

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод агломерационной машины

УДК 62-83.523:622.788.36

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская А.М.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Грузинскому Николаю Георгиевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод агломерационной машины	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2018г.

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 Технико-экономические показатели.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна	
Социальная ответственность	Ледовская Анна Михайловна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глазырин А.С.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 149 страниц, 39 рисунков, 23 таблиц, 24 источника.

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 Matlab, MathCAD, Microsoft Power Point.

Содержание

Введение	7
1 Проектно-пояснительная часть	8
1.1 Объект автоматизации. Назначение. Общий вид Параметры и характеристики	8
1.2 Механизм. Назначение. Кинематическая схема. Параметры.	11
1.3 Технологический процесс. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	13
1.3.1 Технологический процесс цеха агломерации.	13
1.3.2 Описание. Параметры и характеристики. Требование к электроприводу механизма и автоматизации	20
1.4 Условия и режим работы, требования к электроприводу	21
1.5 Разработка технического задания	22
2 Проектно-расчетная часть	24
2.1 Выбор электродвигателя по мощности, скорости и техническим условиям	24
2.2. Расчёт параметров схемы замещения электродвигателя	38
2.3 Естественные механическая и электромеханическая характеристики двигателя	41
2.4 Определение области допустимой длительной работы двигателя	44
2.5 Построение требуемых областей длительной и кратковременной работы двигателя	47
2.5.1 Построение областей работы в плоскости механических характеристиках двигателя	47
2.5.2 Построение областей работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя	48
2.6 Выбор преобразователя частоты	50
2.7 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель	56
2.7.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода	57
2.8 Структурная схема линейризованной САУ электропривода	59
2.9 Оптимизация контуров регулирования САУ электропривода	63
2.10 Имитационные исследования регулируемого электропривода агломашины.	73
2.11 Расчет переходных процессов электропривода агломашины	84
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФ- ФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	90
2 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	91
3.1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.	92
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	94
3.2.1. Планирование научно-исследовательских работ	97
3.2.2. Планирование пуско-наладочных работ	99

3.2.3. Состав бригады для проведения ПНР	103
3.3 Бюджет проектной работы	105
3.3.1 Смета затрат на ПНР	105
3.3.2.Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)	107
3.3.3.Расчет амортизационных отчислений	108
3.3.4. Заработная плата обслуживающего персонала	108
3.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов	110
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования	111
3.4.1. Интегральный финансовый показатель	111
3.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности	112
3.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	113
3.4.4 Определение научно-технической эффективности проекта	114
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	116
4 Социальная ответственность	117
4. 1 Производственная безопасность	117
4.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	117
4.1.2 Производственная санитария	120
4.2 Экологическая безопасность	123
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	125
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	135
Заключение	138
Список используемой литературы	140
Приложение А	142

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

Железородная 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 телечек, 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 остановке 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 (коксыком), 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 (экспаустеров) 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 агломашин 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 агломашин 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 агломашин представлена на рисунке 1.

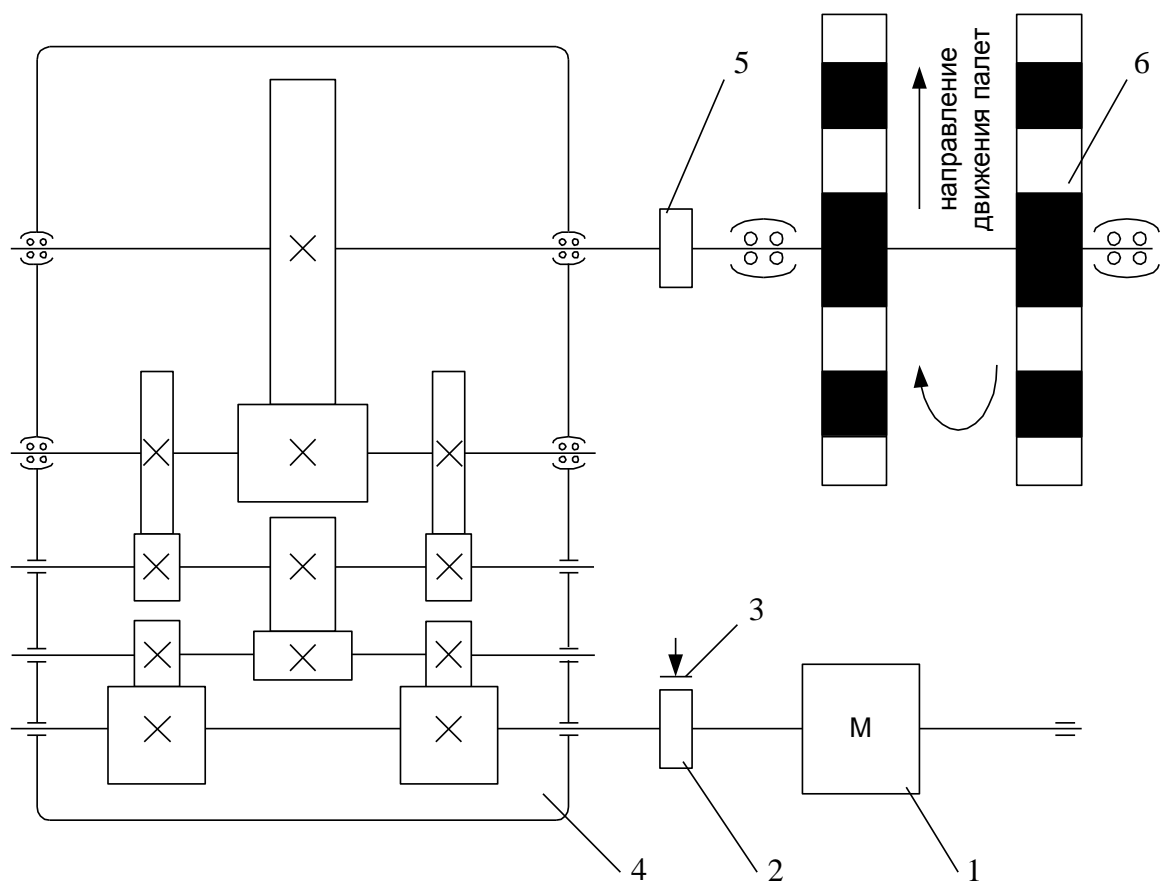


Рисунок 1.- Кинематическая схема механизма агломашины.

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. Требования 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;
- дозирочное отделение;
- спекательное отделение;
- отделение охлаждения и сортировки агломерата.

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 металлоискатели.

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 отсева 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. Дробленный 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.

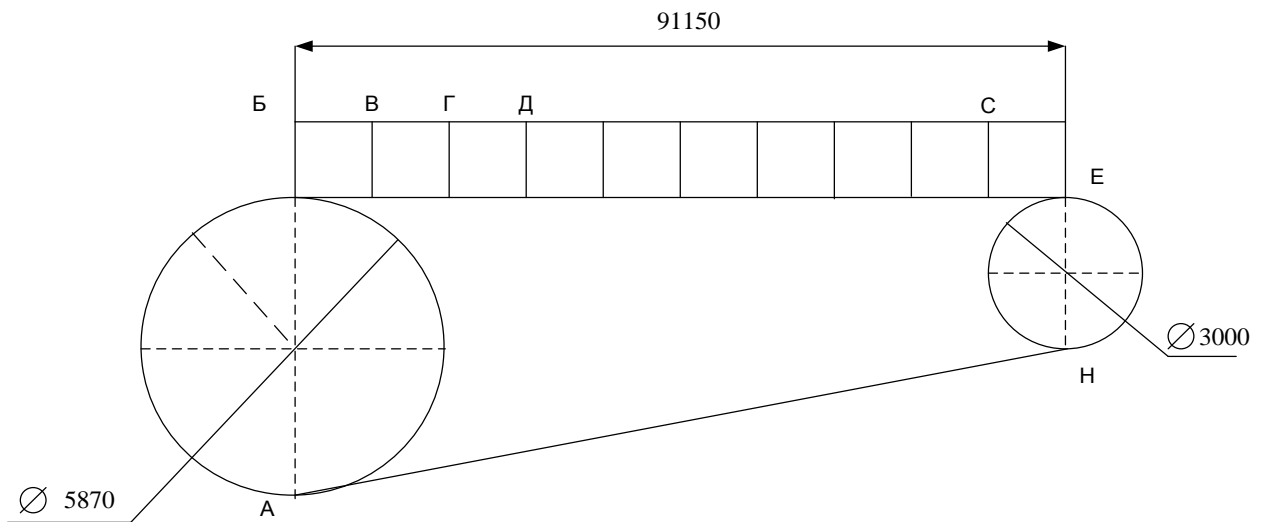


Рисунок 2. Распределение нагрузки по участкам агломашины.

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Количество тележек на участке АБ, рассчитывается по выражению

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

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

($D_{НО}=5870$ мм.).

6. Количество тележек на участке ЕН, рассчитывается по выражению

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

где $D'_{НО}$ - диаметр наружной окружности звездочки ($D'_{НО}=3000$ 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

$$A_2 = \frac{\left(Q_T + \frac{Q_2}{2}\right) \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_2}{D} \cdot \beta =$$
$$= \frac{68866.2 + \frac{38112}{2} \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2.5}{30} \cdot 1.3 = 2000 \text{ Н,}$$

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 ($F=6$ м²);

H - высота спекательного слоя ($H=0.35$ м);

γ - плотность шихты ($\gamma=1.85 \cdot 10^3$ кг/м³).

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

$$A_4 = \frac{Q_T + Q_2 + p \cdot \mu d + 2 \cdot f \cdot n_4}{D} \cdot \beta$$
$$A_4 = \frac{68866.2 + 38112 + 64746 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 5.2}{30} \cdot 1.3 = 81260 \text{ Н,}$$

где

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

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

где

p' - разряджение 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

$$A_5 = \frac{Q_1 + Q_2 \cdot \mu^{d+2} \cdot f \cdot n_5}{D} \cdot \beta$$
$$= \frac{68866.2 + 38112 \cdot 0.01 \cdot 11 + 0.05 \cdot 2 \cdot 2}{30} \cdot 1.3 = 1947 \text{ Н.}$$

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) ;

k - вес пластин гидроуплотнения, приходящихся на одну спекательную тележку ($k = 736$ 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 чугуноу 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

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

где

R_{HO} - радиус приводной звездочки ($R_{HO}=2.935$ м);

$h_{ЦП}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней тележки ($h_{ЦП}=0.27$ 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

$$M_2 = G_T \cdot R_{ПЛ} \cdot \sum_1^n \sin\left(\frac{\pi}{n} \cdot (b - 0.5)\right) =$$

$$= 68.8662 \cdot 3.15 \cdot [\sin(\pi/6 \cdot 0.5) + \sin(\pi/6 \cdot 1.5) + \sin(\pi/6 \cdot 2.5) + \sin(\pi/6 \cdot 3.5) + \sin(\pi/6 \cdot 4.5) + \sin(\pi/6 \cdot 5.5)] =$$

$$= 217 \cdot (\sin 15 + \sin 45 + \sin 75 + \sin 75 + \sin 45 + \sin 15) =$$

$$= 838.6 \text{ кНм.}$$

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

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

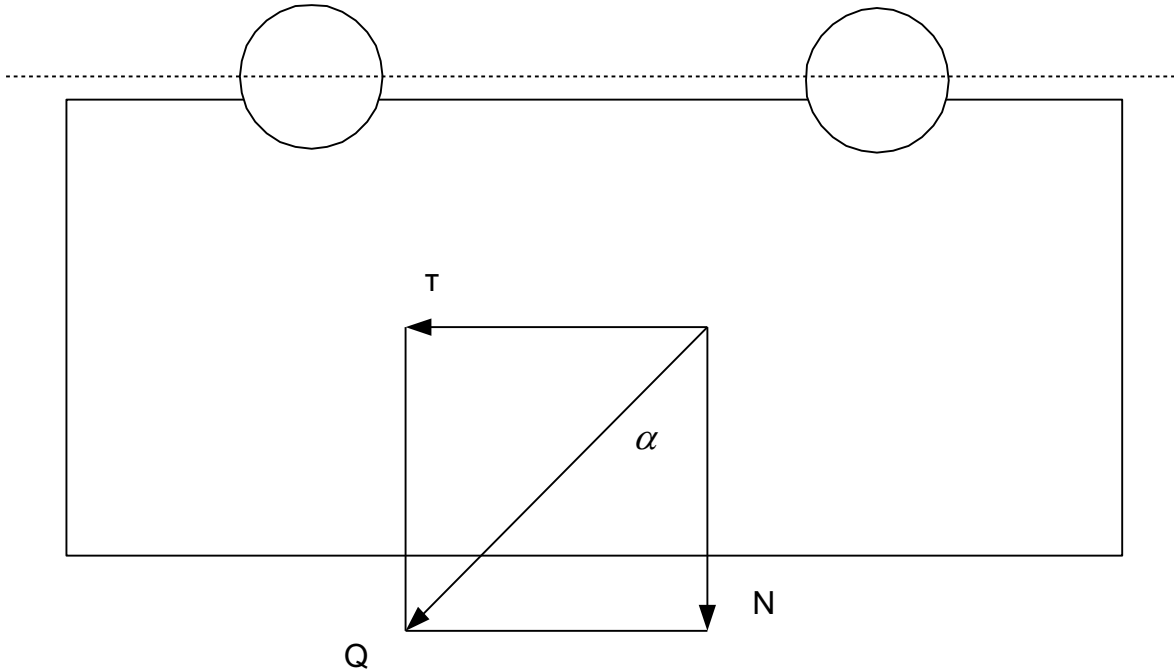


Рисунок 3. Распределение сил, действующих на тележку агломашины.

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'_{op} - радиус оси роликов, определяется по выражению

$$R'_{op} = R'_{но} \cdot \cos 20^{\circ}30' = 1,5 \cdot 0,9333 = 1,4 \text{ м}$$

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

$k_{цт1}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести груженной тележки ($k_{цт1} = 0,44$ м);

$k_{цт2}$ - расстояние от оси роликов до центра тяжести порожней тележки ($k_{цт2} = 0,27$ м).

