pi} \approx \frac{(129,21 \div 163,785)}{2 \cdot 3,1415} = (20,565 \div 26,068) \text{ Гц};$$

– перерегулирование и время первого вхождения в 5 % зону установившегося значения потокосцепления при отработке ступенчатого управляющего воздействия

$$\sigma = (4.3 \div 6.7) \%,$$

$$t_{\text{pyl}}^{(5)} = (4.1 \div 2.75) \cdot T_{\mu\text{УЭ}} = (4.1 \div 2.75) \cdot 0.005495 = (0.02253 \div 0.0151) \text{ с.}$$

При полученных значениях перерегулирования в контуре потокосцепления установка на входе контура фильтра нецелесообразна.

Оптимизация контур скорости

При оптимизации контура скорости внутренний оптимизированный замкнутый контур тока представим усеченной передаточной функцией 1-го порядка

$$W(p)_{\text{Т зам}} \approx \frac{\frac{1}{k_{\text{Т}}}}{T_{\text{Т}} \cdot p + 1},$$

где

$$T_{\text{Т}} = a_{\text{Т}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} = 2 \cdot 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 19.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

$$W(p)_{\text{pc}} = k_{\text{pc}} \cdot \frac{T_{\text{pc}} p + 1}{T_{\text{pc}} \cdot p}.$$

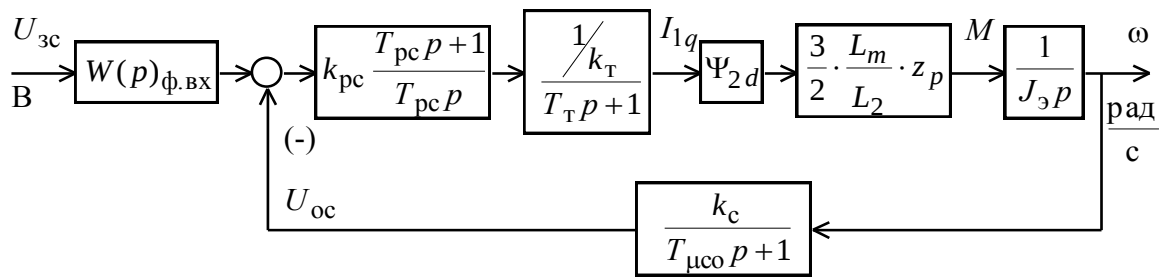


Рисунок 19 – Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{рс} = \frac{(J_{э}) \cdot k_T}{\Psi_{2н} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\muсэ}} =$$

$$= \frac{9,28 \cdot 0,0399}{0,879 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,01864}{0,01924} \cdot 4 \cdot 0,1775} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,005495} = 37,15;$$

$$T_{рс} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\muсэ} = 2 \cdot 2 \cdot 0,005495 = 0,022 \text{ с},$$

где

$$T_{\muсэ} = T_T + T_{\muсo} = 0,0010546 + 0,00444 = 0,0054495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

$$k_c = \frac{U_{3с \text{ макс}}}{\omega_{эп \text{ макс}}} = \frac{10}{56,35} = 0,1775 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$\omega_{эп \text{ макс}} = 56,35 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad \text{– требуемое максимальное значение скорости}$$

электропривода;

$U_{3с \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – принятое максимальное значение напряжения задания на входе контура скорости;

$b_c = a_c = 2$ – коэффициенты оптимизации контура скорости.

На вход контура скорости устанавливаем сглаживающий фильтр с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ф.вх}} = \frac{1}{T_{\text{ф.вх}} \cdot p + 1}$$

и постоянной времени, равными

$$T_{\text{ф.вх}} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu\text{сэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 0.005495 = 0.022 \text{ с},$$

Передаточная функция замкнутого контура скорости по управлению принимает вид

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{с зам}} &= \frac{\frac{1}{k_c} \times (b_c a_c T_{\mu\text{со}}^3 p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\text{т}} T_{\mu\text{со}} T_{\mu\text{сэ}}^2 p^4 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu\text{сэ}} p + 1} \approx \\ &\approx \frac{\frac{1}{k_c} \times (b_c a_c T_{\mu\text{со}}^3 p + 1)}{b_c a_c^2 T_{\mu\text{сэ}}^3 p^3 + b_c a_c^2 T_{\mu\text{сэ}}^2 p^2 + b_c a_c T_{\mu\text{сэ}} p + 1} = \\ &= \frac{0.173272 p + 7.876}{1.327373 \cdot 10^{-6} \cdot p^3 + 2.4156 \cdot 10^{-4} \cdot p^2 + 0.022 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Настройка контура скорости близка к точной настройке на МО системы 3-го порядка. Контур скорости представляет собой астатическую систему 1-го порядка по управлению и обеспечивает точную отработку заданного значения скорости. Показатели качества работы оптимизированного контура скорости по управлению мало зависят от соотношения малых постоянных времени в прямой цепи и цепи обратной связи $T_{\mu\text{сп}} = T_{\text{т}}$ и $T_{\mu\text{со}}$. Предварительно принимаем следующие значения качественных показателей работы контура скорости:

– статическая ошибка при постоянном значении задающего сигнала

$$U_{\text{зс}} = \text{const}, \text{ рад/с},$$

$$\Delta \omega_{y \text{ ст}} = 0;$$

– скоростная ошибка при линейно изменяющемся входном сигнале

$$U_{3c}(t)$$

$$\Delta \omega_{\text{ск}} \approx \frac{(b_c a_c T_{\mu \text{сэ}} - T_{\mu \text{со}})}{k_c} \cdot \left(\frac{dU_{3c}}{dt} \right) = (b_c a_c T_{\mu \text{сэ}} - T_{\mu \text{со}}) \cdot \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_{\text{зад}};$$

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

$$\omega_{\pi}^{(м)} \approx \frac{0.5}{T_{\mu \text{сэ}}} = \frac{0.5}{0.005495} = 91, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\pi}^{(м)} = \frac{\omega_{\pi}^{(м)}}{2\pi} \approx \frac{91}{2 \cdot 3.1415} = 14.5 \text{ Гц},$$

$$\omega_{\pi}^{(\phi)} \approx \frac{0.36}{T_{\mu \text{сэ}}} = \frac{0.36}{0.005495} = 65.5, \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{ или } f_{\pi}^{(\phi)} = \frac{\omega_{\pi}^{(\phi)}}{2\pi} \approx \frac{65.5}{2 \cdot 3.1415} = 10.43 \text{ Гц};$$

– перерегулирование, время первого и окончательного вхождения в 5 % зону установившегося значения скорости при обработке скачка задания

$$\sigma \approx 8.1\%;$$

$$t_{\text{py}1}^{(5)} \approx 7.0 \cdot T_{\mu \text{сэ}} = 7 \cdot 0.005495 = 0.0385 \text{ с};$$

$$t_{\text{py}2}^{(5)} \approx 12.0 \cdot T_{\mu \text{сэ}} = 12 \cdot 0.005495 = 0.066 \text{ с}.$$

2.10 Имитационные исследования регулируемого электропривода агломашины.

Электропривод агломашины работает с постоянным потокосцеплением, равным номинальному значению Ψ_{2H} , в длительном режиме с постоянной нагрузкой, регулированием скорости и режимами пуска и торможения. Электропривод агломашины требует обеспечения плавности переходных процессов в электроприводе. Для ограничения ускорения (замедления) и рывка на входе регулируемого электропривода предусматриваем установку S-образного задатчика скорости.

С учетом отмеченных особенностей работы электропривода наметим следующие задачи имитационных исследований контуров регулируемого электропривода:

- в контуре потокосцепления статическая ошибка по управлению равна нулю, поэтому оценим только характер переходного процесса и время переходного процесса при отработке ступенчатого задания номинального значения потокосцепления и;

- в контуре скорости с ПИ-регулятором статические ошибки по управлению и возмущению равны нулю. Поэтому в процессе имитационных исследований произведем выбор параметров настройки регулятора скорости и оценим работу электропривода в режиме регулирования скорости и в пусковых и тормозных режимах.

Структурная схема САУ электропривода агломашины.

Учтем следующие основные нелинейности элементов структурной схемы.

- насыщение регулятора скорости, принимаем $U_{рс\max} = 10 \text{ В}$;
- насыщение регулятора тока, принимаем $U_{рт\max} = 10 \text{ В}$;
- ограничение напряжения на выходе инвертора $E_{и\max} = 311 \text{ В}$;
- реактивный характер момента трения $M_c(\omega) = M_c \cdot \text{sign } \omega$.
- насыщение регулятора потокосцепления, принимаем $U_{р\psi\max} = 10 \text{ В}$;

Структурная схема приведена на рисунке 20. Параметры элементов структурной схемы сведены в таблице 3.

По структурной схеме в программной среде Матлаб набирается имитационная модель, представленная на рисунке 21.

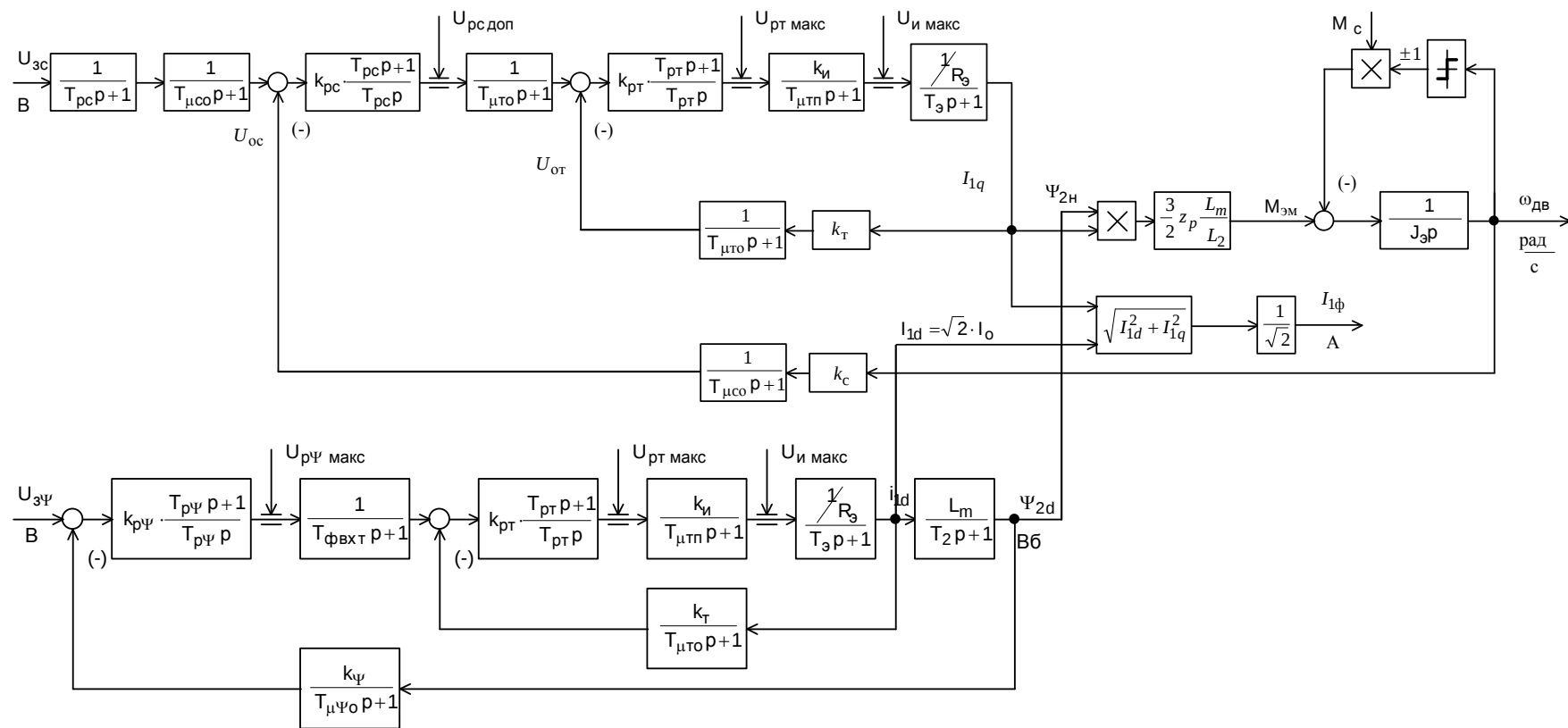


Рисунок 20 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ электропривода агломашины.