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

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

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

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

$$M_p = 295,3 + 51,5 = 352,8 \text{ кНм.}$$

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

$$M_{min1} = 106,978805 \cdot 1,84 \cdot \sin 60^{\circ} = 170,5 \text{ кНм;}$$

$$M_{min2} = 68,8662 \cdot 1,67 \cdot \sin 60^{\circ} = 99,6 \text{ кНм;}$$

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

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

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

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

$$P_{\text{тр}} = \frac{\dot{I}_{2\Sigma} \cdot n_{\dot{a}}}{9550 \cdot \eta} \cdot 1,3 = \frac{1250 \cdot 10^3 \cdot 0,372}{9550 \cdot 0,92} \cdot 1,3 = 69 \text{ кВт}$$

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	$U_{\text{лн}}$, В	При номинальной нагрузке			
			n_H , об/мин	I_{1H} , А	η_H , %	$\cos \varphi_H$
75	750	400	738	140	93.3	0.83

$M_{\text{двн}}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	$J, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
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

$$s_{\text{н}} = \frac{n_0 - n_{\text{н}}}{n_0} = \frac{750 - 738}{750} = 0,016.$$

Номинальное фазное напряжение и фазный ток обмотки статора

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

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = 140 \text{ А}$$

– при схеме соединения обмоток Y.

Максимальный пусковой ток двигателя

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

Максимальный (критический) момент на валу двигателя на естественной характеристике

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

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.

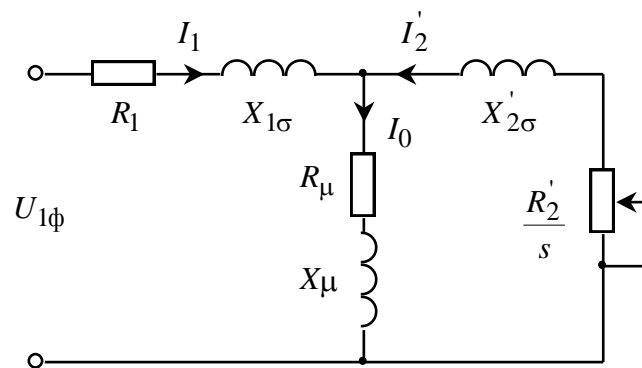


Рисунок 4 – Т – образная схема замещения асинхронного двигателя

Приведённое к обмотке статора сопротивление цепи ротора в номинальном режиме

$$R'_{2н} = \frac{3 \cdot U_{1\phiн}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot c_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,016)}{2 \cdot 2,6 \cdot 75000 \cdot 1,021^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,088} \right)} = 0,028 \text{ Ом,}$$

где

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

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_1 \cdot I_{1н}} = 1 + \frac{35,145}{2 \cdot 5,7 \cdot 146,743} = 1,021$$

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

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

$$= 35,145 \text{ A}$$

– ток холостого хода;

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

– 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

$$X_{кз} = R_2' \cdot \gamma \cdot c_1 = 0,028 \cdot 11,377 \cdot 1,021 = 0,329 \text{ Ом,}$$

где

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

– 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

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

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

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

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания

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

где

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

– 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

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

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 $\omega(M_{эм})$. 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 $f_H = f_{1H} = 50 \text{ Гц}$.

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

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

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

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

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

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

Используя приложение MathCAD 14, рассчитываются и строятся естественные характеристики двигателя $\alpha(M_{эм})$ и $I_1(\omega)$. В процессе расчета механической характеристики находятся расчетные значения критического скольжения s_K , электромагнитного номинального $M_{эмH} = M_{эм}(s_H)$, критического $M_{эмK}(s_K) = M_{эмK}$ 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.

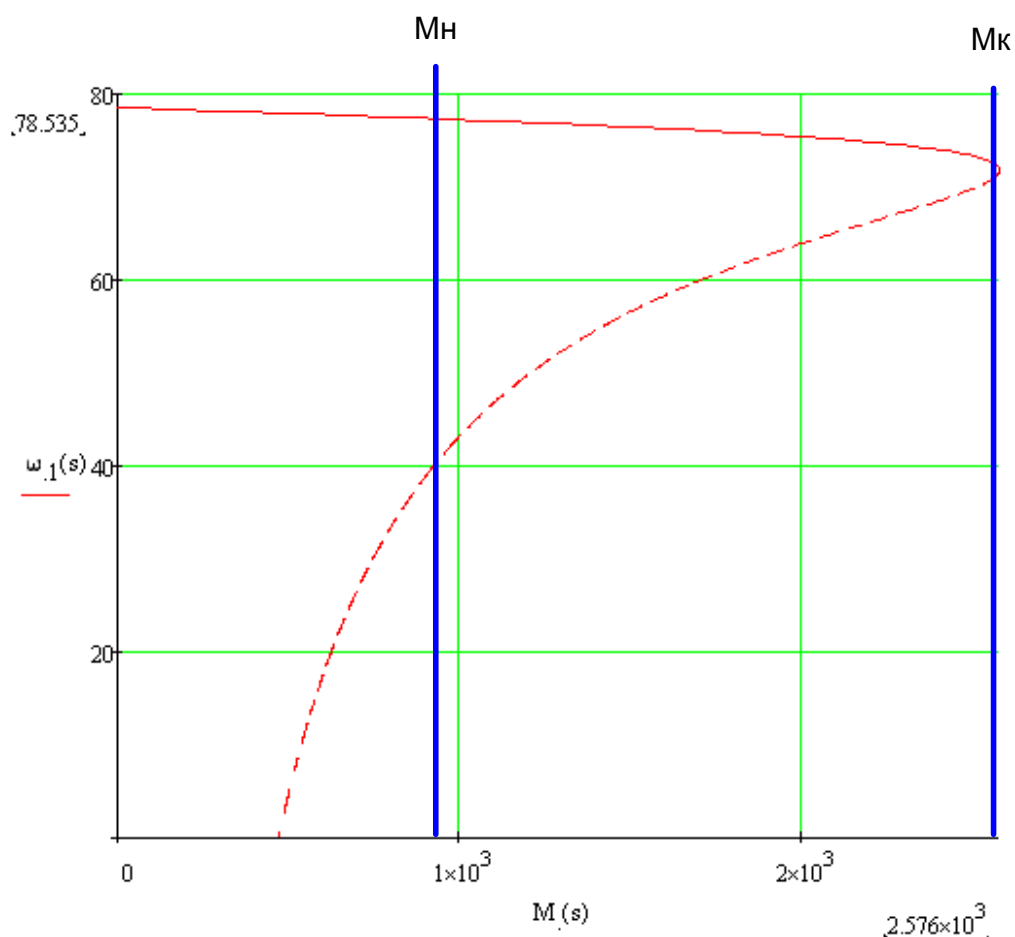


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика двигателя

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

– кратность максимального (критического) момента

$$m_k = \frac{M_{эмк}}{M_{эмн}} = \frac{2576}{980,2} = 2,62;$$

– критическое скольжение

$$s_k = \frac{\omega_0 - \omega_k}{\omega_0} = \frac{78,53 - 71,5}{78,53} = 0,089.$$

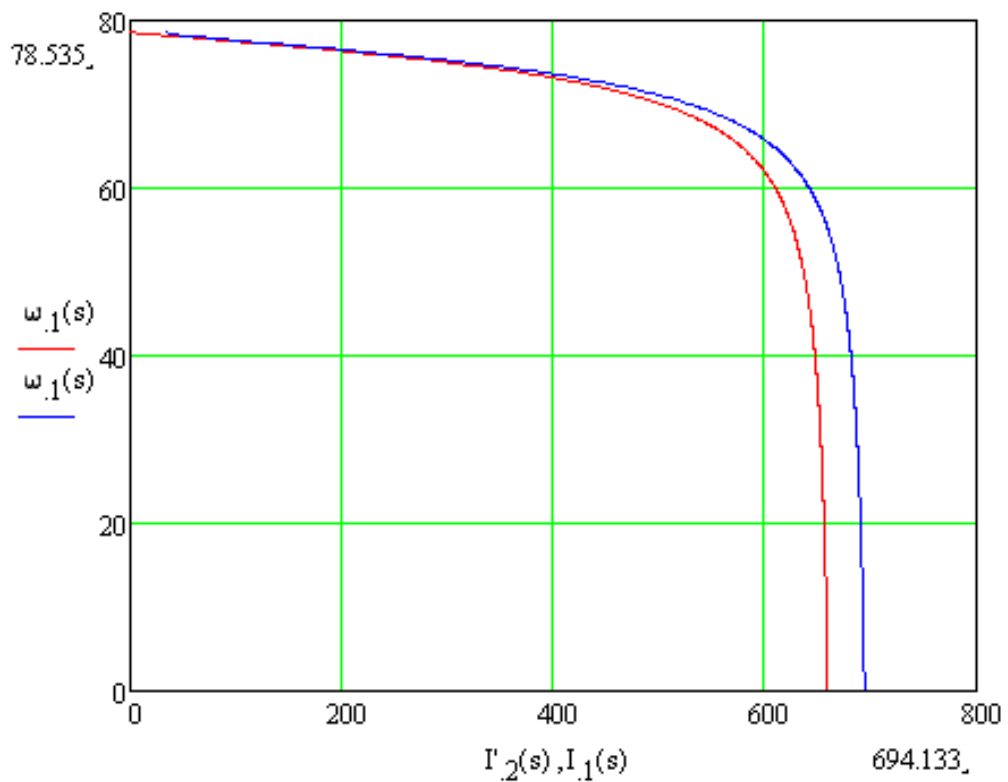


Рисунок 6 – Естественная электромеханическая характеристика двигателя

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 $I_{\text{дв длит доп}} = 129\text{А}$.

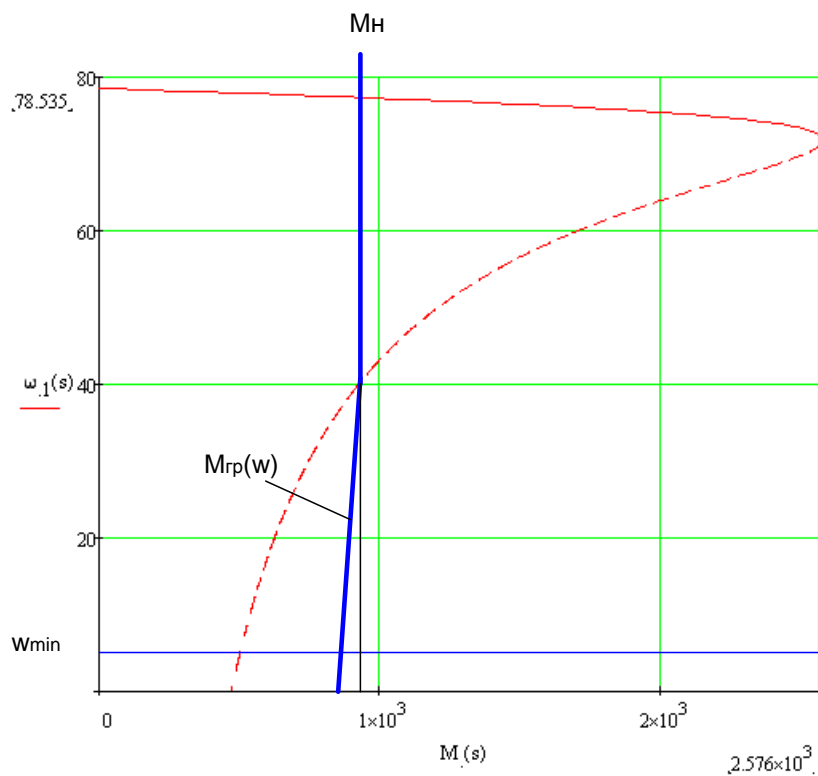


Рисунок 7 – Естественная механическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $M_{ЭМ\text{ длит доп}}(\omega)$ двигателя

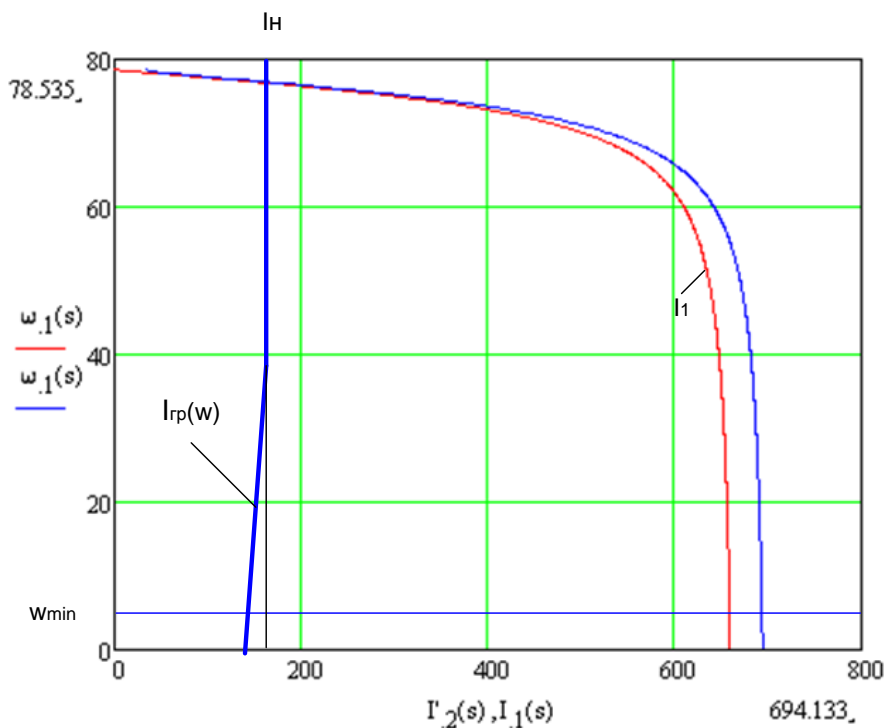


Рисунок 8 – Естественная электромеханическая характеристика и граница области допустимой длительной работы $I_{ДВ\text{ длит доп}}(\omega)$ двигателя

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).