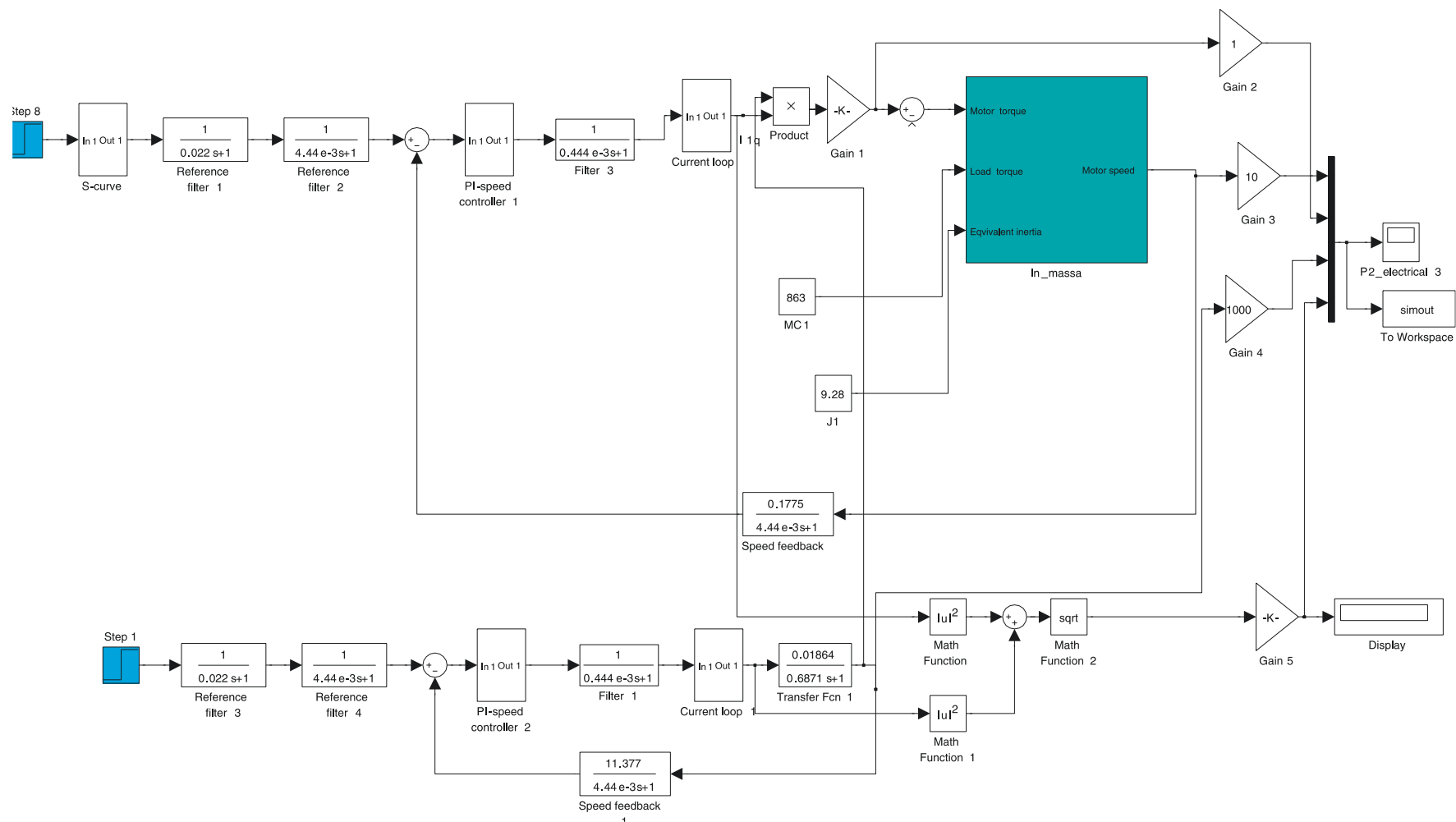


Рисунок 21 – Схема набора имитационной модели электропривода агломашины.

В состав имитационной модели рисунке 20 входят суперблоки:

- контура тока (рисунок 22);
- регулятора тока (рисунок 23);
- регулятора скорости (рисунок 24);
- регулятора потокосцепления (рисунок 25).
- механической системы приемного устройства (рисунок 26).