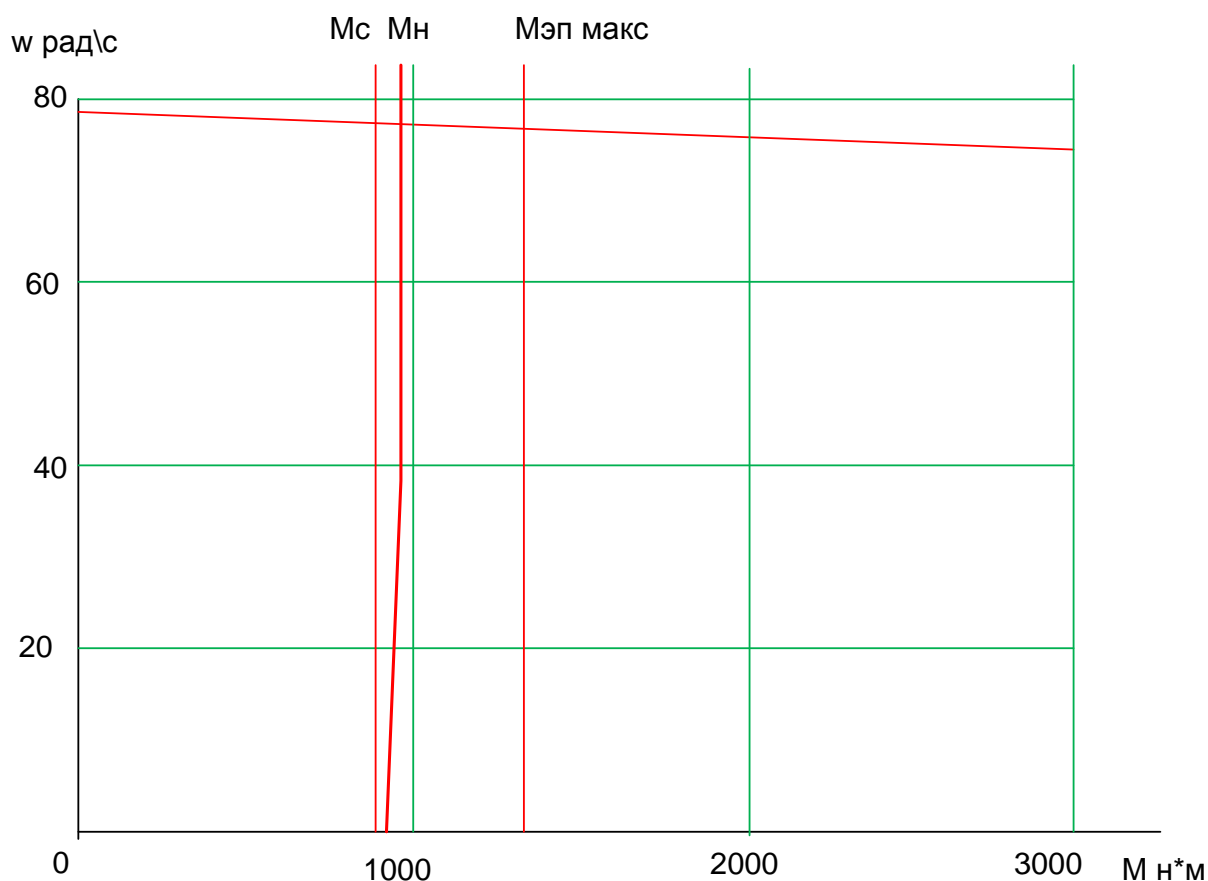


Рисунок 9 – Области работы электропривода в плоскости механических характеристик двигателя

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).

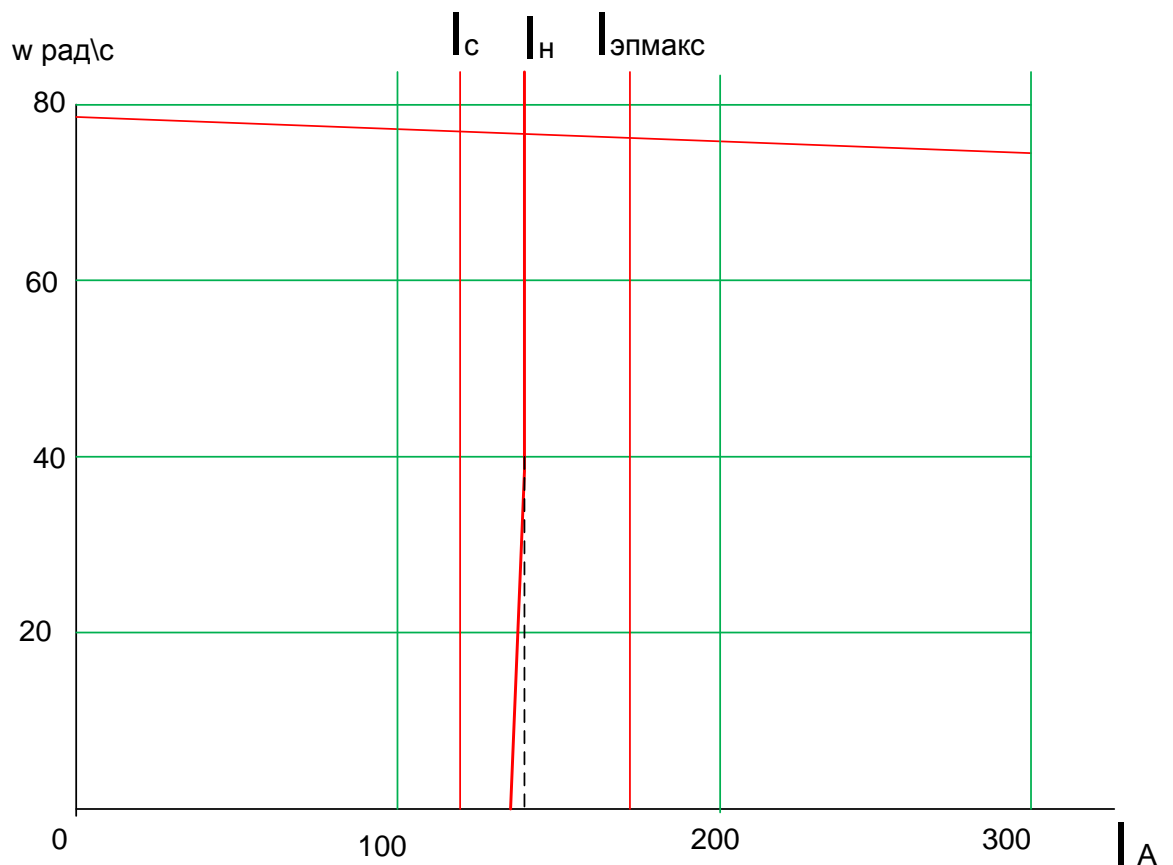


Рисунок 10 – Области работы электропривода в плоскости электромеханических характеристик двигателя

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).

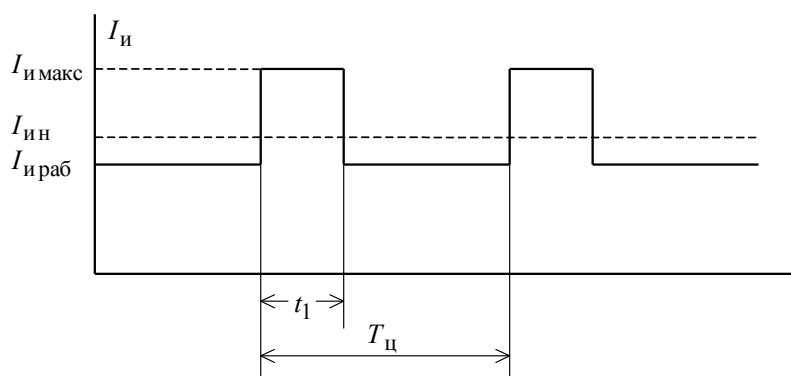


Рисунок 11

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

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

– 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

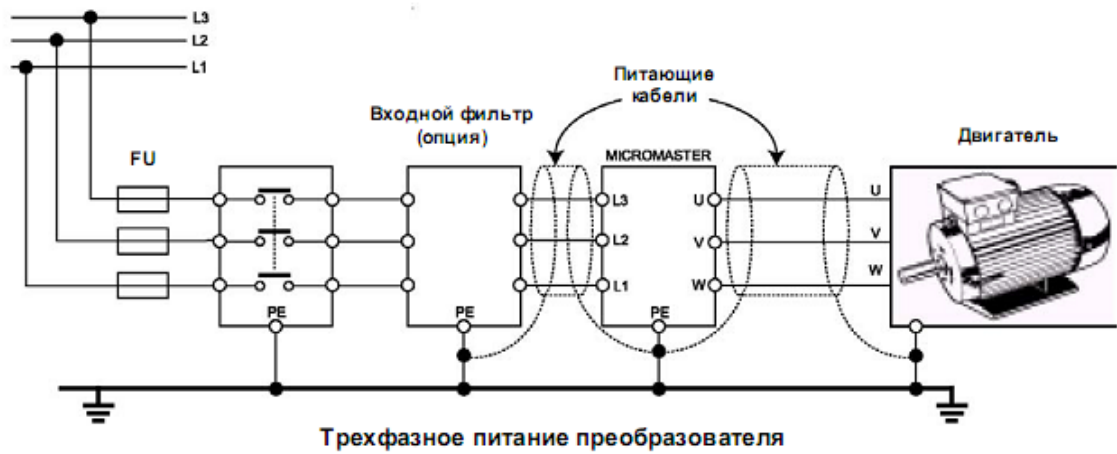


Рисунок 12 Подключение питающей сети и двигателя

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.

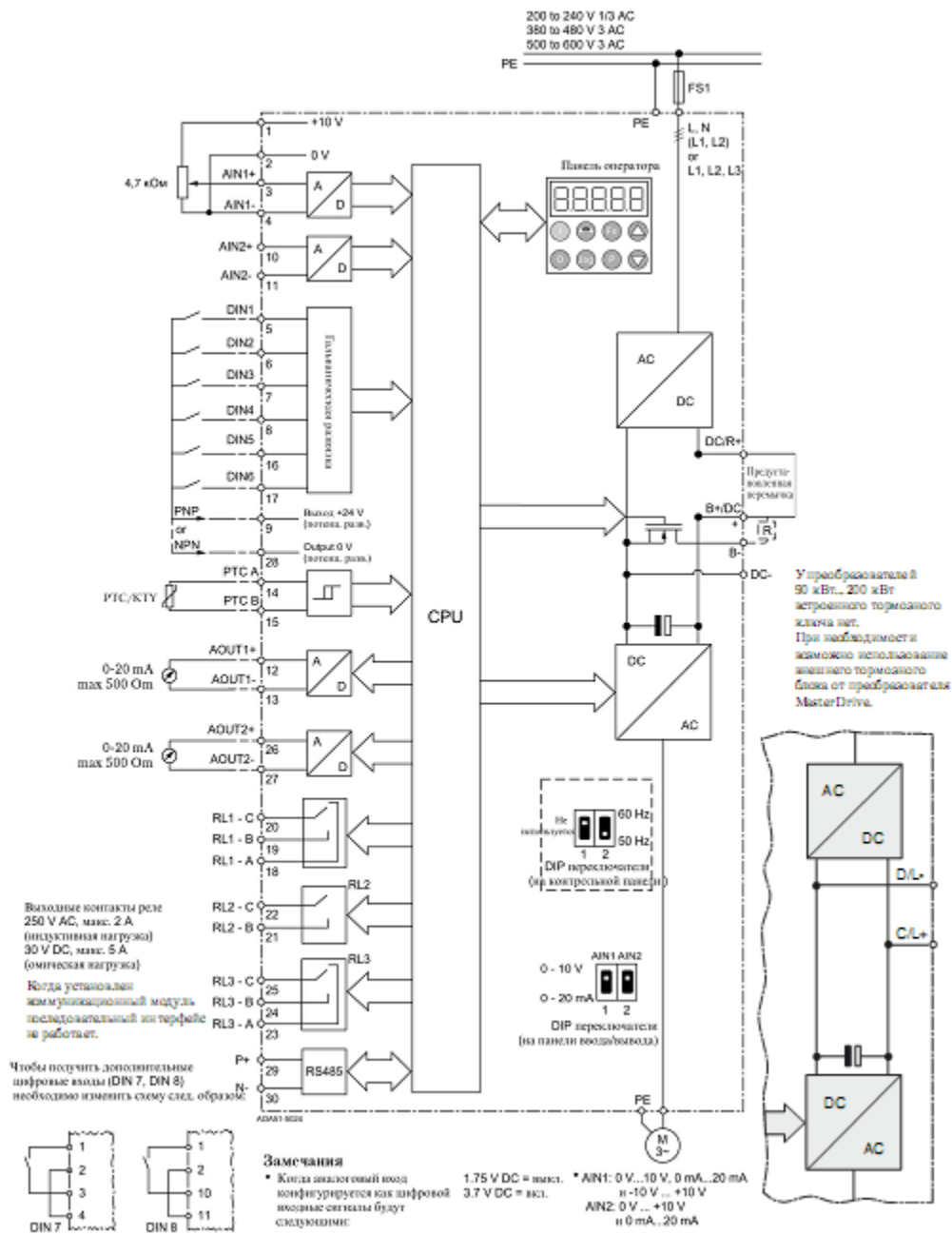


Рисунок 13- Функциональная схема преобразователя.

2.7 Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель

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

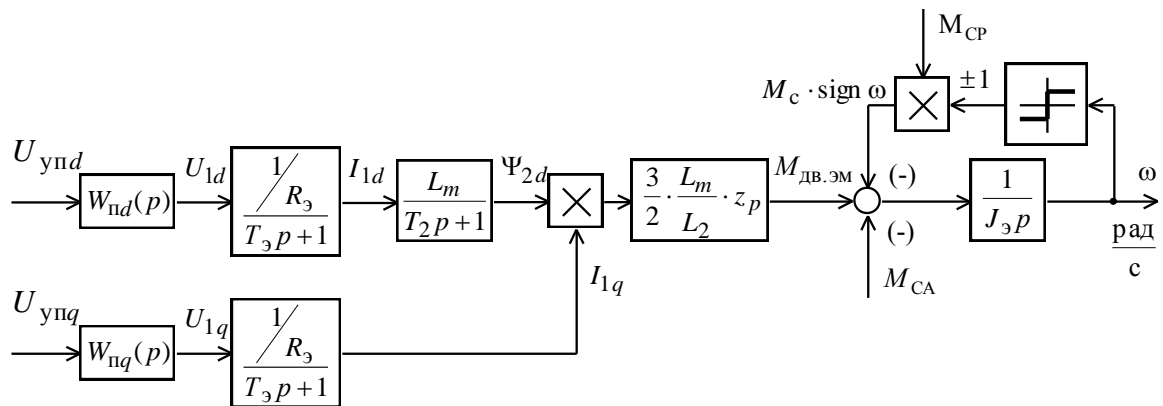


Рисунок 14 – Структурная схема силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель во вращающейся двухфазной системе координат, ориентированной по результирующему вектору потока сцепления ротора и компенсацией внутренних обратных связей

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 обрат-

ных связей контуров регулирования тока, потокосцепления и скорости. Структурная схема силового канала асинхронного частотно-регулируемого электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 15.