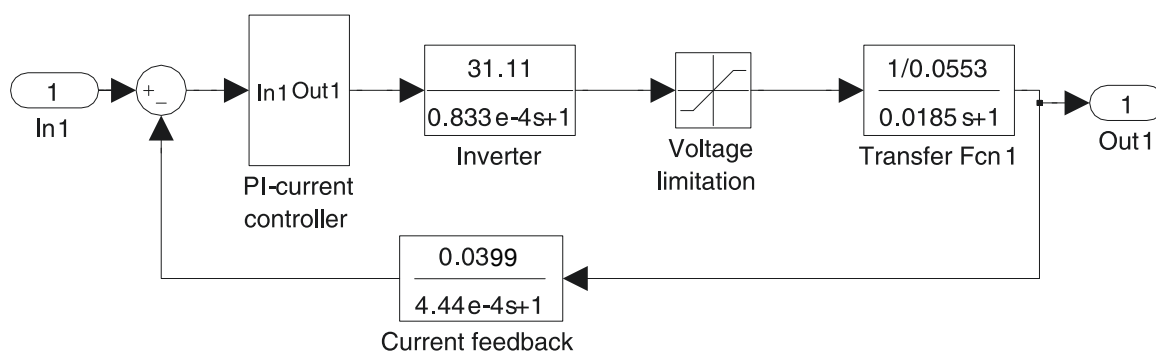


Рисунок 22 – Схема набора имитационной модели контура тока

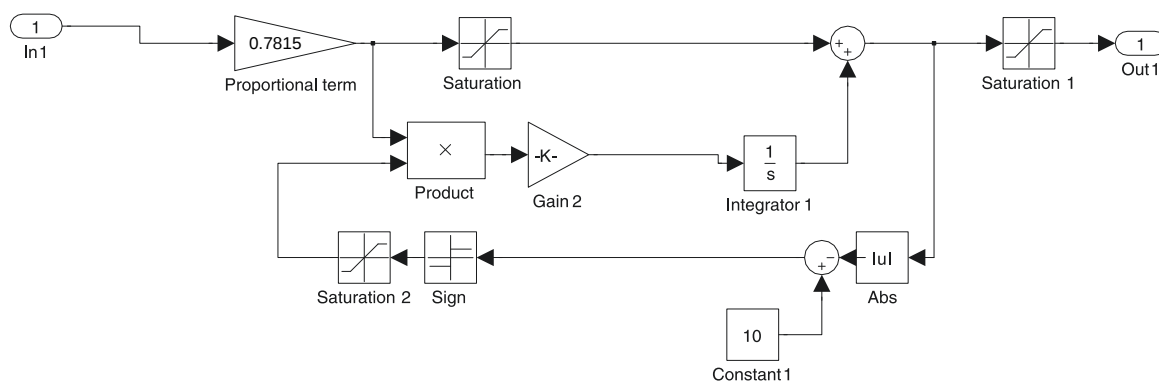


Рисунок 23 – Схема набора имитационной модели регулятора тока

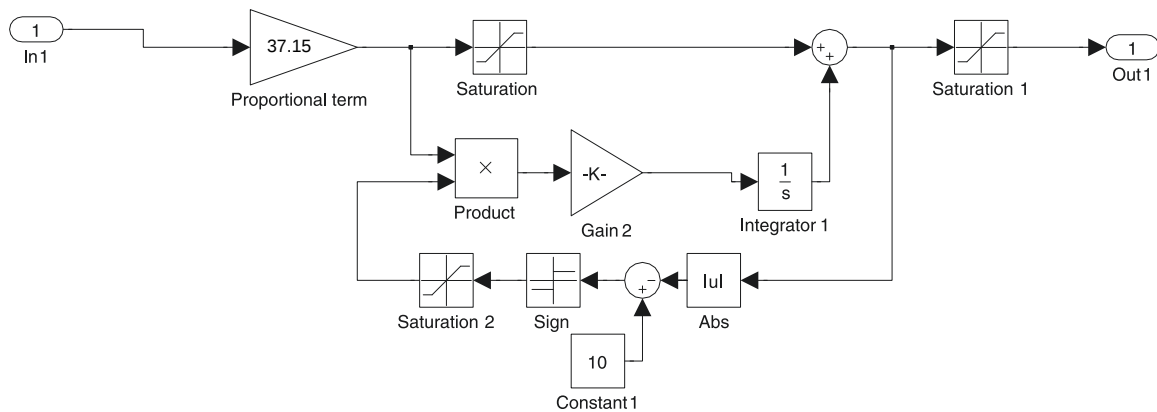


Рисунок 24 – Схема набора имитационной модели регулятора скорости

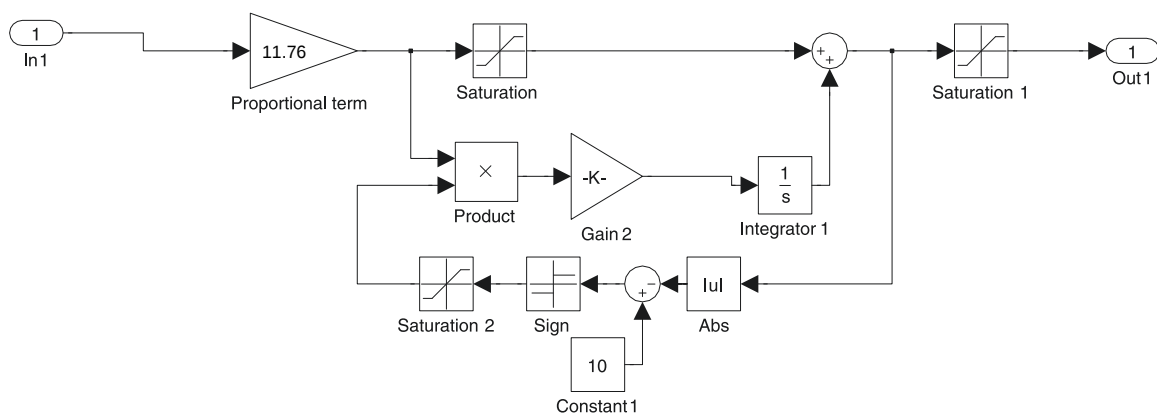


Рисунок 25 –. Схема набора имитационной модели регулятора потокоосцепления

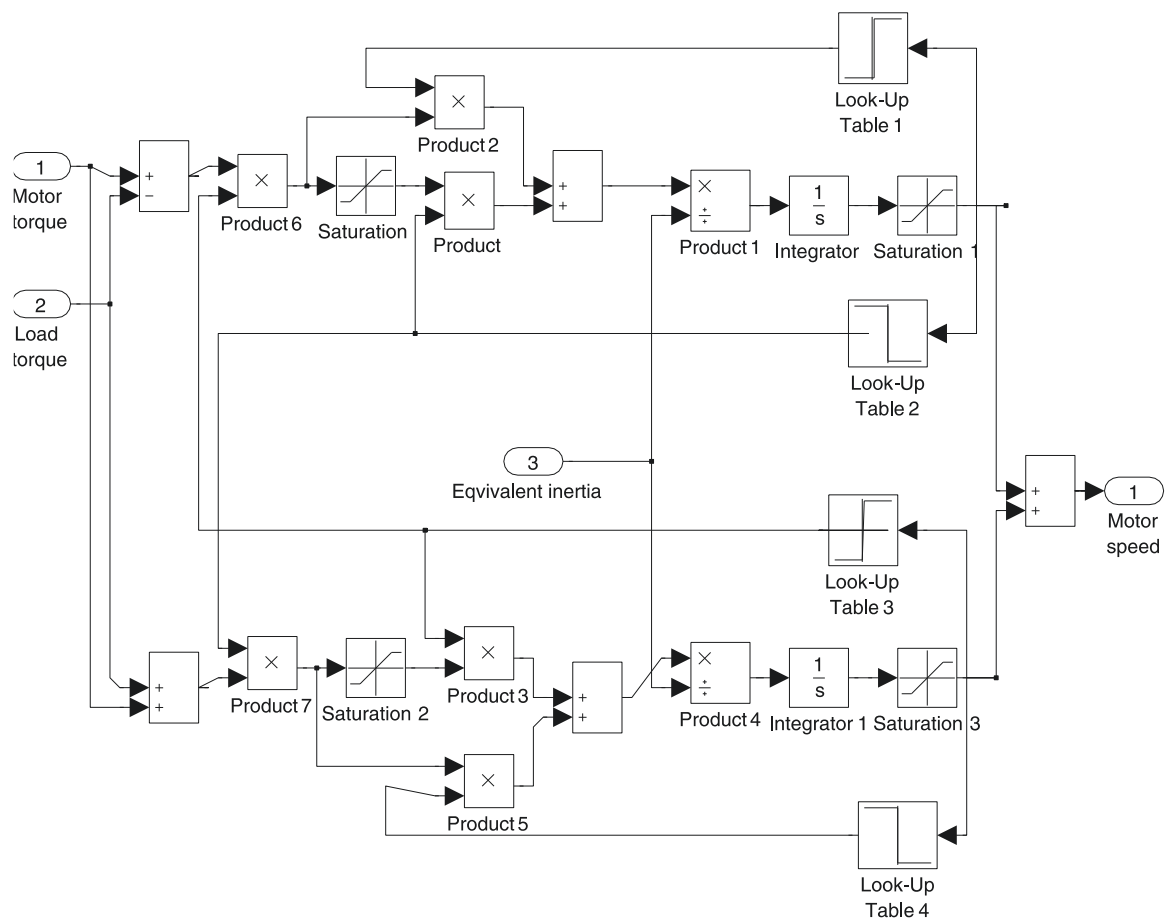


Рисунок 26 – Схема набора имитационной модели механической системы

Таблица 3-Параметры элементов структурной схемы

$U_{3\Psi}$, В	$k_{p\Psi}$	$T_{p\Psi}$, с	k_{Ψ} , $\frac{В}{Вб}$	$T_{\mu\Psi 0}$, с	$T_{\phi \text{ вх } T}$, с	k_{pT}	T_{pT} , с	k_T , $\frac{В}{А}$	$T_{\mu TO}$, с	$k_{и}$	$T_{\mu TP}$, с	R_3 , Ом
10	11,7 6	0.687 1	11,377	0.0044 4	0.00044 4	0.781 5	0.018 5	0.039 9	0.00044 4	31.1 1	0.000083 3	0.055 3

Продолжение таблицы 3

T_3 , с	L_m , Гн	T_2 , с	Ψ_{2dH} , Вб	$U_{p\Psi \text{ макс}}$, В	$U_{pT \text{ макс}}$, В	$T_{\phi \text{ вх } c1}$, с	$T_{\phi \text{ вх } c2}$, с	k_{pc}
0.0185	0.006958	0.6871	0.879	± 10	± 10	0.022	0.00444	37,15

Продолжение таблицы 3

T_{pc} , с	k_c , $\frac{В \cdot с}{\text{рад}}$	$T_{\mu co}$, с	$T_{\phi \text{ вх } T}$, с	k_{pT}	T_{pT} , с	k_T , $\frac{В}{А}$	L_2 , Гн	z_p	$J_{\text{э}}^*$, кг·м ²	$\omega_{\text{макс}}$, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$I_{1q \text{ макс}}$, А	$U_{и \text{ макс}}$, В
0.022	0.1775	0.00444	0.000444	0.7815	0.0185	0.0399	0.01924	4	9,28	56,53	250,7	311.17

Программа имитационных исследований контура потокосцепления

Программа имитационных исследований контура потокосцепления включает в себя оценку процесса формирования номинального значения потокосцепления двигателя.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 23

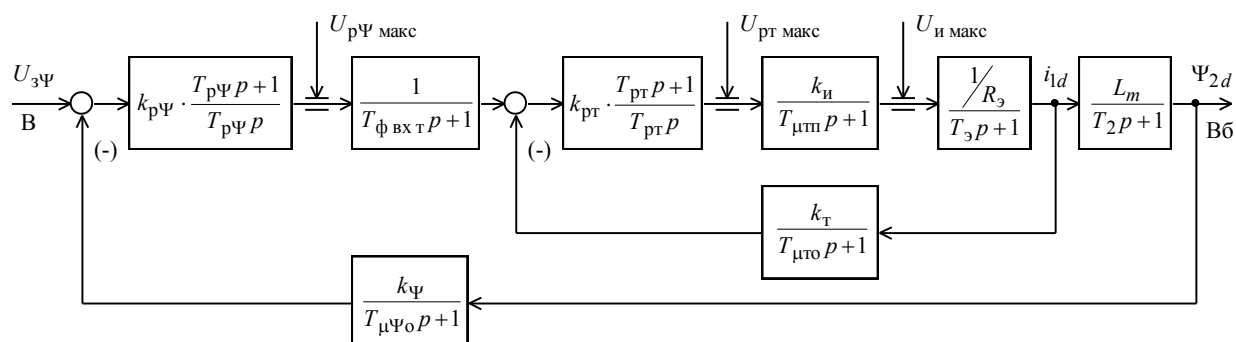


Рисунок 27 – Структурная схема контура регулирования
потокосцепления

По структурной схеме рисунка 27 набираем имитационную модель контура потокосцепления (рисунок 28).

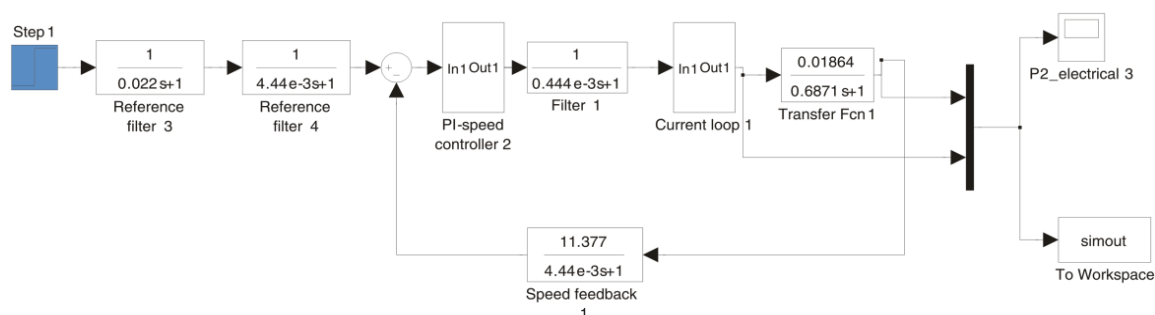


Рисунок 28 – Схема набора имитационной модели контура
потокосцепления

На рисунке 29 приведены временные диаграммы изменения тока намагничивания $I_{1d}(t)$ и потокосцепления $\Psi_{2d}(t)$ при ступенчатом задании управления на входе контура $U_{3\Psi} = 10 \text{ В}$.

Процесс формирования потокосцепления двигателя характеризуется следующими количественными показателями:

- установившееся значение потокосцепления $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} = 0.879 \text{ Вб}$;
- статическая ошибка отработки заданного значения потокосцепления $\Delta\Psi_{у\text{ ст}} = 0$;
- время достижения значения $0.95 \cdot \Psi_{2d\text{ уст}} \quad t_1^{(5)} \approx 0.115 \text{ с}$.

Внутренний контур тока обеспечивает ограничение максимального значения тока на уровне $I_{1d\text{ макс}} = I_{1q\text{ макс}} = 311 \text{ А}$ и установившееся значение тока равное $I_{1d\text{ уст}} = 47,16 \text{ А}$.

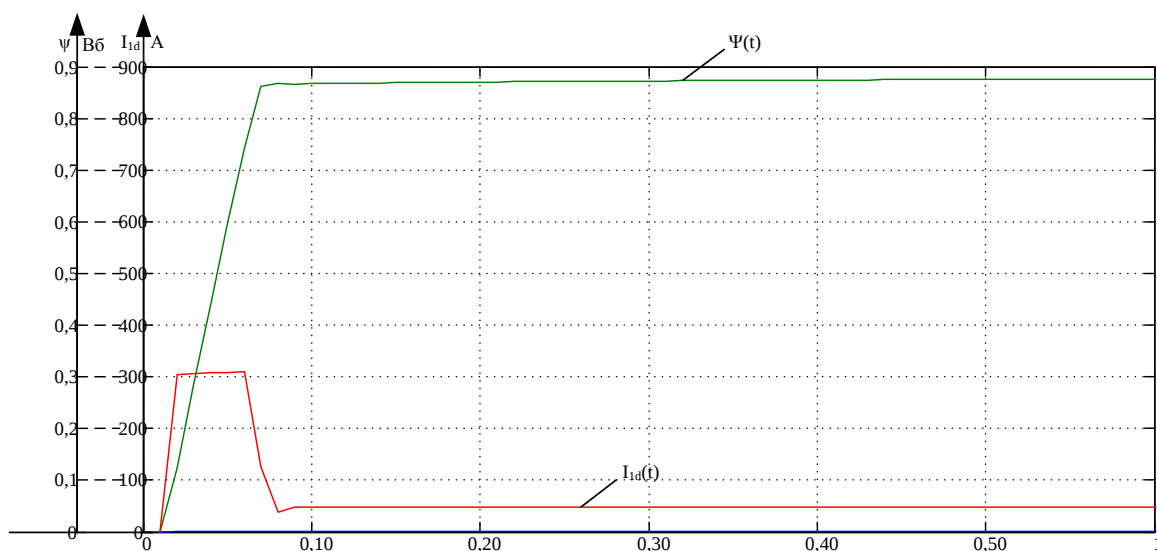


Рисунок 29 – Переходные процессы в контуре потокосцепления при $U_{3\Psi} = 10 \text{ В}$

Задатчик интенсивности скорости

Для обеспечения требуемой повышенной плавности движения с ограниченными значениями ускорения и рывка (второй производной скорости). С этой целью на входе регулируемого электропривода установлен S-образный задатчик скорости, формирующий на входе контура скорости управляющие сигналы с ограниченными значениями первой и второй производными. Форма выходной сигнала задатчика скорости представлена на рисунке 30. Схема набора имитационной модели S-образного задатчика скорости приведена на рисунке 31.

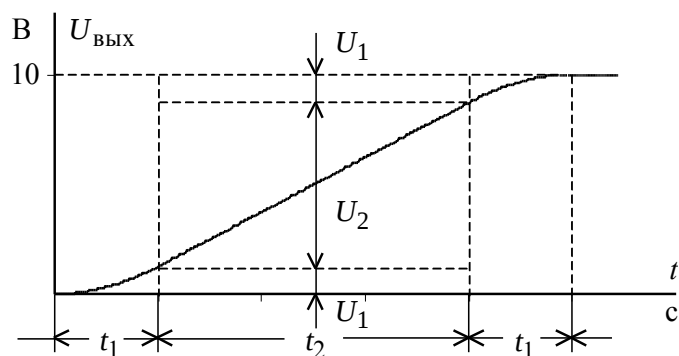


Рисунок 30 – Временная характеристика S-образного задатчика скорости

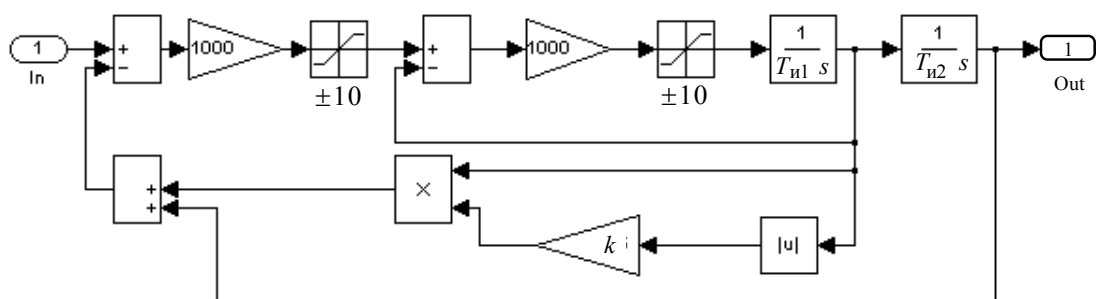


Рисунок 31 – Схема набора имитационной модели задатчика скорости

Настройка задатчика интенсивности скорости осуществлена из условия времени пуска привода на максимальную скорость, соответствующую максимальной скорости. $V_{\text{макс}} = 0.5 \text{ м/с}$,

$$t_2 + 2 \cdot t_1 = 1 \text{ с.}$$

Интервалы времени сглаживания (t_1) приняты равными 0.2 секунды, тогда $t_2 = 0.6 \text{ с}$.

Параметры настройки задатчика интенсивности скорости:

$$T_{и1} = t_1 = 0.2 \text{ с}; \quad T_{и2} = t_2 + t_1 = 0.6 + 0.2 = 0.8 \text{ с};$$

$$k = 0.05 \cdot \frac{t_1}{t_2 + t_1} = 0.05 \cdot \frac{0.2}{0.6 + 0.2} = 0.0125.$$

2.11 Расчет переходных процессов электропривода агломашины

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

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления;
- торможение электропривода до минимальной скорости.
- останов электропривода.

Результаты исследований на имитационной модели приведены на рисунках 32-35.