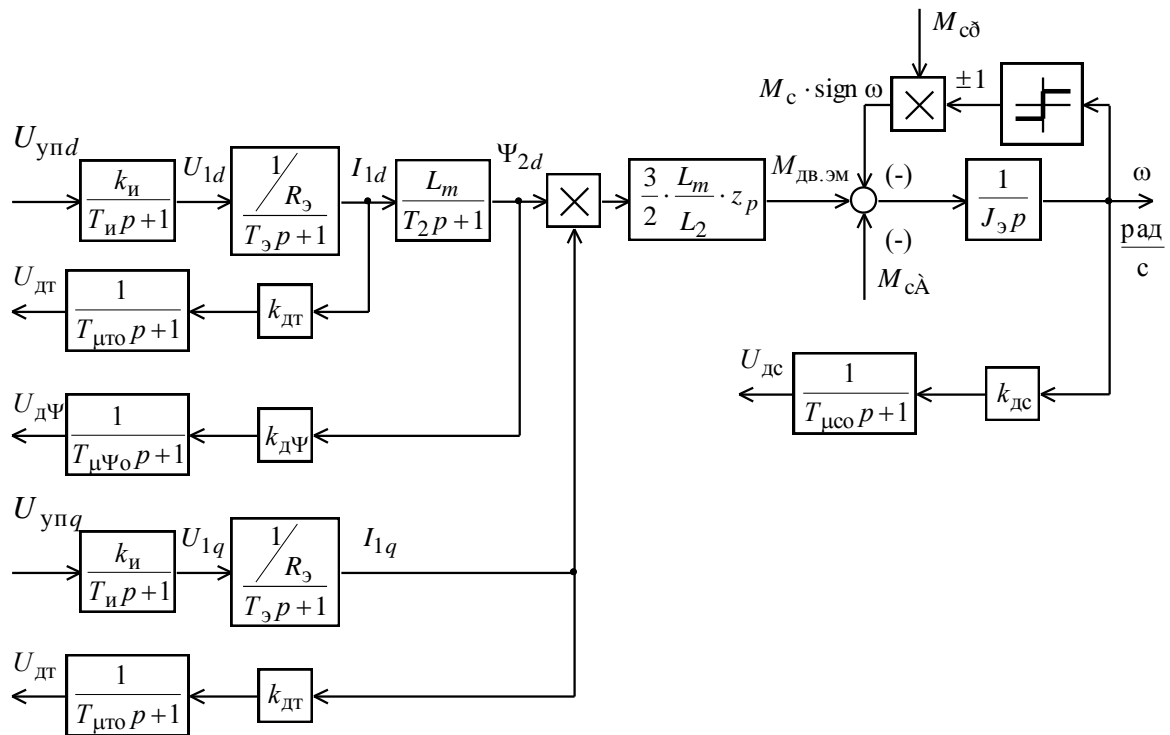


Рисунок 15 – Структурная схема силового канала электропривода подъёмника

2.7.1 Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода

Расчёт параметров преобразователя

Максимальный коэффициент усиления преобразователя

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

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

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

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

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

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,029 + 0,028 \cdot \frac{(18,64 \cdot 10^{-3})^2}{(19,24 \cdot 10^{-3})^2} = 0,0553 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,0535 \cdot 19,08 \cdot 10^{-3}}{0,0553} = 18,5 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

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 линейризованной 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 линейризованной 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.

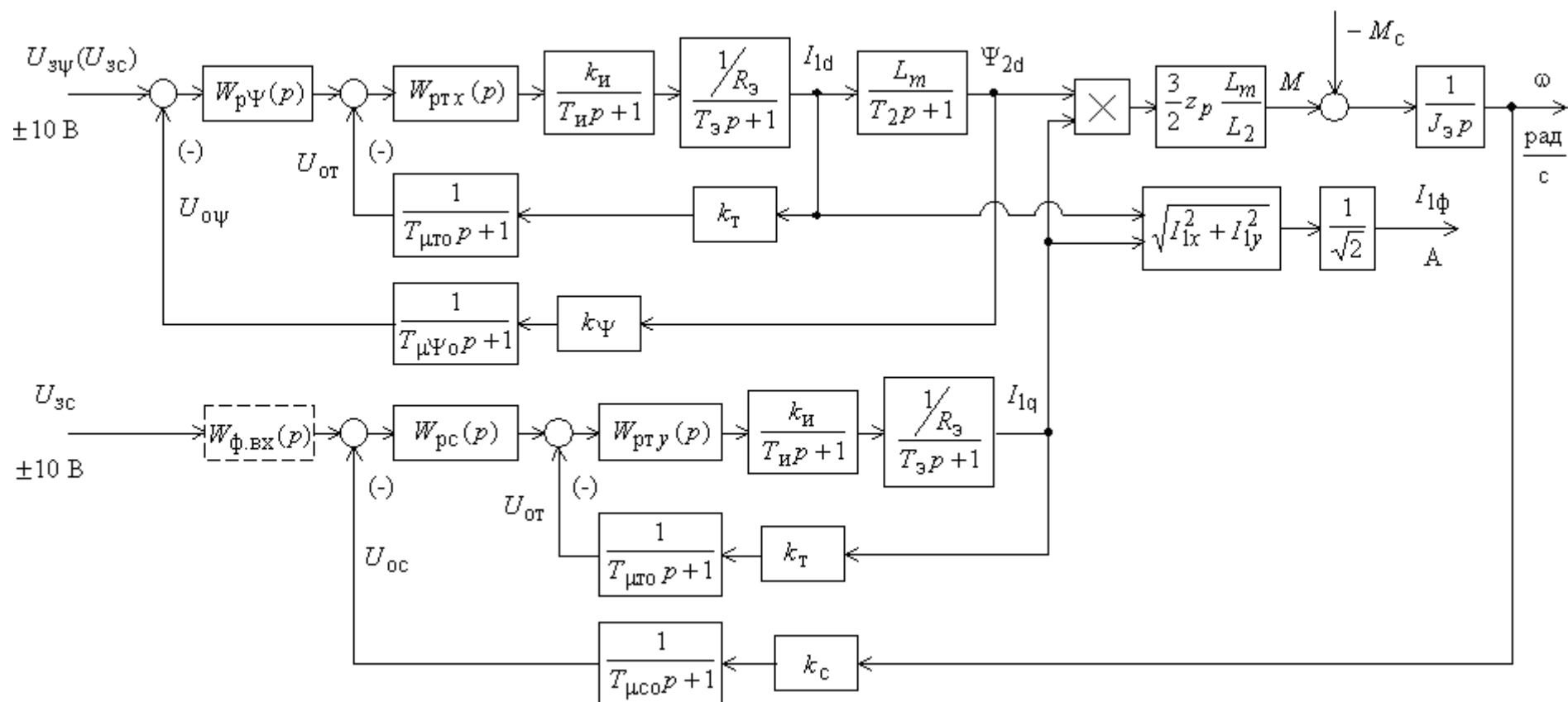


Рисунок 16 – Структурная схема линейризованной САУ электропривода

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

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

– период сглаживания результатов измерения тока;

$n_T = 8$ – количество периодов модуляции для измерения тока.

Малая постоянная времени цепи обратной связи по потокосцеплению

$$T_{\mu_{\Psi_0}} = \frac{T_{\text{с}\Psi}}{3} = \frac{0,0133}{3} = 0,00444 \text{ с},$$

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

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

– 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: $I_{двн} = I_{1фн} = 140 \text{ А}$; $M_{двн} = 971 \text{ Н} \cdot \text{м}$. 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 $I_{1фн} = 140 \text{ А}$ и номинального электромагнитного момента $M_{эмн} = 980,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Решив совместно систему уравнений

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

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

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

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

– максимально допустимое значение тока I_{1q}

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

где $M_{\text{эл макс}} = 1281 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – 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 $T_{\mu\text{тп}} = T_{\text{и}} = 0.0000833 \text{ с}$ и в цепи обратной связи $T_{\mu\text{то}} = 0.00043 \text{ с}$.

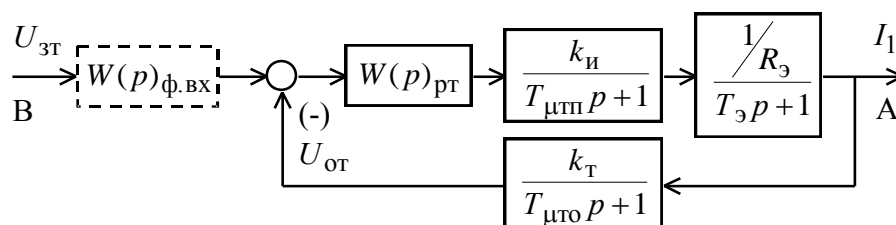


Рисунок 17 – Структурная схема контура тока

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

$$\begin{aligned}
W(p)_{\text{Т зам}} &= \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_{\text{T}} T_{\mu\text{ТП}} T_{\mu\text{ТО}} T_{\mu\text{ТЭ}} p^3 + a_{\text{T}} T_{\mu\text{ТЭ}}^2 p^2 + a_{\text{T}} T_{\mu\text{ТЭ}} p + 1} \approx \\
&\approx \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}} \cdot (T_{\mu\text{ТО}} \cdot p + 1)}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0399} \cdot (0.000444 \cdot p + 1)}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}.
\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
W(p)_{\text{Т зам}} &= \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}}}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТП}} \cdot T_{\mu\text{ТО}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p^3 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} \approx \\
&\approx \frac{\frac{1}{k_{\text{T}}}}{a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{T}} \cdot T_{\mu\text{ТЭ}} \cdot p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0399}}{5.5609^{-7} \cdot p^2 + 1.0546^{-3} \cdot p + 1}.
\end{aligned}$$

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

– статическая ошибка, А,

$$\Delta I_{y \text{ сг}} = 0;$$

– полоса пропускания контура по фазе и модулю

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

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

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

$$t_{\text{py}1}^{(5)} = t_{\text{py}2}^{(5)} \approx 4.1 \cdot T_{\mu\Gamma\text{Э}} = 4.1 \cdot 0.0005273 = 0.002162 \text{ с}.$$

Оптимизация контура потокосцепления

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

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

где

$$T_{\Gamma} = a_{\Gamma} \cdot T_{\mu\Gamma\text{Э}} = 2 \cdot 0.0005273 = 0.0010546 \text{ с}$$

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока.

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 18.

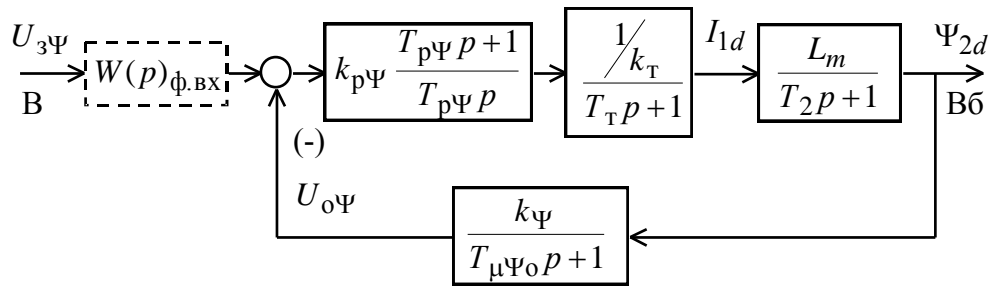


Рисунок 18 – Структурная схема контура потокосцепления

Контур потокосцепления 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 потокосцепления 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 потокосцепления на модульный оптимум:

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

– постоянная времени регулятора потокосцепления;

$$k_{p\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_T}{L_m \cdot k_\Psi} \cdot \frac{1}{a_\Psi \cdot T_{\mu\Psi \delta}} = \frac{0.6871 \cdot 0.0399}{0,01864 \cdot 11,377} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.005495} = 11,76$$

– коэффициент усиления регулятора потокосцепления,

где

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

– 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;

$U_{з\psi \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – 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

$$W(p)_{\psi \text{ зам}} = \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\tau} \cdot T_{\mu\psi_0} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p^3 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{\frac{1}{k_{\psi}} \cdot (T_{\mu\psi_0} \cdot p + 1)}{a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3}^2 \cdot p^2 + a_{\psi} \cdot T_{\mu\psi_3} \cdot p + 1} = \frac{1}{11,377} \cdot \frac{(4,44 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1)}{6,039 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 0,01099 \cdot p + 1},$$

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

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{T_{\mu\psi_3}} = \frac{(0,71 \div 0,9)}{0,005495} = (129,21 \div 163,785) \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

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 обработке ступенчатого управляющего воздействия

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

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = (4.1 \div 2.75) \cdot T_{\mu\Psi\Omega} = (4.1 \div 2.75) \cdot 0.005495 = (0.02253 \div 0.0151) \text{ с.}$$

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

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

где

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

– эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура тока, с.

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 19.

Передаточная функция ПИ-регулятора скорости

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

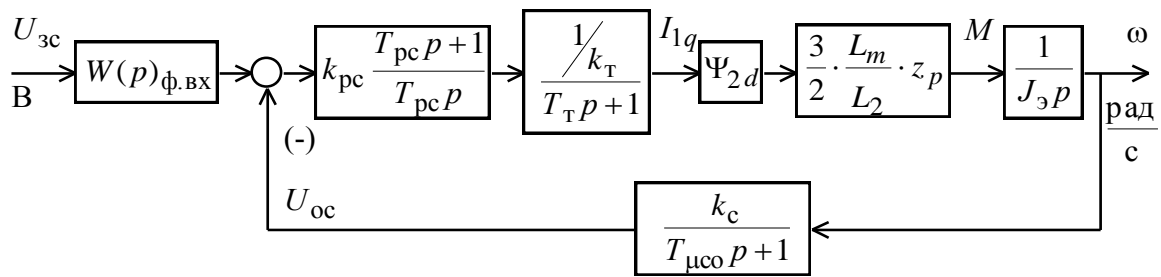


Рисунок 19 – Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости определяются по выражениям:

$$k_{pc} = \frac{(J_{\Delta}) \cdot k_T}{\Psi_{2н} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot k_c} \cdot \frac{1}{a_c \cdot T_{\mu c \Delta}} =$$

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

$$T_{pc} = b_c \cdot a_c \cdot T_{\mu c \Delta} = 2 \cdot 2 \cdot 0,005495 = 0,022 \text{ с},$$

где

$$T_{\mu c \Delta} = T_T + T_{\mu c o} = 0,0010546 + 0,00444 = 0,0054495 \text{ с}$$

– эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура;

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

– коэффициент обратной связи по скорости;

$$\omega_{\text{эл макс}} = 56,35 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \text{ – требуемое максимальное значение скорости электропривода;}$$

тропривода;

$U_{зс \text{ макс}} = 10 \text{ В}$ – 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

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

$$\Delta\omega_{уст} = 0;$$

– скоростная ошибка при линейно изменяющемся входном сигнале

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

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

– полоса пропускания контура по модулю и по фазе

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

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

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

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

$$t_{пу1}^{(5)} \approx 7.0 \cdot T_{\mu cэ} = 7 \cdot 0.005495 = 0.0385 \text{ с};$$

$$t_{пу2}^{(5)} \approx 12.0 \cdot T_{\mu cэ} = 12 \cdot 0.005495 = 0.066 \text{ с}.$$

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 $U_{pc\max} = 10 \text{ В}$;
- 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.