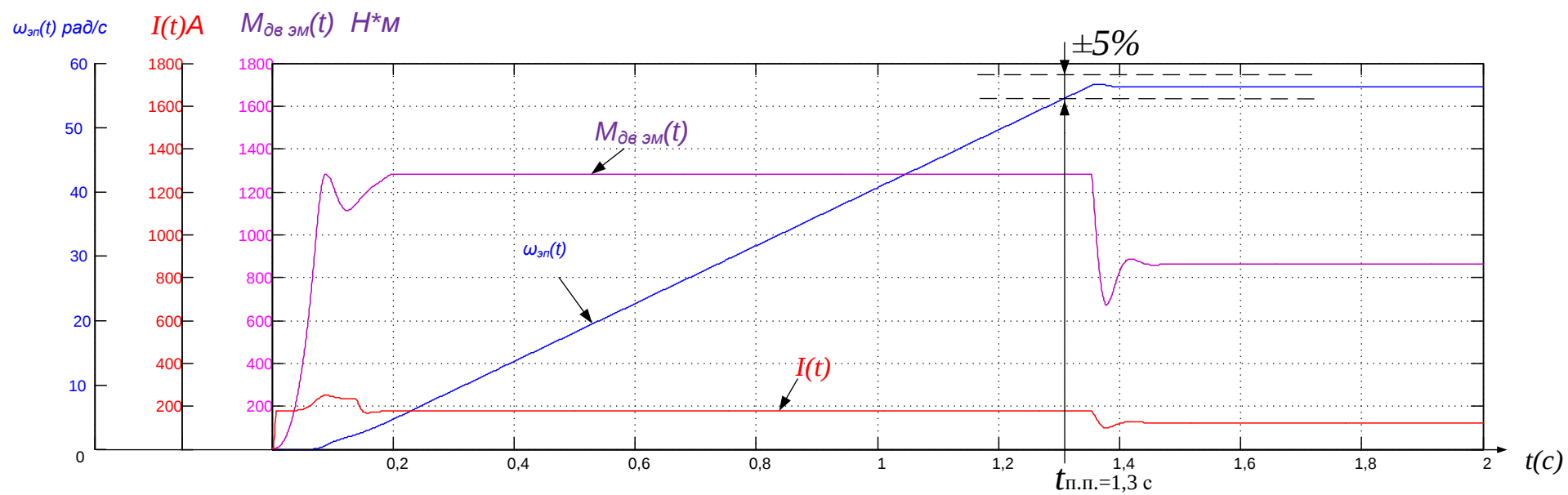


Рисунок 32 – Пуск на максимальную скорость

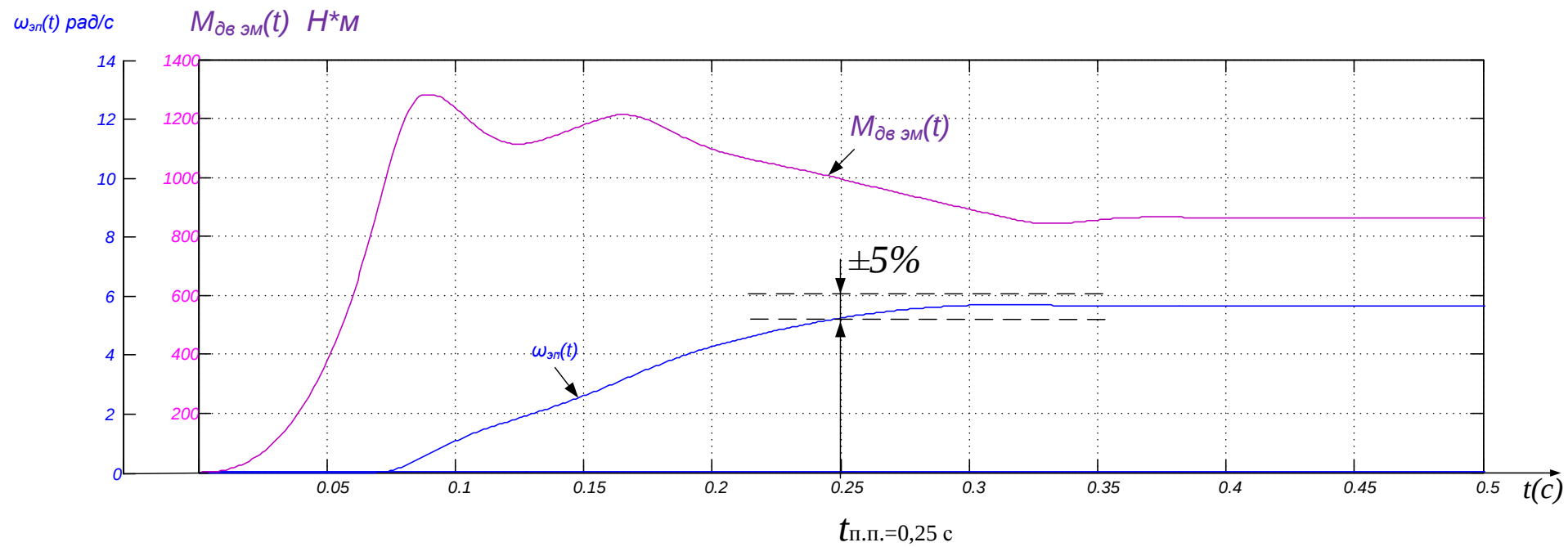


Рисунок 33 – Пуск на минимальную скорость

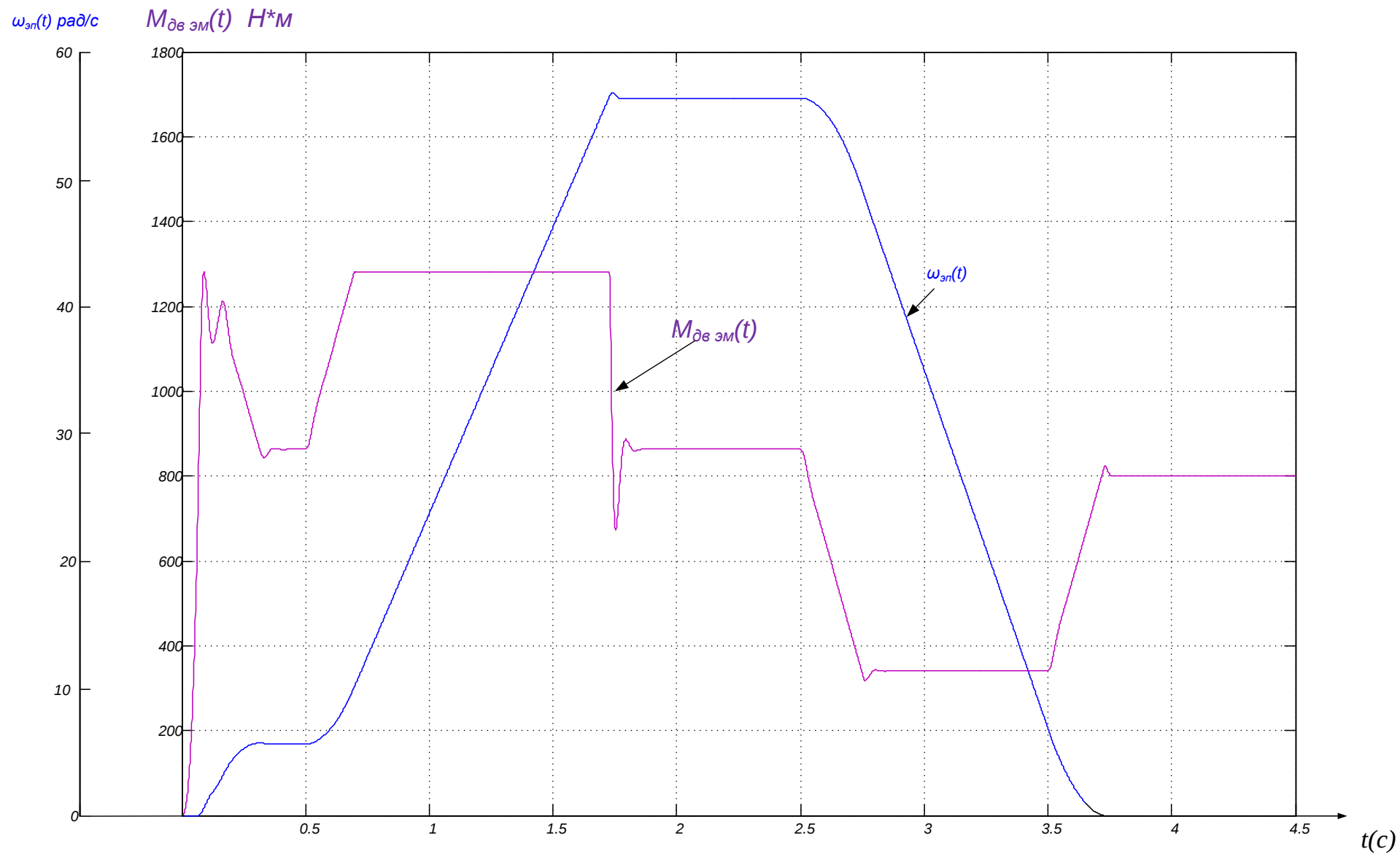


Рисунок 34 – Пуск на минимальную скорость разгон до максимальной, торможение.

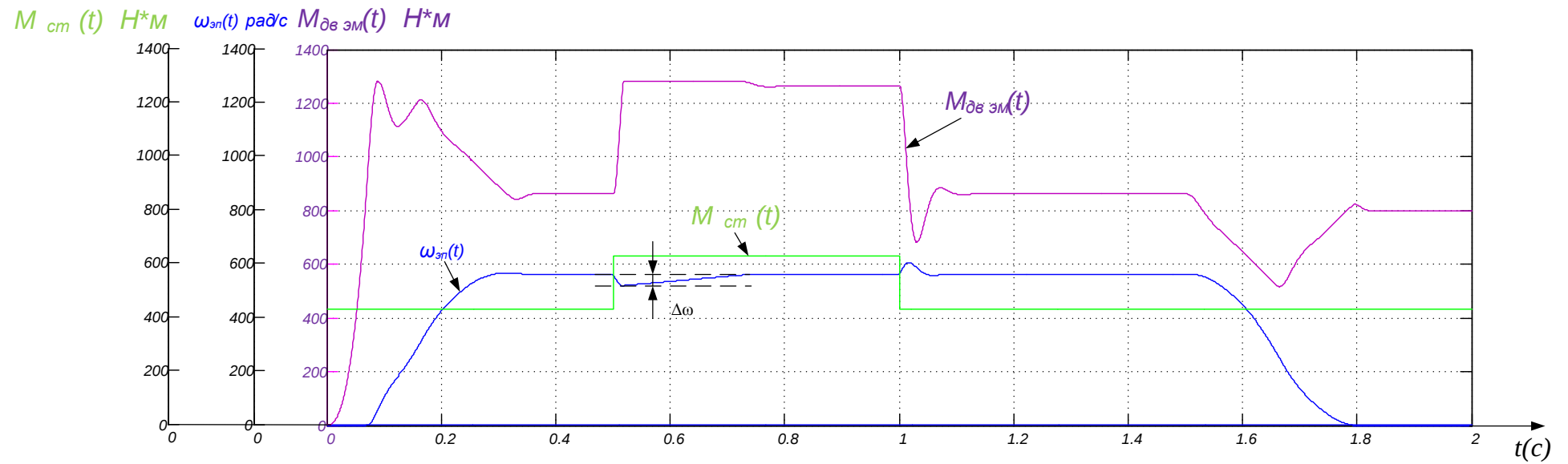


Рисунок 35 – Пуск на минимальную, наброс нагрузки, торможение.

Выводы:

Динамические показатели качества работы РЭП во всём диапазоне регулирования скорости полностью удовлетворяют требованиям технического задания.

Для ограничения ускорения (замедления) и рывка на входе регулируемого электропривода предусмотрена установка S-образного задатчика скорости.

Время пуска электропривода до максимальной рабочей скорости 1,3с. Перерегулирование скорости практически отсутствует.

Динамический провал (всплеск) скорости при набросе (сбросе) нагрузки на минимальной скорости составляет 7,6%, время отработки возмущающего воздействия составляет 0,21с.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Абдуфаязов Акмаль Машарифович

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

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ".
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 86 рабочих дней.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.2019г.
--	--------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Абдуфаязов Акмаль Машарифович		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- Составление SWOT-анализа пуско-наладочных работ частотно регулируемого электропривода агломашины на объекте «Евраз ЗСМК»
- Планирование технико-конструкторских работ
- Определение ресурсной эффективности проекта

3.1 SWOT-анализ работ агломерационного цеха на объекте «Евраз ЗСМК»

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

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл– слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOTприведена в таблице 4.

Таблица 4 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта С1: Надежность обеспечения бесперебойной работы. С2: Большая экономия потребляемой эл. энергии. С3: Квалифицированный персонал. С4: Повышение безопасности производства С5: Небольшие затраты на ремонт оборудования	Слабые стороны проекта Сл1. Значительный уровень шума и вибрация при работе. Сл2. Высокая стоимость оборудования. Сл3: Большой срок поставки оборудования и комплектующих
Возможности В1: Экономия производительности энергоблоков. В2: Уменьшение себестоимости путем внедрения новых технологий. В3: Дополнительное резервное питание. В4: Повышение стоимости конкурентных систем.	В1 - С1,С2,С3,С4; В2 - С1,С2,С4,С5; В3 - С1,С4,С5; В4 - С1,С2,С5;	В1 - Сл2; В2 - Сл1; В4 - Сл2;
Угрозы У1: Исчезновение питания агломашины У2: Негативные изменения в отношениях с поставщиками. У3: Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4: Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства	У1 - С1,С3; У2 - С5; У3 - С1; У4 - С3;	У1 - Сл3; У2 - Сл2; У4 - Сл2;

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [20].

Как видно из таблицы наличие сильных сторон усиливает реализацию возможностей и перекрывает угрозы, слабые стороны, в свою очередь, не особо влияют на возможности и лишь незначительно на угрозы.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей

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

Таблица 6 – Интерактивная матрица угроз

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

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

- отсутствие финансового обеспечения со стороны государства – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;

- для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки уровень шума и вибрация при работе, стоимость оборудования, срок поставки оборудования и комплектующих

- кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как надежность, экономия потребляемой эл. энергии,

- квалифицированный персонал, безопасность производства, небольшие затраты на ремонт оборудования.

- экономия производительности энергоблоков – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

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

3.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения пуско-наладочных работ частотно регулируемого электропривода агломашины на объекте «Евраз ЗСМК»

3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

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

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 4:

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

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

№ 3 – Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ– расчет мощности двигателя, расчет момента инерции, выбор преобразователя частоты, расчет параметров элементов структурной схемы силового канала, оптимизация контуров, разработка электрической схемы привода, анализ результатов

№ 5 – Моделирование работы привода –разработка программы исследований модели, создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab, исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением

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

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

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

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

Таблица 7 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Ознакомление с производственной документацией	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3	Расчет мощности двигателя	Дипломник
	4	Расчет момента инерции	Дипломник
	5	Выбор преобразователя частоты	Дипломник
	6	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	
	7	Разработка электрической схемы привода.	Дипломник
	8	Анализ результатов	Дипломник, научный руководитель
Моделирование работы привода	9	Разработка программы исследований модели	Дипломник, научный руководитель
	10	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Дипломник
	11	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением	Дипломник
	12	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Дипломник
	13	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Дипломник
Обобщение и оценка результатов	14	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, Научный руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	15	Составление пояснительной записки	Дипломник
	16	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	17	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, Научный руководитель

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирование завода, расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ, моделирование работы привода, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 13 работ.

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Стоимости разработки является важным моментом определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:[20]

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

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

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

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

3.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 8 строим план-график проведения работа (таблица 9)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 10,5 декад, начиная с конца второй декады февраля и заканчивая в начале первой декады июня. Продолжительность выполнения технического проекта составила 105 календарных дней или 86 рабочих дней.

85 дней – продолжительность выполнения работ дипломника;

8 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя.

Таблица 8 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы		Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i-ой работы		Ожидаемая трудоемкость выполнения i-ой работы	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	7		5
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	1	19	1	23	1	21
4	Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	1	17	1	25	1	20
5	Моделирование работы привода	1	14	1	21	1	17
8	Оценка эффективности полученных результатов	1	6	1	8	1	7

9	Составление пояснительной записки	-	3	-	12	-	7
10	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
11	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	1	2	3	4	2	3

На данном этапе работы, был спланирован полный график выполнения научной работы, для которой были определены сроки выполнения каждой стадии работ. Построена диаграмма Ганта, которая наглядно показывает следование выполнения этапов дипломного проектирования, исходя из отведенных сроков. Общее число работ составило 9, ожидаемая трудоёмкость научного руководителя 8 чел-дней, для дипломника 86 чел-дней. Общая максимальная длительность выполнения работ составила 105 календарных дней.

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T_{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
1	Ознакомление с производственной документацией	Руководитель	1		-										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	5		-										
3	Проведение расчетов электрических нагрузок предприятия	Руководитель	1				-								
		Дипломник	20		-	-	-								
4	Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	Руководитель	1						-						
		Дипломник	20			-	-	-							
5	Моделирование работы привода	Руководитель	1								-				
		Дипломник	17					-	-	-					
6	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1									-			
		Дипломник	6								-	-			
7	Составление пояснительной записки	Дипломник	7									-	-		
8	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1										-		
9	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2											-	-
		Дипломник	3											-	-

3.4 Расчёт затрат на осуществление технического проекта

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

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

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

3.3.1 Расчет материальных затрат технического проекта

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}$$

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

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

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

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

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы., руб.
Бумага для принтера	Упак.	1	300	300
Бумага писчая	Упак.	1	150	150
Ручка, карандаши	Шт.	4	20	80
USB накопитель	Шт.	1	150	150
Линейка	Шт.	1	50	50
Картридж для принтера	Шт.	1	1900	1900
Итого:				2630

3.3.2 Полная заработная плата исполнителей темы

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

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = T_p \cdot З_{дн},$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}}}{Д_{\text{мес}}},$$

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

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

Таблица 11 - Расчёт основной заработной платой

Исполнители	Оклад	Месячный основной оклад работника руб.	Средняя заработная плата работника руб.	Продолжитель ность работ, выполняемых работником раб. дн.	Основная заработная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43763	1683	8	13464
Бакалавр	12300	15990	615	85	52275
Итого Зосн :					65739

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Таблица 12 - Расчёт полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы. руб	Основная заработная плата одного работника. руб.	Дополнительная заработная плата. руб.	Полная заработная плата. руб.
Руководитель	15%	13464	2020	15500
Бакалавр	12%	52275	6273	58500
Итого:				74000

3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 74 = 22,3 \text{ тыс. руб}$$

3.3.4 Накладные расходы

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

3.3.5 Формирование сметы затрат технического проекта

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

Определение сметы затрат на технический проект приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Смета затрат технического проекта

Наименование разделы	Сумма, тыс. руб	Структура затрат, %
1. Материальные расходы	2,6	2,2
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей ТП	74,0	62,9
3. Отчисления во внебюджетные фонды	22,3	18,9
4. Накладные расходы	19,1	16,0
5. Итого	118,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана смета затрат на разработку технического проекта составляет 118,0 тыс.руб, из которых более половины (63%) составляют затраты на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

3.3.6 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле:[20]

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

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

1.Эргономичность: оптимальная условия труда с целью увеличения производительности и сохранения сил, времени, энергии, работоспособность и здоровья человека;

2. Ремонтопригодность: долговечности и увеличения срок эксплуатации электроустановки;

3. Безопасность: обеспечение безопасности работ, как для электротехнического персонала, так и для не электротехнического;

4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии: качество электроэнергии, удовлетворяющее требованиям ГОСТ 13109-97;

5. Надежность: бесперебойное снабжение электроэнергией в пределах допустимых показателей ее качества и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды;

6. Простота и удобство в эксплуатации: возможность использования персоналом более доступного, автоматизированного и адаптивного по конструкции техническим характеристикам электрооборудования на предприятии;

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня потребления энергии в зданиях либо при технологических процессах на производстве.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Эргономичность	0,13	5
2. Ремонтопригодность	0,16	5
3. Безопасность	0,2	4
4. Обеспечение надлежащего качества электроэнергии	0,18	4
5. Надежность	0,15	5
6.Простота и удобство в эксплуатации	0,09	4
7.Энергоэффективность	0,15	5
Итого:	1,00	

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_p = 5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,09 + 5 \cdot 0,15 = 4,7$$

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

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

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

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Абуфаязов Акмаль Машарифович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</i>	<i>Объектом исследования является частотно-регулируемый электропривод агломашины (агломерационный цех).</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</i>	<i>Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>
<i>2. Производственная безопасность.</i>	<i>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</i> – Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов. – Механические травмы. – Поражение электрическим током. – Повышенный уровень шума и вибрации. – Неудовлетворительное освещение. – Неудовлетворительный микроклимат.
<i>3. Экологическая безопасность.</i>	<i>Анализ воздействий на:</i> – атмосферу (выбросы), – гидросферу (сбросы), – литосферу (отходы) <i>в процессе деятельности агломерационного цеха.</i>
<i>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</i>	– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. <i>Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения.</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4Б2	Абуфаязов Акмаль Машарифович		

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Промышленное предприятие ЗСМК расположено на территории города Новокузнецка в промышленном районе, объект исследования частотно – регулируемые электропривод агломашины. Цеха, с вредными выделениями, выделяются расположением с подветренной стороны по отношению к другим цехам. В необходимых случаях применяются пылеулавливание и газоочистка.

Между предприятием и жилым районом создана санитарно-защитная зона, ширина которой 2000м. Metallургический комбинат относится к 1 классу по количеству вредных веществ, выбрасываемых предприятием в воздушный бассейн СанПиН 2.2.4.548 - 96.

В санитарно-защитной зоне расположены пожарное депо, гаражи, склады и проводится озеленение на территории предприятия, в свою очередь, между отдельными зданиями и сооружениями существуют санитарные разрывы, которые обеспечивают не затенение оконных проемов, а отделяют объекты друг от друга и от остальных сооружений. Разрывы между зданиями используют под зеленые насаждения.

Подход рабочих к цеху проходит, согласно установленному маршруту, по специально оборудованным пешеходным тротуарам, подземным переходам, переход железнодорожных путей осуществляется через установленные лабиринты. Перед входом на территорию комбината, возле проходной, и при выходе из цеха находятся стенды со схемами маршрутов движения по комбинату и непосредственно к цеху.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения

безопасности

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

4.2 Производственная безопасность объекта исследования

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

Анализ потенциально опасных и вредных факторов

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме, острому отравлению или другому

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

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

1. Опасные факторы:

- механические травмы;
- поражения электрическим током;
- пожаровзрыво опасность

2. Вредные факторы:

- неудовлетворительное освещение
- повышенный уровень шум;
- повышенный уровень вибрации;
- неудовлетворительный микроклимат;
- термические опасности.

Рабочее место пайки должно быть оборудовано местной вытяжкой вентиляцией, обеспечивающей концентрацию свинца в рабочей зоне не превышающую предельно-допустимой - 0.01мг/м³.

Механические травмы

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

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

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

Электробезопасность

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок и Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328н “Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок” (вступил в силу 4 августа 2014 года).

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый агломерационный цех относится к помещению с повышенной опасностью [ПУЭ].

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

В соответствии с классификацией помещений по степени опасности поражения людей электрическим током, Агломерационный цех, в котором расположен агломашина, относится к особо опасным помещениям.

Проектируемый привод является электроустановкой до 1000В для II -группы, а работы, связанные с ремонтом и обслуживанием этого электропривода, не исключают как возможности поражения электрическим током персонала, так и возможности получения механической травмы. Поэтому соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприводом и станком является важнейшей обязанностью, как самого обслуживающего персонала, так и лиц, организующих эти работы.

Шум и виброакустические вредные факторы

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

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

Шум

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

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

производственном процессе уровень шумов не выходит за нормативы. [СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011]

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

Шум в рассматриваемом цехе может возникать только при использовании некоторых видов оборудования, поэтому применяются индивидуальные средства защиты от шума, а также звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями и укрытия в кожухи источников шума. В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

Вывод: Соответствует допустимым нормам СОУТ.

Освещение

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

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

в цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Норма освещенности для рассматриваемого цеха

Разряд зрительно й работы	Характерка	Подразряд	Наименьш ий объект различения , мм.	Освещённост ь (комбинир. система), Лк.	Освещённост ь (общая система), Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

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

Микроклимат

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

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период

восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономическим обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

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

Таблица 16 – Допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t _{опт}				Если t°< t° _{опт}	Если t°> t° _{опт}
Холодный	Па	17,0 - 18,9	21,1 - 23,0	16,0 - 24,0	15 - 75	0,1	0,3
Теплый	Па	18,0 - 19,9	22,1 - 27,0	17,0 - 28,0	15 - 75	0,1	0,4

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Таблица 17 – Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

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

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

Вывод: Соответствует допустимым нормам СОУТ.

Вредные вещества

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

В рассматриваемом цехе используются умеренно опасные (ПДК = 1,10 мг/м³) вредные вещества (бензин, азотная и соляная кислоты) Основной мерой борьбы с вредными веществами является применение системы вентилирования и СИЗ.

Вывод: Условия труда соответствует СОУТ.

Производственная вентиляция

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СНиП 2.04.05-91.

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее 60 м³/ч.

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

4.3 Экологическая безопасность

Влияние частотно – регулируемого привода агломашины и агломерационного цеха на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения), ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера). Отходы составляющие средств зола, кокс, аглоизвестковые отходы.

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

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

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

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

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

Атмосфера

Накопление вредных веществ в окружающей среде оказывает влияние как на растительный и животный мир, так и на человека и приводит к нарушению нормальных жизненных условий. Технологический процесс производства черных металлов сопровождается образованием большого количества различной пыли и сажи, загрязняющих атмосферу. Для того чтоб избежать этого в цехе производят очистку выбрасываемой в атмосферу пыли и сажи с помощью пылеотделителей различной конструкции. Например, пылеосадочная камера бункерного типа, где принцип осаждения пыли основан на резком снижении скорости движения загрязненного воздуха в камере, где пылинки, теряя скорость, под действием силы тяжести, оседают на дно.

Гидросфера

На предприятиях черной металлургии водоснабжение достигает больших объемов. Для очистки сточных вод используют методы отстаивания, фильтрования, нейтрализация, озонирование и т.д. содержание загрязняющих

веществ составляет на окончательном этапе 500-5000 мг/л и является не агрессивным. Помимо очистки, сточные воды подвергаются охлаждению и перед спуском в реки, и перед повторным использованием в производственных нуждах.

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

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

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

Так как объект исследований представляет из себя математическую модель, работающий в программном приложении, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с серверным

оборудованием. В серверной комнате применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор.

Перечень возможных ЧС на объекте: авария, пожар, террористический акт. Опасными событиями, которые могут оказать влияние на безопасность обслуживающего персонала это пожары и аварии на электрооборудовании. Характер объекта не предполагает хранение, обращение и использование взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся, ядовитых и радиоактивных веществ и материалов.

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

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

Класс ответственности сооружения –II.

Степень огнестойкости - III

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

Сечение проводов и кабелей выбрано с учетом токовых нагрузок согласно ПУЭ. Выбор кабелей и проводов, а также способ прокладки соответствует условиям окружающей среды и конструкции сооружения.

Автоматические выключатели предусматриваются согласно расчетных токов. Все электрооборудование выбрано согласно среды и характеристики помещения в соответствии с номинальным напряжением сети и рабочему току. Принятое проектом электрооборудование имеет сертификат пожарной

безопасности. Заземление и защитные нормы безопасности выполнены в соответствии с ПУЭ.

Пожаротушение предусматривается от существующей сети водопровода из пожарных гидрантов.

Проектом предусмотрены следующие мероприятия по пожарной безопасности:

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

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

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

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

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

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

- прекратить все работы, кроме работ, связанных с мероприятиями по

ликвидации пожара;

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

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

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

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

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

Количество первичных средств пожаротушения определяется по ГОСТу 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования” и приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Количество первичных средств пожаротушения.

Цех	S цеха, м ²	Огнетушители		Ящик с песком, м ²
		ОУ-5	ОП-10	
Аглоизвестковый цех	300	1	2	1

Конструкция помещения предусматривает безопасную эвакуацию людей на случай пожара. Число эвакуационных выходов должно быть не менее 2. Ширина путей эвакуации не менее 1 метра. При возникновении пожара необходимо принять меры по ликвидации очага пожара, вызвать

пожарную команду, а свободные работники должны немедленно покинуть здание согласно плану эвакуации. Установлена автоматизированная система пожарной сигнализации.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является расчет электропривода агломерационной машины.