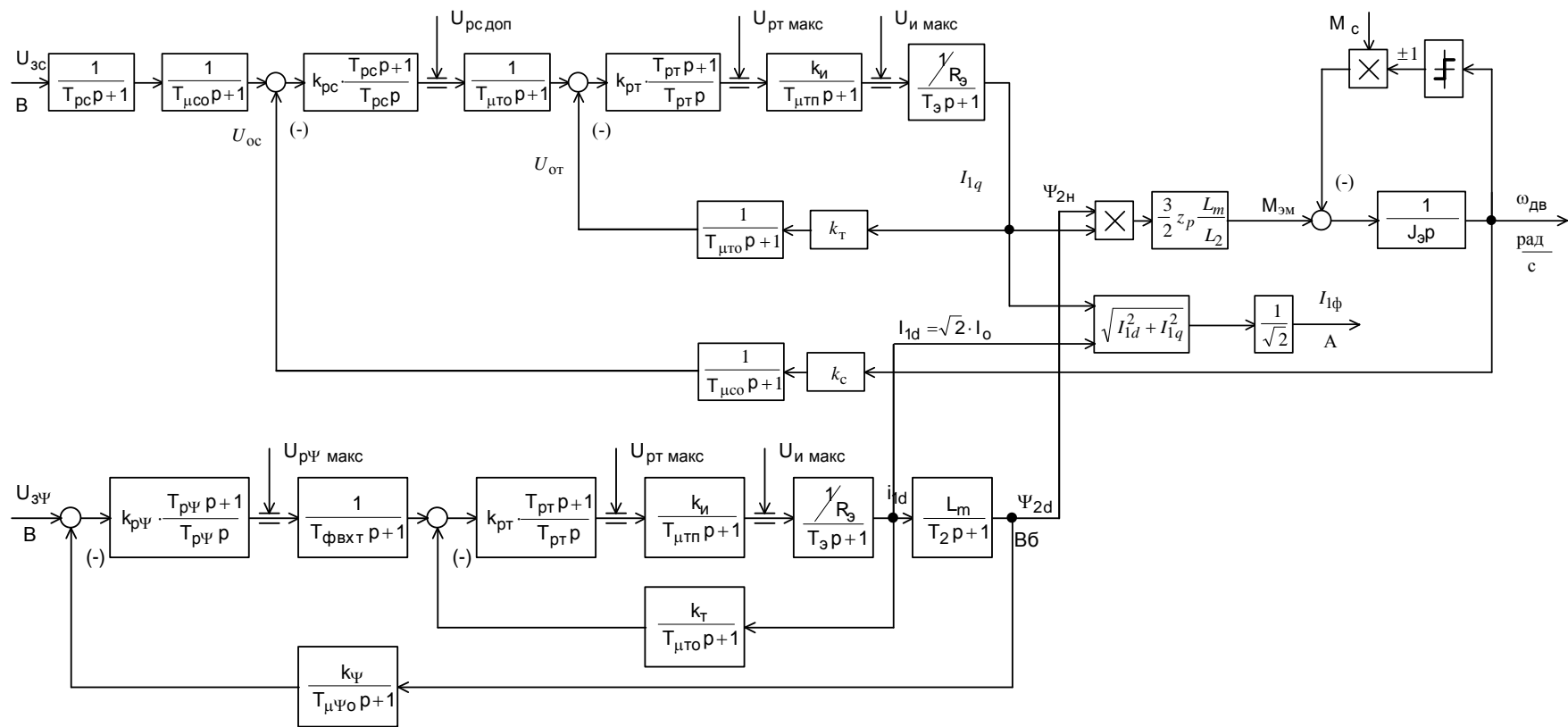


Рисунок 20 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ электропривода агломашины.

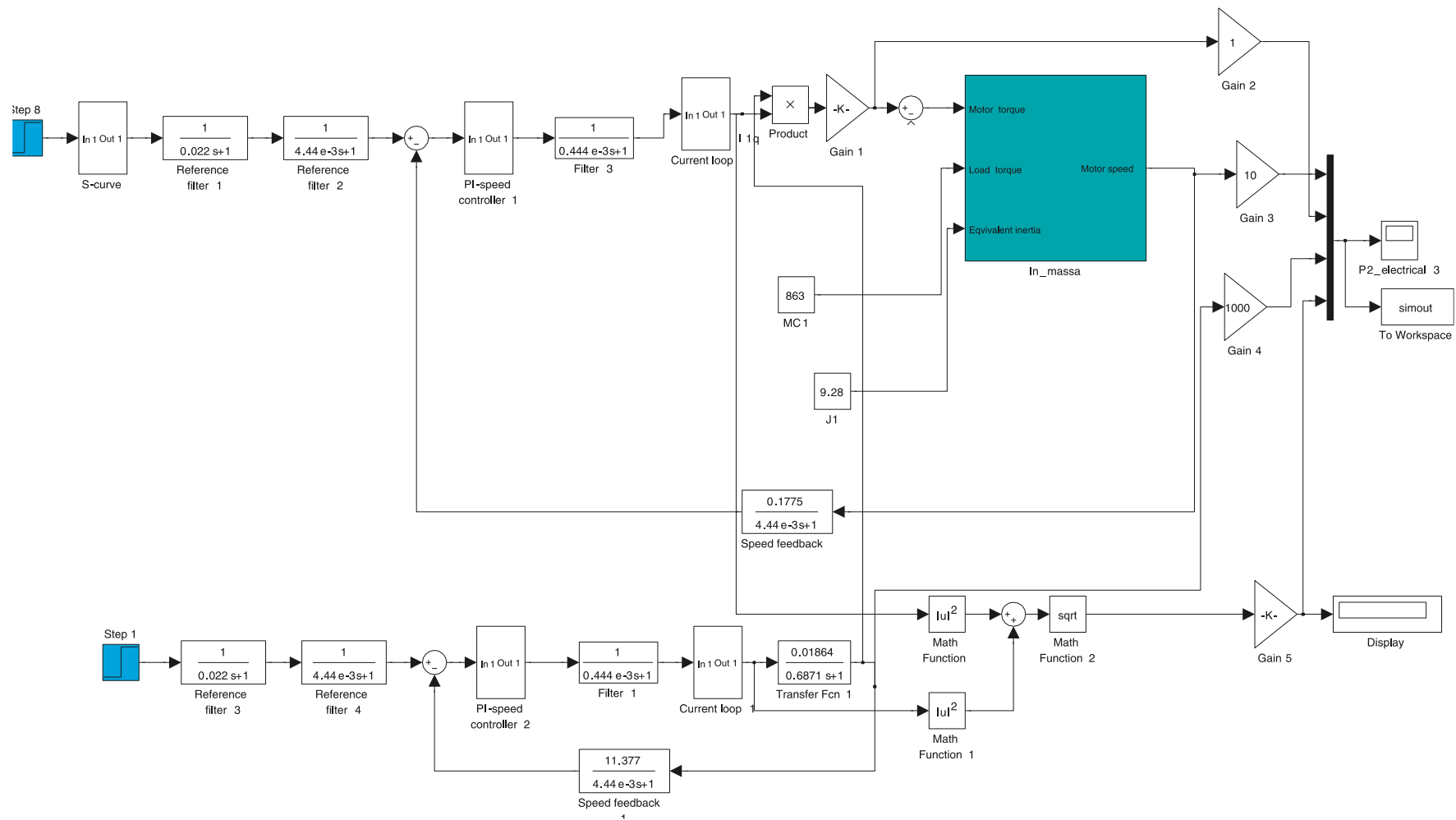


Рисунок 21 – Схема набора имитационной модели электропривода агломашины.

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).

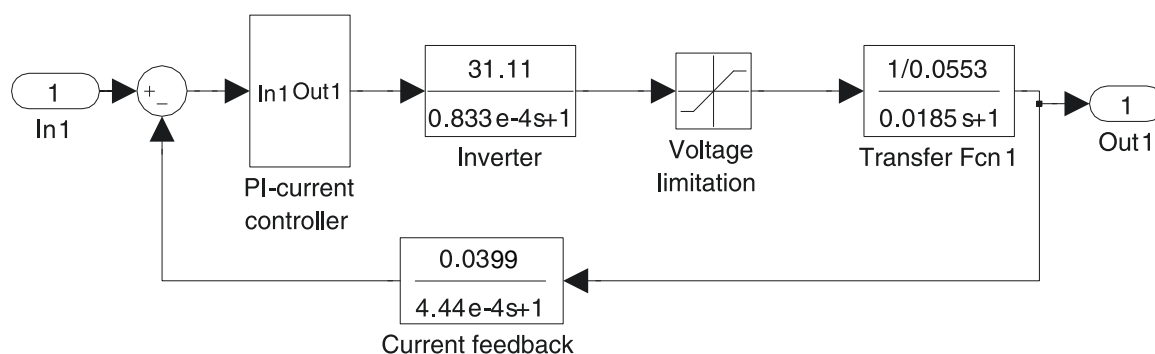


Рисунок 22 – Схема набора имитационной модели контура тока

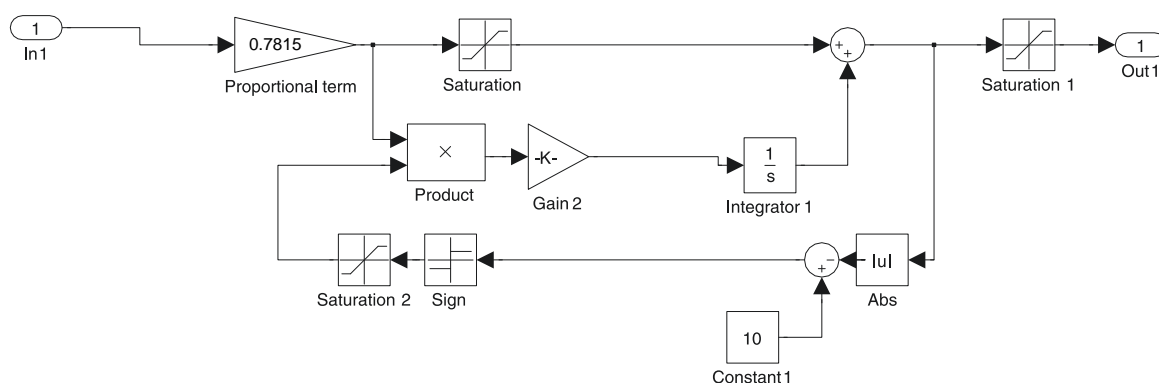


Рисунок 23 – Схема набора имитационной модели регулятора тока

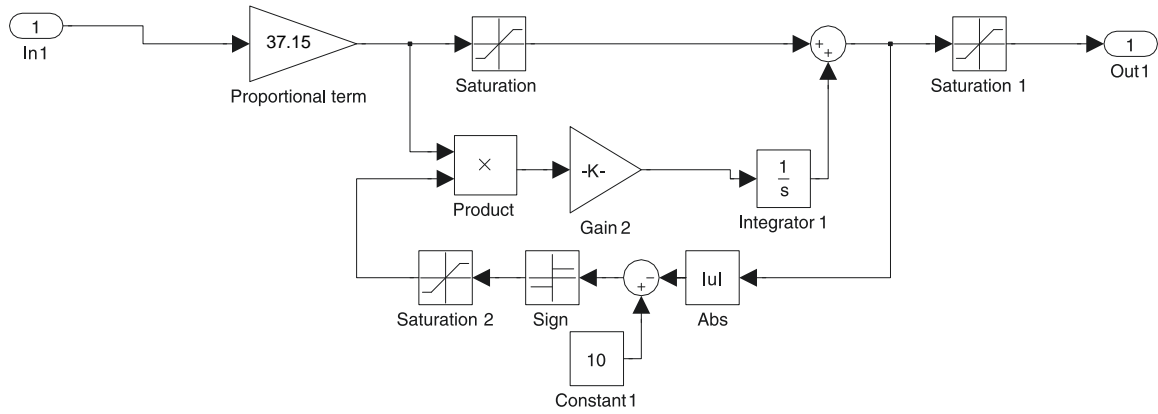


Рисунок 24 – Схема набора имитационной модели регулятора скорости

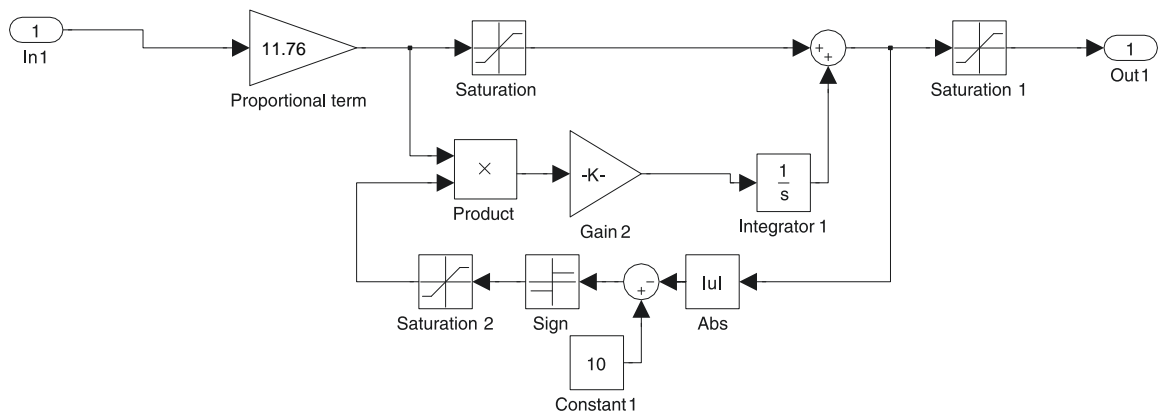


Рисунок 25 – Схема набора имитационной модели регулятора потокосцепления

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	$T_{\phi_{вх\tau}}$, с	$k_{p\tau}$	$T_{p\tau}$, с	k_{τ} , $\frac{В}{А}$	$T_{\mu\tau_0}$, с	$k_{и}$	$T_{\mu\tauп}$, с	R_3 , Ом
10	11,7 6	0.6871	11,377	0.0044 4	0.000444	0.781 5	0.0185	0.039 9	0.00044 4	31.11	0.000083 3	0.055 3