Предложено заменить существующий морально устаревший и выработавший ресурс электропривод постоянного тока на асинхронный частотно-регулируемый электропривод. По результатам расчета требуемой мощности двигателя выбран электродвигатель фирмы SIEMENS серии 1LG4313-8AB, а также преобразователь частоты типа MICROMASTER 440 фирмы SIEMENS

В процессе выполнения работы была определена область работы, рассчитаны параметры схемы замещения двигателя и его характеристики, Выполнена оптимизация контуров регулирования линейной САУ РЭП.

Предложено использовать ПИ-регуляторы тока, скорости и потокосцепления системы автоматического управления регулируемого электропривода, даны рекомендации по их настройке и определены ожидаемые показатели качества их работы. Показано, что система САУ РЭП является существенно нелинейной, что определяет необходимость проведения дополнительных исследований с целью оценки их влияния на качество регулирования. В ходе имитационных экспериментов установлено, что обеспечивается требуемый диапазон регулирования 1:10, необходимая точность поддержания скорости не хуже 3%, что соответствует техническому заданию, плавность и время регулирования определяется постоянной времени s – образного задатчика интенсивности.

В результате выполненной выпускной квалификационной работы спроектирован электропривод, полностью отвечающий требованиям технического задания.

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

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

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,7 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

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

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

Список использованных источников

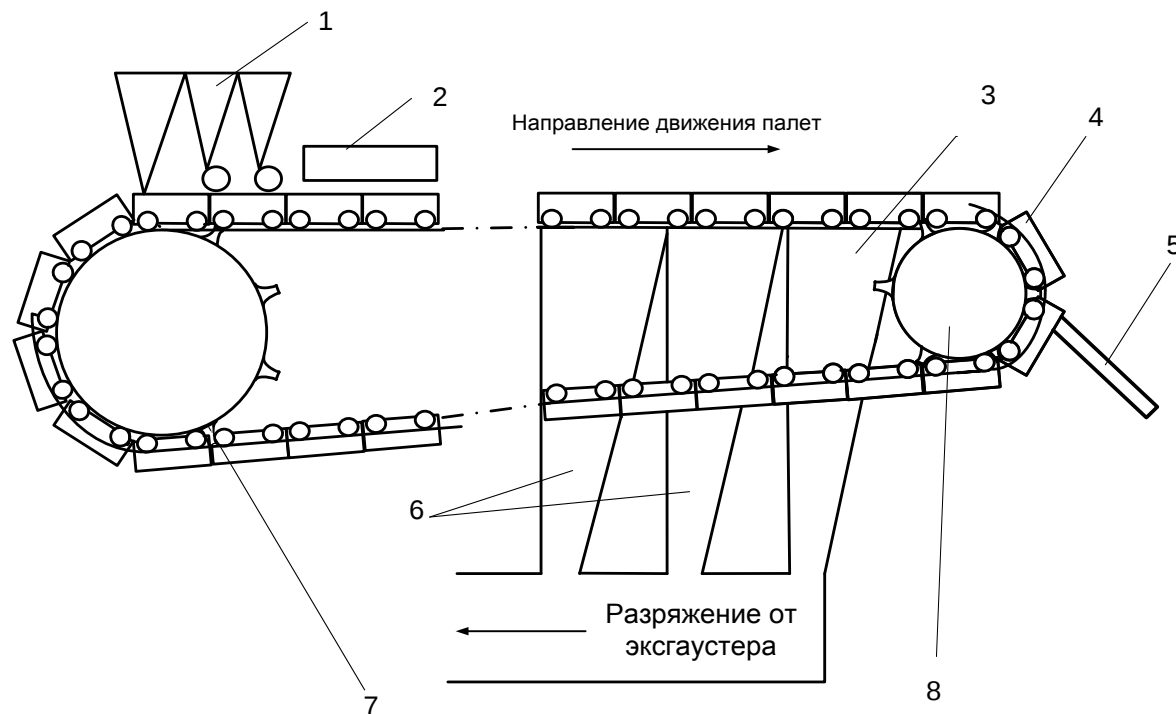
1. Автоматизация технологических процессов. Компания ЭЛЕСИ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. ГОСТ 22011-95. Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия. - Введ. 1997 - 01 - 01. - Минск: Изд-во стандартов, 1995. (Межгосударственные стандарты).
3. ГОСТ 22011-95 Лифты пассажирские и грузовые. Технические условия
4. Исследование переходных процессов в электромеханической системе пассажирского лифта с использованием программной системы Matlab. С.В. Бондарев, Ю.П. Горбатенко, О.В. Загора.
5. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П.Волкова - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480 стр. с илл.
6. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ На/Сост. Ю.В.Бородин, В.Н.Извеков, Е.В.Ларионова, А.М.Плахов. - То Томск: Изд - воТомского политехнического универ-та, 2014. – 20 с.
7. Нагрузка кранов. Григорьев Н.И. –М. –Л. : Машиностроение, 1964.
8. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов: ПБ 10-558-03: утв. Ростехнадзором России 16.05.03 : обязат. для всех м-в, ведомств, предприятий и орг., независимо от их орг.-правовой формы и формы собственности, а также для индивидуал, предпринимателей. - СПб. :ДЕАН, 2005. - 172 с.: ил.
9. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.
10. Производственно-технический центр «Привод» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.reductor58.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учебное пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 476с.
12. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 6. — Механическая система электропривода постоянного тока : Учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. - Томск: Изд-во Том. политех, ун-та, 2004. - 144 с.: ил. - Библиогр.: с. 140.
13. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213с.
14. ЭЛПРО-М [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elprom-rit.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
15. ICCSR26000 : 2011 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ. ТРЕБОВАНИЯ
16. ИЕК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iek.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
17. LEM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.lem.com/ru/ru>, свободный. – Загл. с экрана.
18. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
- 19 Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.
20. ФИНАСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Издательство Томского политехнического университета 2014, 36 стр.
21. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

Приложение А

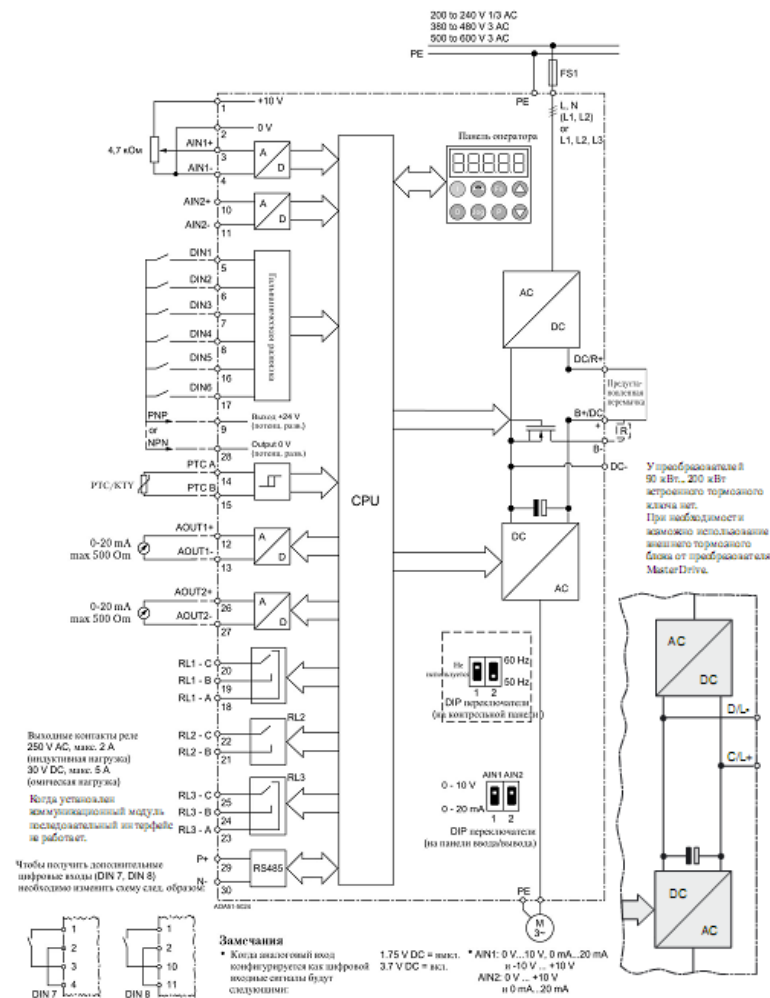
Графический материал

Общий вид агломашины

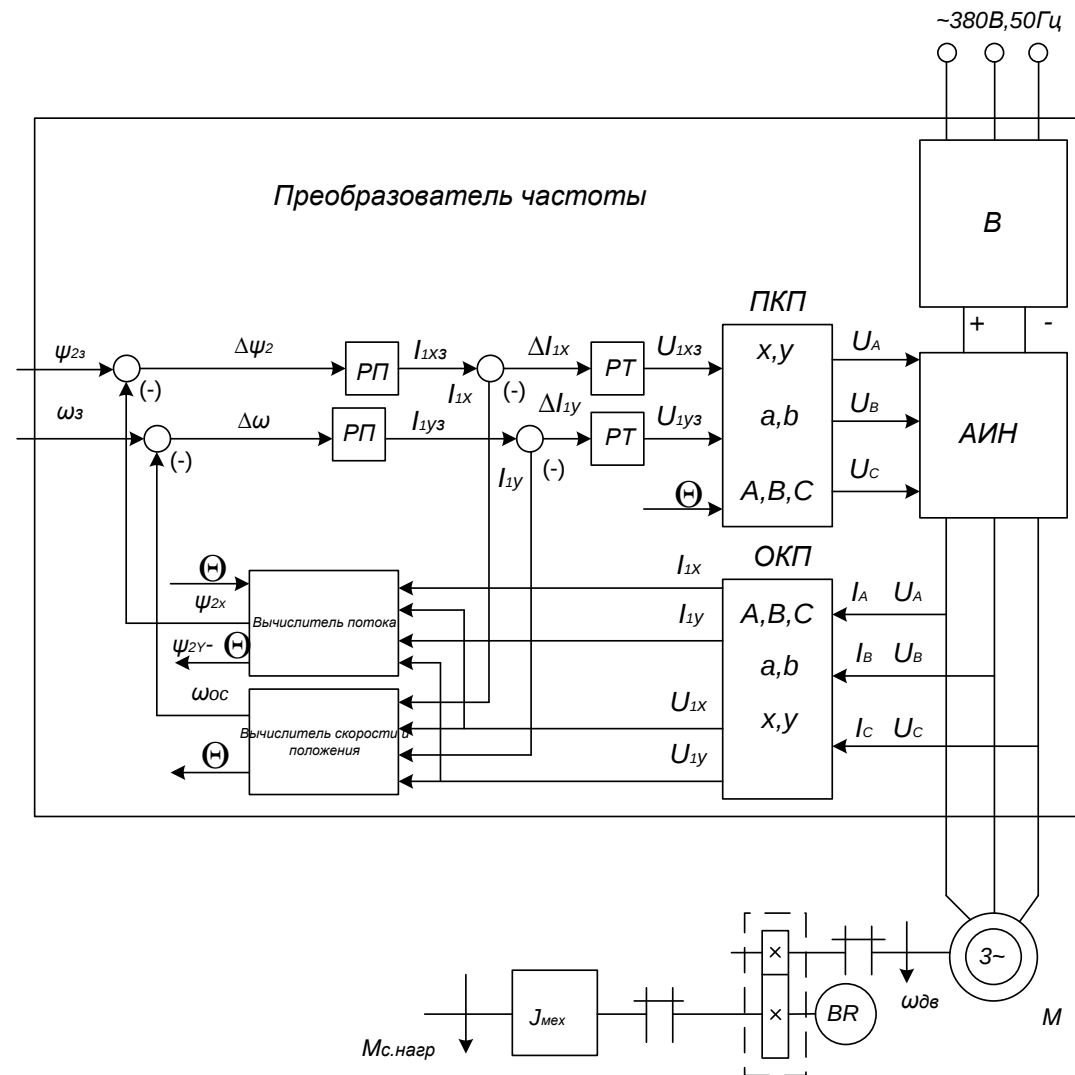


- 1-Бункера загрузки агломашины
- 2-Зажигательный горн
- 3-Газовый коллектор
- 4-Спекательная тележка (палета)
- 5-Приемная плита дробилки
- 6-Вакуум-камеры
- 7-Приводная звездочка
- 8-Разгрузочная звездочка

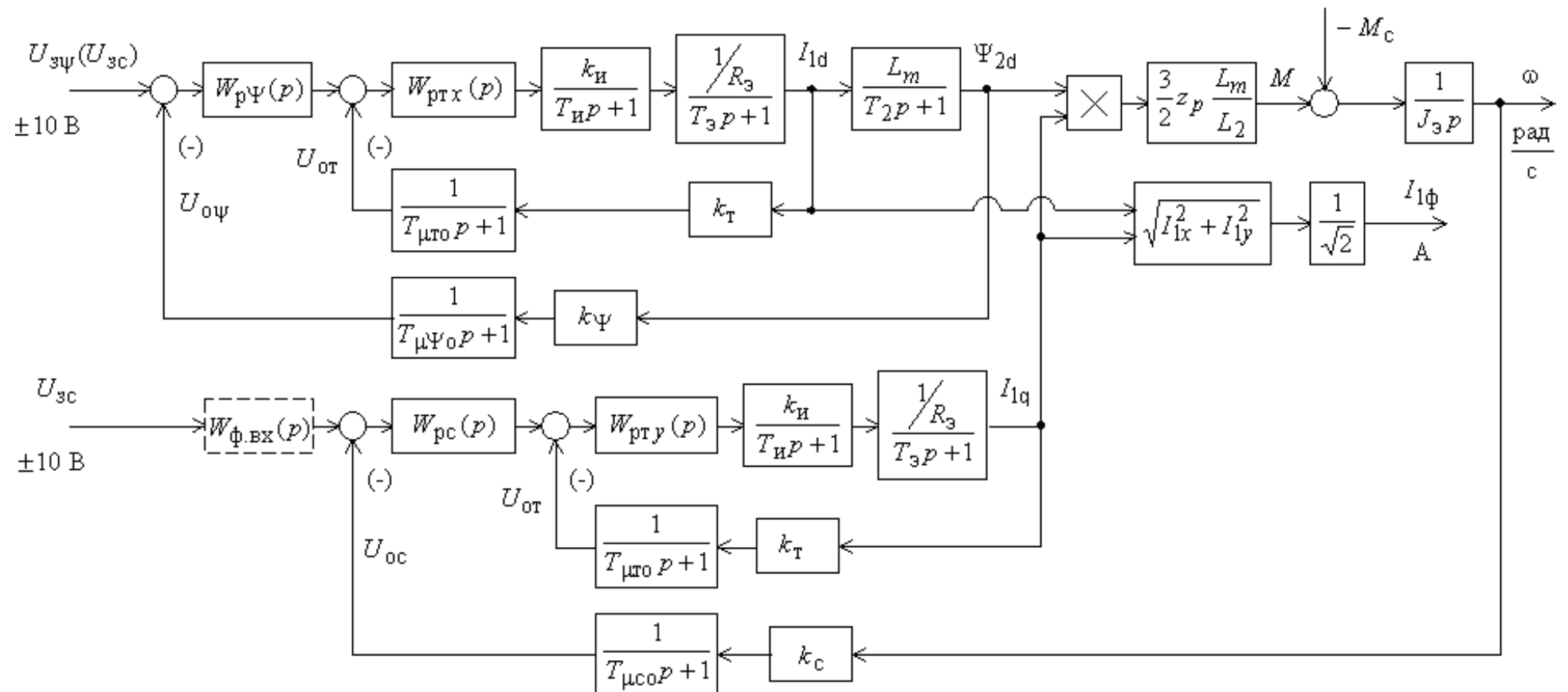
Принципиальная схема электропривода

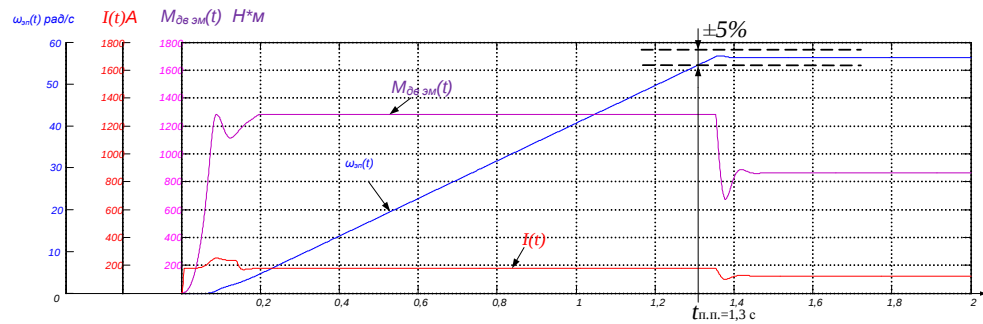


Функциональная схема электропривода

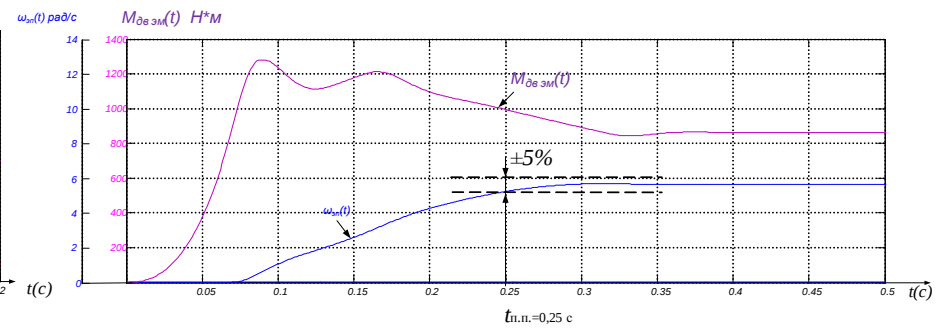


Структурная схема линейризованной САУ электропривода

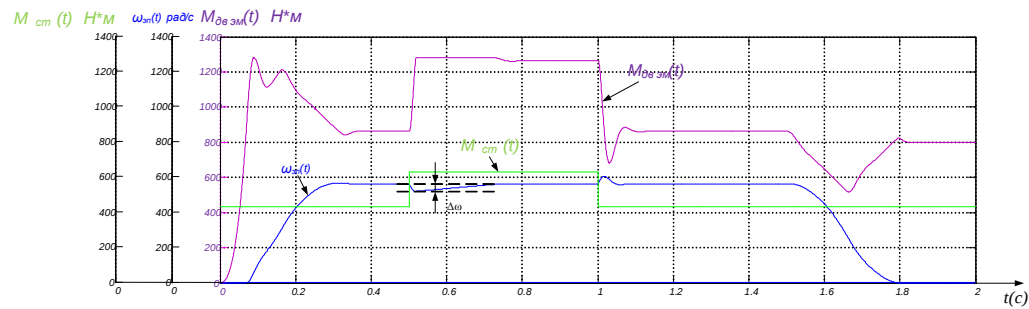




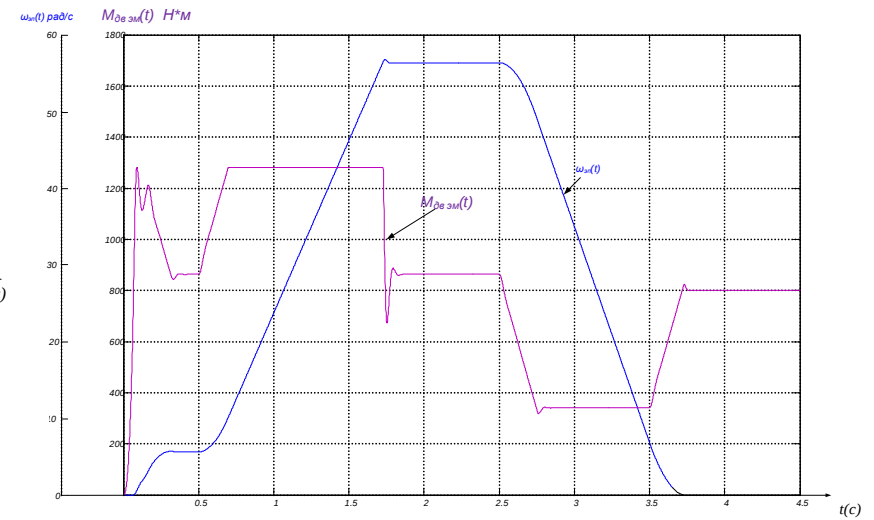
Пуск на максимальную скорость



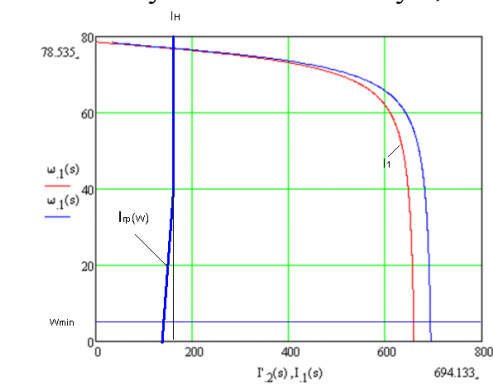
Пуск на минимальную скорость



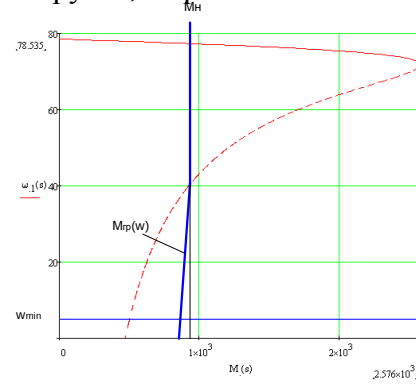
Пуск на минимальную, наброс нагрузки, торможение



Пуск на минимальную скорость разгон до максимальной, торможение



Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы двигателя



Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы двигателя