Продолжение таблицы 3

T_3 , с	L_m , Гн	T_2 , с	$\Psi_{2дн}$, Вб	$U_{p\Psi \text{ макс}}$, В	$U_{p\tau \text{ макс}}$, В	$T_{\phi_{вх\tau 1}}$, с	$T_{\phi_{вх\tau 2}}$, 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 , $\frac{В \cdot с}{рад}$	$T_{\mu c_0}$, с	$T_{\phi_{вх\tau}}$, с	$k_{p\tau}$	$T_{p\tau}$, с	k_{τ} , $\frac{В}{А}$	L_2 , Гн	z_p	J_3^* , кг·м ²	$\omega_{\text{макс}}$, $\frac{рад}{с}$	$I_{1q \text{ макс}}$, 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 потока сцепления

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

Структурная схема контура потокосцепления приведена на рисунке 23

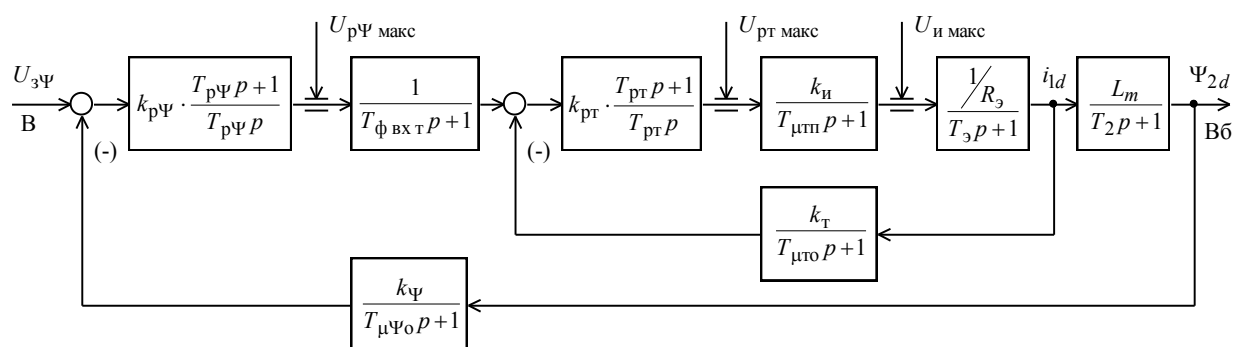


Рисунок 27 – Структурная схема контура регулирования потокосцепления

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

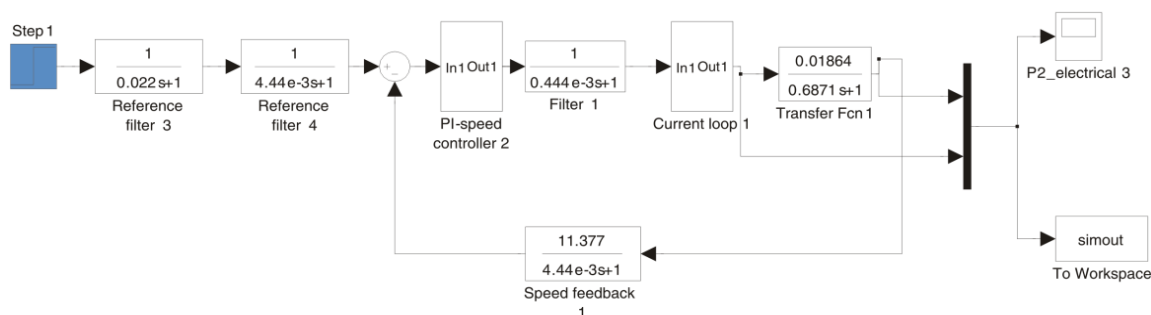


Рисунок 28 – Схема набора имитационной модели контура потокосцепления

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 $\Delta\Psi_{уст} = 0$;
- время достижения значения $0.95 \cdot \Psi_{2d \text{ уст}}$ $t_1^{(5)} \approx 0.115 \text{ с}$.

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 равно $I_{1d \text{ уст}} = 47,16 \text{ А}$.

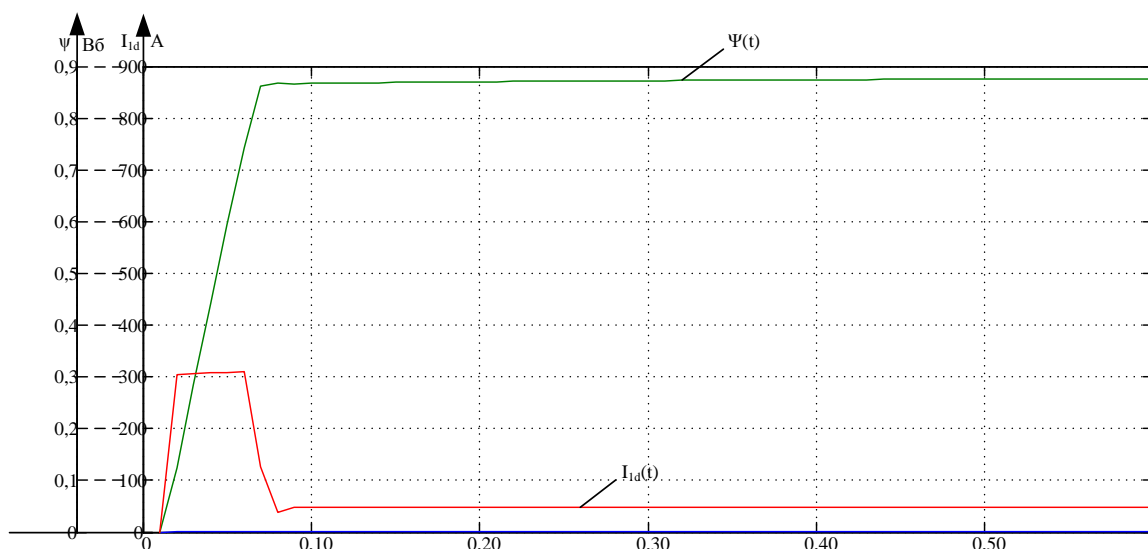


Рисунок 29 – Переходные процессы в контуре потокосцепления при $U_{3\Psi} = 10 \text{ В}$

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.

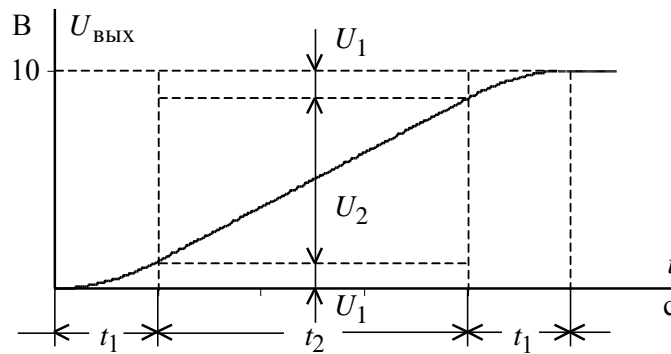


Рисунок 30 – Временная характеристика S-образного задатчика скорости

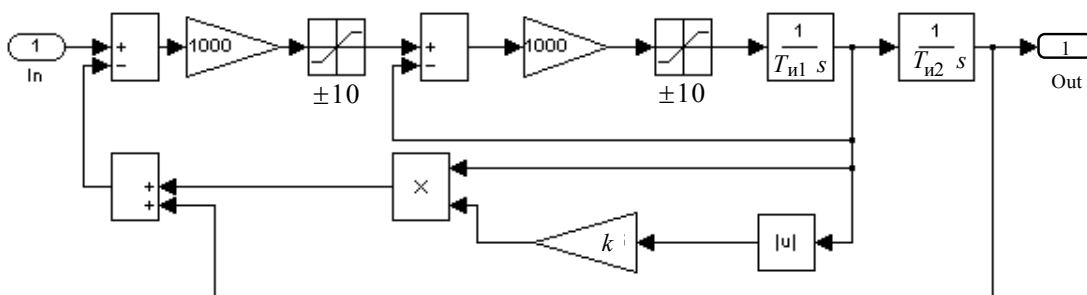


Рисунок 31 – Схема набора имитационной модели задатчика скорости

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:

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

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

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.

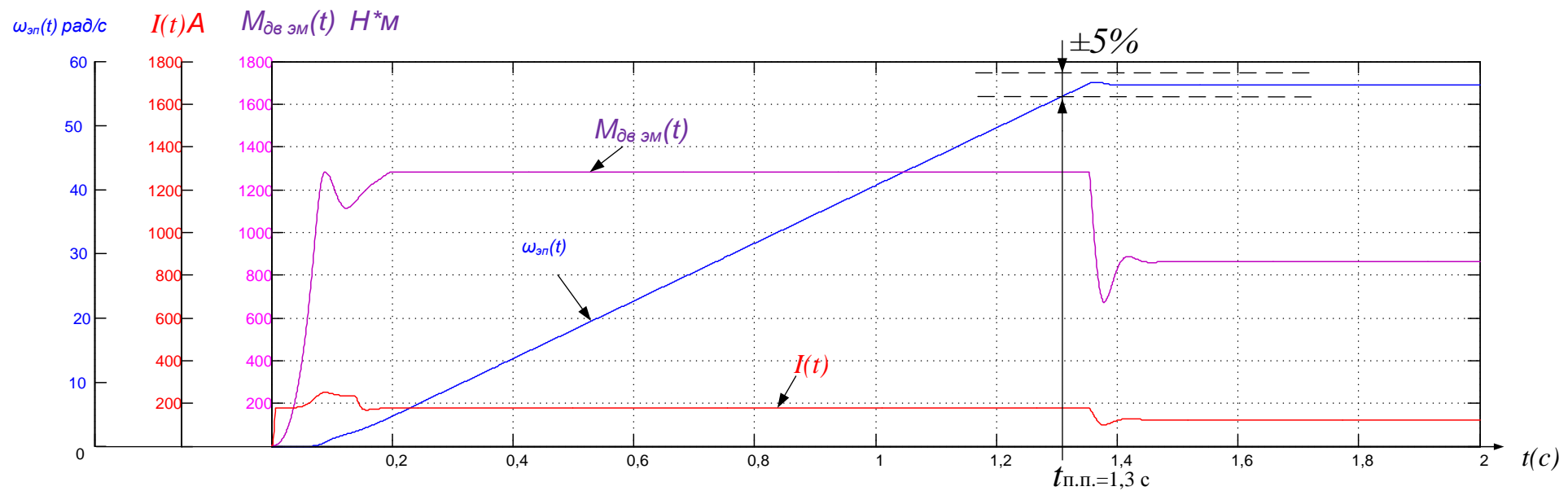


Рисунок 32 – Пуск на максимальную скорость

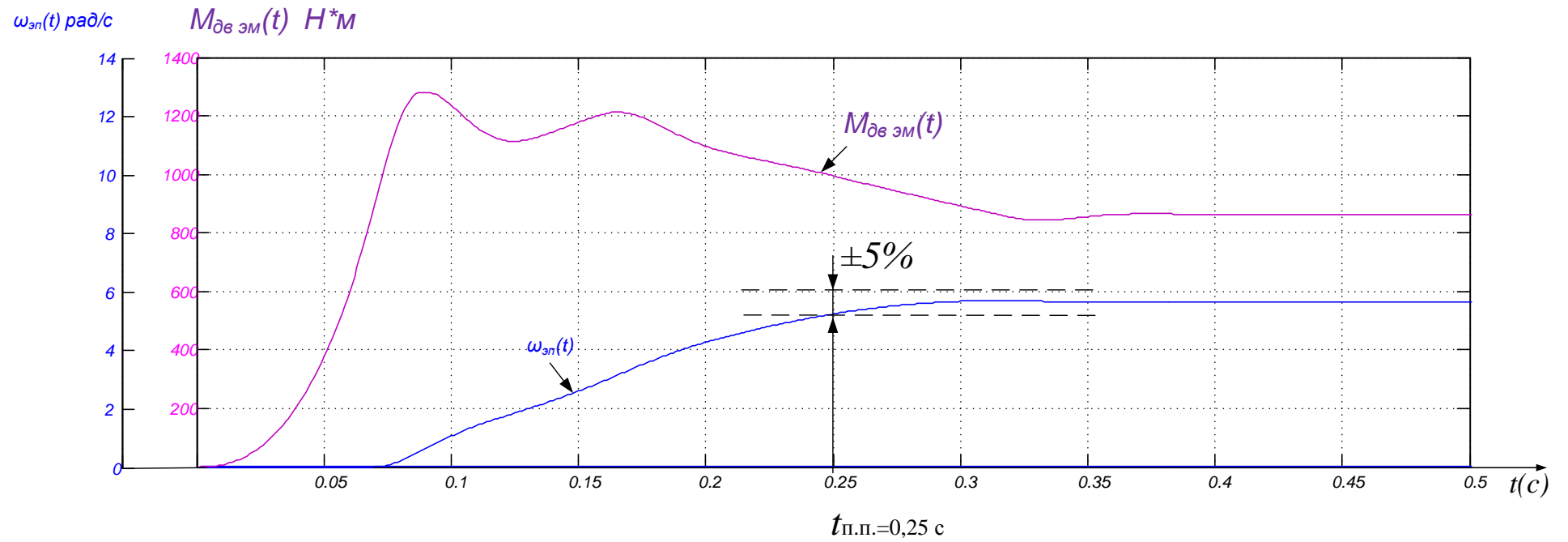


Рисунок 33 – Пуск на минимальную скорость

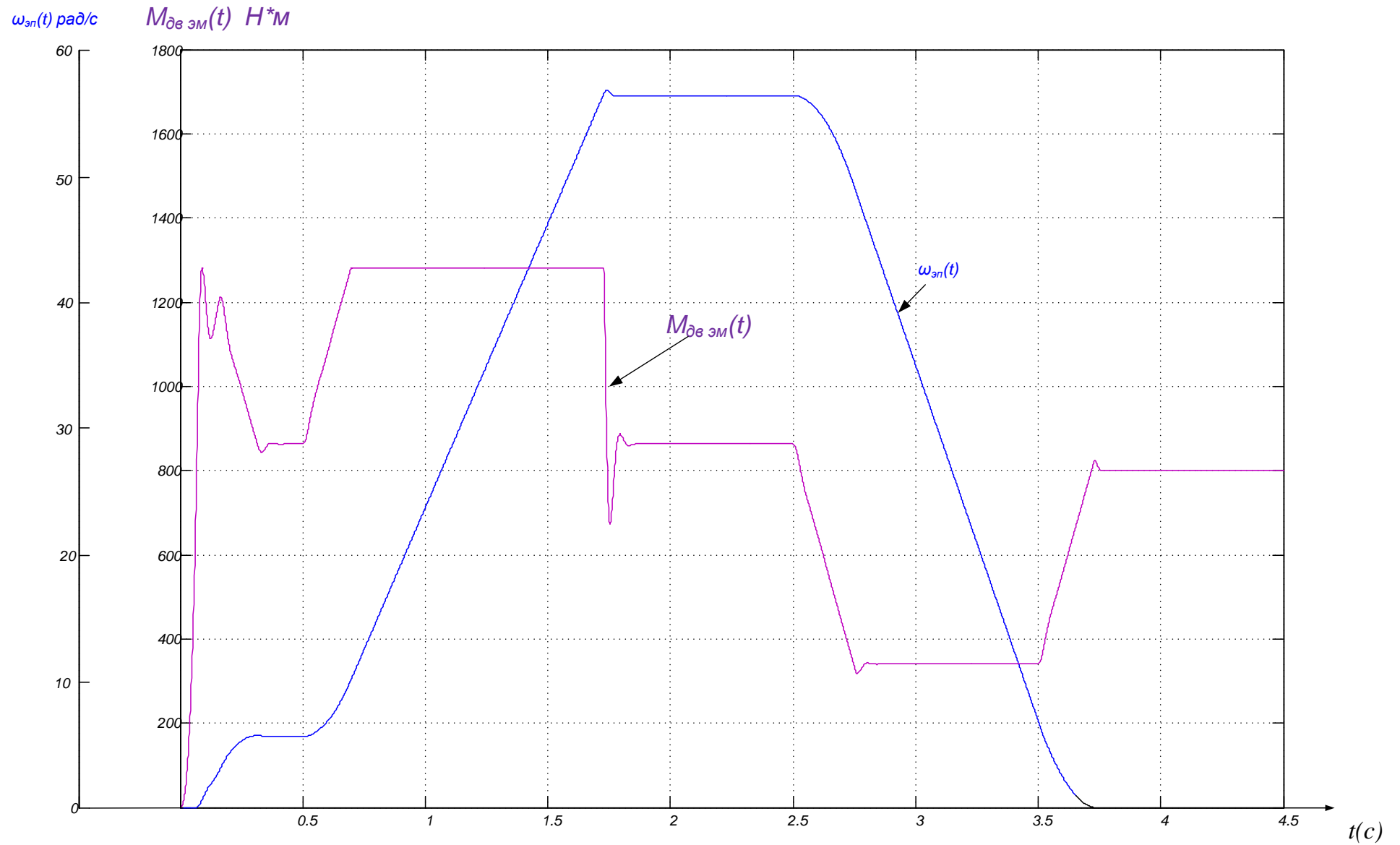


Рисунок 34 – Пуск на минимальную скорость разгон до максимальной, торможение.

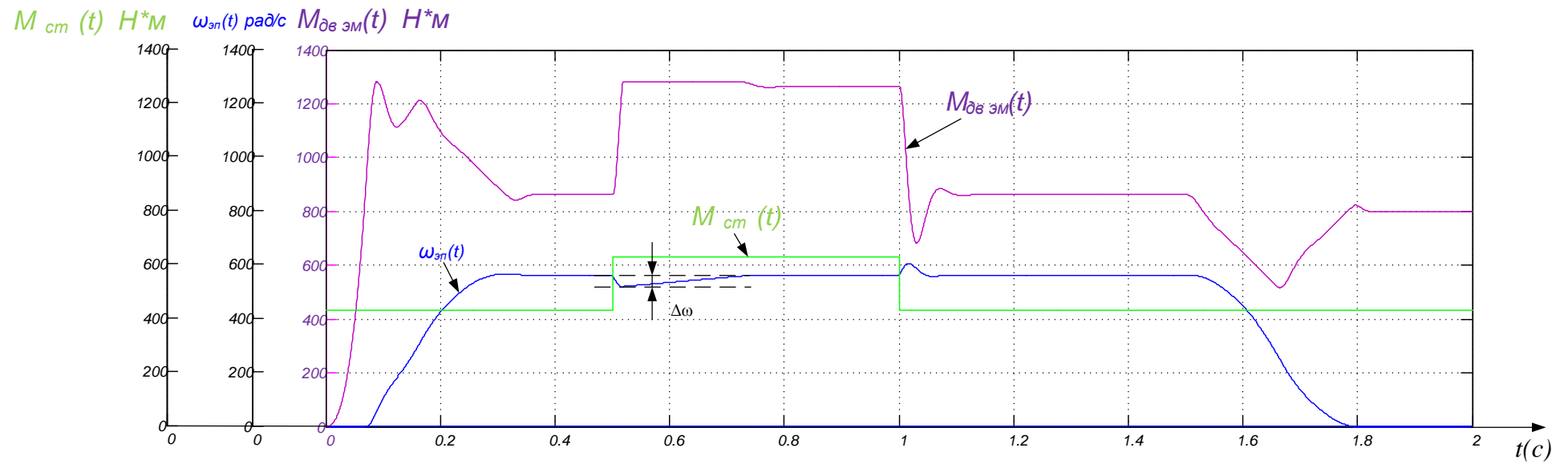


Рисунок 35 – Пуск на минимальную, наброс нагрузки, торможение.

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.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич

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

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p>- Заказчиком проекта является ОАО «Евраз ЗСМК», на проведение пуско-наладочных работ компанией выделено 140 000 рублей, - Общие ограничения по бюджету проекта 300 000 рублей, - В реализации проекта задействованы 3 человека: 1 бригадир (инженер-разработчик), 2 (инженер-наладчика);</p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	<p>- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - Минимальный размер оплаты труда в 2018 году 9489 руб.</p>
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>- Отчисления по страховым взносам - 30% от ФОТ</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i></p>	<p>- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</p>
<p>2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i></p>	<p>- Планирование выполнения проекта, - Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства</p>
<p>3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i></p>	<p>- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования</p>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой дипломного проекта является «электропривод агломашины». Данный проект подходит для агломерационного цеха, а в частности, для работы агломашины, где регулирование скорости осуществляется при помощи релейно-контакторной системы управления на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Не смотря на простоту данного метода, он имеет ряд существенных недостатков: низкую энергетическую эффективность, низкий КПД установки, а также ведет к увеличению механических нагрузок на установку.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

В связи с этим данный проект решает вопрос о модернизации системы управления и электропривода агломашины.

Заказчиком разработки проекта на внедрение частотно-регулируемого электропривода для линии является ОАО «Евраз ЗСМК» г. Новокузнецк.

Целевым рынком сбыта для разрабатываемого устройства являются предприятия металлургической промышленности. Вместе с тем, аналогичные схемные решения отдающего устройства с компенсатором, включенного в технологическую линию, можно использовать в различных отраслях промышленности: кабельной, текстильной, бумажной полиграфической и др.

Проект выполняется по заказу ОАО «Евраз-ЗСМК» г. Новокузнецк.

3.1. Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование.

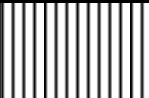

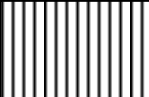
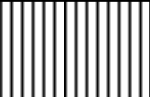

В связи с бурным развитием техники проектные и пуско–наладочные работы проводятся на всех, без исключения, предприятиях, где осуществляется реконструкция или модернизация действующего электрооборудования. Стоимость электрооборудования и его монтаж составляет большой удельный вес в общей стоимости развития предприятия.

Организация и планирование пуско–наладочных работ производятся параллельно с модернизацией производства в соответствии с нормативными актами. Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно–монтажных работ. Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к качеству увеличивают объём ПНР и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения ПНР зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования. Финансирование ПНР осуществляется из ремонтного фонда предприятия, либо цеха. Средства выделяются на основе рассчитываемой калькуляции проведения ПНР.

В данной части выпускной квалификационной работы будут рассмотрены расчет затрат на проектные и пуско–наладочные работы при вводе в эксплуатацию электропривода агломерационной машины.

Сегментировать рынок услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода можно по следующим критериям: изменение в конструкции существующих линий по производству продукции агломерата, длительность эксплуатации оборудования (рисунок 36).

	Изменения в конструкции		
	Настройка суще-	Замена электро-	Замена устройства,

		ствующего электро-привода	привода, их настройка	настройка электро-привода
<i>Длительность эксплуатации, лет</i>	1-5			
	5-10			
	Более 10			

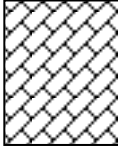
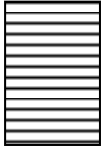
	Ремонтная служба предприятия		Сервисная компания по ремонту производственного оборудования		Фирма - производитель оборудования
---	------------------------------	---	--	---	------------------------------------

Рисунок 36 - Карта сегментирования рынка услуг по разработке и внедрению в производстве электропривода:

На основании условий договора, проект необходимо выполнить за 22 календарных дня с момента подписания договора.

Бюджет на выполнение данного проекта составляет 300 000руб . Реализация и внедрение данного проекта в эксплуатацию, позволит значительно повысить ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

При прохождении испытаний и положительной эффективности данного проекта, экономической и практической выгоде от внедрения данного проекта в цехах агломирата, его коммерческий потенциал возрастает и в дальнейшем может быть реализован на другие производства, где возможно использование данной технологии.

На сегодняшний день данная разработка по внедрению автоматического электропривода асинхронного двигателя с ЧП, является ресурсоэффективной и ресурсосберегающей передовой системой не имеющая аналогов.

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (см. табл.1). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок

При разработке электропривода, разработчик руководствовался следующими соображениями: стоимость двигателя постоянного тока больше чем асинхронного двигателя, затраты на его эксплуатацию больше (в сравнении с асинхронным двигателем). Выпуск двигателей постоянного тока сокращается, электропривод постоянного тока заменяется электроприводом переменного тока. Решено использовать электропривод переменного тока с частотным регулированием.

Рассматривалось три варианта исполнения:

1. Преобразователь частоты (далее ПЧ) немецкой фирмы Siemens A1000 модель 2A0040, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90.
2. ПЧ немецкой фирмы «BOSH» модель E3-9100, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90. Для связи с контроллером линии необходим дополнительный модуль связи. На разработку устройства и его программирование заложим в стоимость оборудования ориентировочно 40 000 руб.
3. ПЧ шведско-швейцарской фирмы ABB модель ACS880-01-031A-2, двигатель фирмы ABB модель M3BP 160 MLA мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор ABB 1SDA 073732R1. Не комплектуется модулем связи, необходимо приобрести устройство отдельно.

Таблица 4 - Стоимость комплекта.

Наименование ком-	Вариант исполнения		
	1	2	3

плектующих	марка	стоимость	марка	стоимость	марка	стоимость
ПЧ	Siemens A1000	48550	Bosh E3-9100	42085	ABBACS880	53590
Редуктор	F41 3 H40 P90	38320	F41 3 H40 P90	24895	ABB 1SDA 073732R1	38320
Двигатель	4A132M6	20860	4A132M6	20860	ABB M3BP 160 MLA	32150
Коммут. аппаратура	комплект	15180	комплект	15180	комплект	15180
Модуль связи	интегрирован	0	разрабатывается отдельно	40000	приобретается отдельно	12500
Сумма за комплект		122 910		143 020		151 740

Производим выбор варианта (комплекта) с использованием метода экспертных оценок.

Для проведения оценки выбраны следующие показатели: техническая производительность, помехозащищенность, точность, плавность протекания процессов, степень стандартизации и унификации, удобство управления, шум при работе и экономические – капитальные вложения, затраты на эксплуатацию, надежность.

По выбранным критериям с помощью экспертов необходимо присвоить коэффициент весомости, отражение их важности.

По каждому критерию необходимо установить оценку степени обеспечения (таблица 5):

Таблица 5 - Оценка степени обеспечения

Цели	низкий	средний	высокий (выше средней)
Уровень цели Оценка обеспечения цели	1.0	0.5	0

Таблица 6 - Сравнительная характеристика электроприводов

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	примечание
-----------------	--------------	-------	------------

	терия	1	2	3	
1	2	3	4	5	4
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Производительность	1	0	0	0	равная у всех комплектов
2. Помехозащищенность	0,5	0	0,5	0	
3. Точность	0,5	0	0	0	у 3-го комплекта точность выше, но у всех комплектов достаточная
4. Плавность протекания процессов	0,5	0	0	0	
5. Удобство встройки	0,2	0	0,5	0	дополнительные затраты на модуль связи
6. Степень стандартизации унификации	0,3	0	1	0,5	2-й комплект - модуль связи, 3-й двигатель больших размеров
7. Удобство управления	0,5	0	0,5	0	
8. Шум при работе	0,1	0,5	0,5	0	3-й комплект имеет лучшие показатели, т.к. ПЧ и АД одного производителя
Экономические критерии оценки эффективности					
9. Капитальные вложения	1	0	0,5	0,5	
10. Затраты на эксплуатацию	0,8	0	0	0	
11. Надежность	0,8	0	0,5	0	надежность 2-го комплекта ниже, т.к. модуль связи произведен штучно, а не серийно
Итого		0,05	1,85	0,65	

В результате сравнения и оценки критериев выбран первый вариант исполнения, т.к. у него оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта. Далее расчеты производятся для комплекта оборудования с ПЧ фирмы Siemens.

3.2 Планирование комплекса работ на создание проекта

Комплекс работ по созданию проекта включает в себя:

- проектировка электропривода;
- пуско-наладочные работы электропривода.

Проект электропривода будут разрабатывать: руководитель проекта и инженер-разработчик.

Пуско-наладочные работы будут осуществлять руководитель и бригада электромонтеров, один из которых будет выполнять обязанности бригадира.

Планирование необходимо для обеспечения оптимального ведения работ, уменьшение затрат, увеличение производительности труда.

3.2.1. Планирование научно-исследовательских работ

Этапы и содержание НИР сведены в таблицу 7.

Трудоемкость характеризуется количеством живого труда, затраченного на изготовление какой либо продукции. Все этапы работы и значения трудоемкости занесены в календарный план-график, таблица 8.

Таблица 7 - Этапы и содержание проекта

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Разработка технического задания	1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
2. Изучение документации	2.1.	Изучение технической документации	Инженер
3. Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	3.1.	Расчет мощности двигателя	Инженер
	3.2.	Расчет момента инерции	Инженер
	3.3.	Выбор преобразователя частоты	Инженер
	3.4.	Расчет параметров элементов структурной схемы силового канала. Оптимизация контуров	Инженер
	3.5.	Разработка электрической схемы привода.	Инженер
	3.6.	Анализ результатов	Руководитель, инженер
4. Моделирование работы привода	4.1.	Разработка программы исследований модели	Руководитель, инженер
	4.2.	Создание имитационной модели в среде Simulink программы Matlab	Инженер
	4.3.	Исследование нелинейной САУ СЭП асинхронного привода с векторным управлением	Инженер
	4.4.	Исследование нелинейной САУ СЭП в заданных режимах работы	Инженер
	4.5.	Исследование двухмассовой системы САУ СЭП	Инженер
5. Обобщение и оценка результатов.	5.1	Оценка результатов. Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, инженер

Таблица 8 - Календарный план-график НИР

Этап	Название	Исполнитель	t-емкость, дней		апрель															май																			
			рабочие	клендарные	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1	16																																		
		Инженер																																					
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель																																					
		Инженер	3	5																																			
3	Расчет параметров, выбор двигателя и ПЧ	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	11	15																																			
4	Моделирование работы привода	Руководитель	1	1																																			
		Инженер	6	11																																			
5	Обобщение и оценка результатов	Руководитель	3	3																																			
		Инженер	3	3																																			

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней.

3.2.2. Планирование пуско-наладочных работ

Пуско-наладочные работы являются завершающим звеном производства линии, обеспечивающие ввод в эксплуатацию объект. Ниже рассмотрены основные этапы проведения ПНР на линии. Работы выполняются высококвалифицированными специалистами и рабочими по заранее разработанным и согласованным программам. Электротехнические ПНР, согласно [1], должны обеспечивать проверку и испытание электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя оборудования и другими нормативными документами, а также получение заданных проектом электромеханических параметров работы оборудования.

Результат проверок, снятие характеристик аппаратуры, испытания и других работ, входящих в комплекс наладки электроустановок, оформляются в виде протоколов установленной формы, которые прикладываются к акту сдачи объекта в эксплуатацию.

Проведению ПНР в короткие сроки и с высоким качеством в значительной степени способствуют подготовительные мероприятия:

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

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

Цены на проведение ПНР определены, исходя из сложности выпускаемой промышленностью продукции, в соответствии с требованиями 3 части СНиП "Организация, производство и приём работ".

При составлении смет или расчёте на выполнение работ, когда договором предусматривается промежуточная оплата, следует руководствоваться структурой ПНР, приведённой в таблице 9.

Таблица 9 - Структура ПНР

№	Состав работы	Стоимость ПНР (%) от общей сметной стоимости
1	Подготовительные работы	10
2	Наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний технологического оборудования	40
3	Наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	30
4	Комплексное опробование	15
5	Оформление отчётной и приемно-сдаточной документации	5

Ценами учтены затраты на следующие работы:

1. Подготовительные работы - организаторскую и инженерную подготовку работ; изучение электротехнической части проекта и ознакомление с технической документацией; получение от заказчика согласованных установок устройств защиты и автоматики; подготовку парка приборов, а также программ наладки и комплекта протоколов.

2. Внешний осмотр электрооборудования на соответствие проекту; проверку и настройку отдельных элементов и функциональных групп; сборку испытательных схем; проверку параметров и снятие характеристик отдельных устройств; измерение сопротивления изоляции; проверку соединения обмоток; регулировку релейной аппаратуры.

3. Наладку электрооборудования под напряжением, включая силовые цепи; снятие и получение необходимых характеристик, сопоставление их с расчётными данными проекта; испытание и наладку оборудования вхолостую и под нагрузкой совместно с технологическим оборудованием.

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

Составление в одном экземпляре протоколов ПНР и испытаний; внесение в протокол схем, которые были изменены в процессе работы.

Таблица 10 - Этапы и содержание ПНР

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
1. Подготовительный этап	1.1.	Ознакомление с проектом, выявление неточностей. Составление рабочего графика проведения ПНР.	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков
	1.2.	Подготовка аппаратуры и инструмента;	Бригада наладчиков
	1.3.	Внешний осмотр электрооборудования и проверка готовности;	Бригада наладчиков
	1.4.	Определение соответствия техническим характеристикам;	Бригада наладчиков
	1.5.	Составление рабочей программы испытаний и наладки с учетом особенностей объекта.	Бригада наладчиков

Таблица 10 - Продолжение

2. Проверочные работы:	2.1.	Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие к рабочим чертежам проекта	Бригада наладчиков
	2.2.	Проверка установленной аппаратуры, градуировка и снятие в необходимых случаях характеристик	Бригада наладчиков
	2.3.	Проверка правильности выполнения схем	Бригада наладчиков
	2.4.	Проверка работы электрических систем, блокировок и автоматики.	Бригада наладчиков
3. Наладочные работы:	3.1.	Ввод параметров двигателя в преобразователь частоты, проверка работы системы;	Бригада наладчиков
	3.2.	Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты	Бригада наладчиков
	3.3.	Ввод параметров системы в преобразователь частоты	Бригада наладчиков
	3.4.	Проверка диапазона изменения напряжения преобразователя, настройка устройства задания скорости	Бригада наладчиков
	3.5.	Итоговая проверка защиты	Бригада наладчиков
	3.6.	Настройка и снятие необходимых характеристик элементов автоматического управления в соответствии с требованиями технологического процесса, испытание оборудования в холостую	Бригада наладчиков
4. Комплексное опробование	4.1.	Обеспечение взаимных связей устройств в составе электрической установки;	Бригада наладчиков
	4.2.	Согласование входных и выходных параметров на входе и выходе характеристик отдельных механизмов	Бригада наладчиков
	4.3.	Проверка режимов работы системы при управлении с пульта управления	Бригада наладчиков
5. Оформление документации	5.1.	Составление протоколов ПНР	Бригада наладчиков
	5.2.	Приемка линии. Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР	Руководитель, представитель заказчика, бригада наладчиков

3.2.3. Состав бригады для проведения ПНР

Число членов бригады и распределение объёмов ПНР между членами бригады зависит от профессиональной подготовки наладчиков и их практического опыта, а также диктуется рядом требований к ПНР:

1. Работы характеризуются узкой специализацией, сложностью.
2. По правилам и нормам эксплуатации и настройки электрооборудования напряжением до 1000 В запрещаются работы на оборудовании, находящемся под напряжением, менее чем двум членам бригады.

Распределение объёма работ между членами выполняет бригадир, как опытный специалист, знающий каждого члена бригады. Продолжительность выполнения любой операции на каждом этапе зависит от технической сложности. Состав бригады, выполняющей ПНР приведён в таблице 11.

Таблица 11 - Состав бригады, выполняющей ПНР

	Состав бригады	Категория
1	Инженер-наладчик (бригадир)	I
2	Инженер-наладчик	II
3	Инженер-наладчик	III

С бригадой наладчиков, производящих ПНР, заключено трудовое соглашение, в котором оговорён срок проведения работ и сумма, на которые заключается соглашение. Срок проведения ПНР составляет 22 рабочих дня продолжительностью 8 часов.

Распределение объёма и времени выполнения ПНР по этапам отражено в таблице 12.

Таблица 12 - Распределение времени выполнения ПНР

№	Члены бригады	Время выполнения работ по этапам, раб.дни				
		1	2	3	4	5
1	Инженер-наладчик (бригадир)	3	7	6	4	2
2	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2
3	Инженер-наладчик	3	7	6	4	2

По таблице 8, согласно, строим календарный график, на июнь месяц 2016года, проведения ПНР (таблица 13.).

Таблица 13 - календарный план-график ПНР

Этап	Исполнит.	t-емкость, дни		Выполнение ПНР по дням																															
		Рабочие	Календ-е	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	3	3	—	—	—	■	■																											
	Инженер – наладчик II	3	3	—	—	—	■	■																											
	Инженер – наладчик III	3	3	—	—	—	■	■																											
2 – ой	Инженер – наладчик I (бригадир)	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■																					
	Инженер – наладчик II	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■																					
	Инженер – наладчик III	7	9				■	■	■	■	■	■	■	■																					
3 – ий	Инженер – наладчик I (бригадир)	6	10				■	■							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
	Инженер – наладчик II	6	10				■	■							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
	Инженер – наладчик III	6	10				■	■							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
4 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	4	4				■	■																		■	■	■	■						
	Инженер – наладчик II	4	4				■	■																		■	■	■	■						
	Инженер – наладчик III	4	4				■	■																		■	■	■	■						
5 – ый	Инженер – наладчик I (бригадир)	2	2																													■	■		
	Инженер – наладчик II	2	2																													■	■		
	Инженер – наладчик III	2	2																													■	■		

Календарный план ПНР составлен с учетом выходных праздничных дней. Результат испытаний ПНР обеспечивают работу электрооборудования в соответствии с действующими правилами устройства электроустановок, технической документацией предприятия-изготовителя.

3.3 Бюджет проектной работы

Осуществление проектной работы потребует расчеты следующих пунктов затрат:

- материальные затраты;
- капитальные затраты (необходимое специальное и дополнительное оборудование, стоимость монтажных и пусконаладочных работ, а также транспортные расходы);
- расчет заработной платы исполнителей проекта;
- расчет пенсионных и страховых расходов;
- расчет накладных расходов;
- расчет расходов при эксплуатации электропривода;
- расчет амортизационных отчислений;
- расчет заработной платы обслуживающего персонала.

3.3.1 Смета затрат на ПНР

Между ОАО «Евраз ЗСМК» и пусконаладочной бригадой составляется договор на проведение ПНР с выплатой после завершения ПНР договорной цены, согласно ценам на 1 апреля 2016 года в общем размере 69 351,82 рублей. В договоре оговорено, что инженер-наладчик бригадир (I категория) получает 40% (27 740,73 руб.), инженер-наладчик (II категория) 32% (22 192,58 руб.), инженер-наладчик (III категория) 28% (19 418,51 руб.) от фонда оплаты труда.

Дополнительные затраты по заработной плате приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Дополнительные затраты по заработной плате

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Стоимость работ	38679,21	
2	Районный коэффициент	11603,76	30% от п. 1
3	Коэффициент, действующий при проведении ПНР в зоне работы действующего оборудования	1160,38	10% от п. 1
4	Коэффициент, учитывающий работы на установке, находящейся под напряжением	11603,76	30% от п. 1
5	Основная заработная плата, включая доплаты	63047,11	п.1+п.2+п.3+п.4
6	Дополнительна заработная плата	6304,71	10%отп.5
7	Итого	69351,82	п.5+п.6

Затраты предприятия на проведение пуско-наладочных работ приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Общая стоимость затрат на проведение ПНР

№	Наименование статей	Плановые (руб.)	Примечание
1	Заработная плата	69351,82	
2	Отчисления в внебюджетные Фонды	25351,30	30%от п.1
3	Накладные расходы	15152,50	16% от п.1
4	Себестоимость работ	109 855,62	п.1+ п.2+п.3
5	Прибыль	8788,45	8% от п.4
6	Цена ПНР	118644,07	п.4+п.5
7	НДС	21355,93	18% от п.6
8	Итого	140000,00	п.6 + п.7

Цены всех комплектующих представлены в таблице 1 на 1 апреля 2016 года. Таким образом, на проведение пуско-наладочных работ ОАО «Евраз» затрачено 140 000 рублей, на приобретение оборудования 122 910 рублей (см. раздел 4.1.1). Общая продолжительность работ по проекту - 22 рабочих дня.

3.3.2. Расчет расходов при эксплуатации электропривода (стоимости силовой электроэнергии)

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}} = \frac{5 \cdot 3725 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,92 \cdot 0,9} = 5545,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad \text{Д}$$

е
Р_{ус}

m – мощность установленного оборудования, 5 кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, 3725 часов, автоматические линии в 2 смены;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6-0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6-0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7-0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92-0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9-0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{эл} = W_{сш.эн} \cdot C_э = 5545,3 \cdot 3,52 = 19519 \text{ руб} / \text{год}$$

где $C_э=3,52$ руб. – стоимость одного кВт-часа электроэнергии для промышленных предприятий.

3.3.3. Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 107730 \cdot \frac{9,6}{100} + 15180 \cdot \frac{3,5}{100} = 10873,38 \text{ руб}$$

где K – капитальные вложения в электрооборудование;

H_A – проценты отчислений на амортизацию

- Электродвигатели – 9.6%
- Преобразователи, выключатели, трансформаторы и т.д. – 3.5%

3.3.4. Заработная плата обслуживающего персонала

Обслуживание частотного электропривода, двигателя и редуктора входит в обязанности оперативно-ремонтного персонала ремонтной службы предприятия.

При выполнении работы наладчик автоматических линий имеет повременную оплату труда. Оплата труда включает в себя основную и дополнительную заработную плату. К основной относится оплата, начисленная за проработанное время на предприятии и различные доплаты (сверхурочная работа, работа в выходные дни, региональные надбавки, премии, районный коэффициент).

Оклад наладчика автоматических линий по присвоенному 6 разряду: 9100 руб.

Дневная заработная плата:

$$Z_{\text{НАЛ}} = \frac{(1,3 \cdot Z_{\text{T}} + \text{Надб}) \cdot P_{\text{К}}}{F_{\text{Д}}};$$

где Z_{T} – оклад в месяц;

$\text{Надб} = 3000 \text{руб}$ надбавка за сложность;

1,4 – доплата за должность;

$P_{\text{К}} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий районное регулирование;

$F_{\text{Д}} = 22$ количество рабочих дней в месяц.

Рассчитаем основную зарплату:

$$Z_{\text{НАЛ}} = \frac{(1,4 \cdot 1,3 \cdot 9100 + 3000) \cdot 1,3}{22} = 876,32 \text{руб/дн}$$

Основная заработная плата за период работы:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z \cdot \tau_{\text{Р}};$$

где $\tau_{\text{Р}}$ – период рабочего времени:

$\tau_{\text{Р}} = 247$ – период рабочего времени – 1 год (в 2016 году 247 рабочих дней);

Рассчитаем основную заработную плату за год:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{НАЛ}} \cdot \tau_{\text{Р}} = 876,32 \cdot 247 = 216\,450,60 \text{ (руб)};$$

Дополнительная заработная плата – это выплаты за неотработанное время (оплата отпусков и т. д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается:

$$Z_{\text{ДОП}} = 0,15 \cdot Z_{\text{ОСН}};$$

Рассчитаем дополнительную зарплату:

$$Z_{\text{ДОП}} = 0,15 \cdot Z_{\text{ОСН}} = 0,15 \cdot 216\,450,60 = 32\,467,59 \text{ (руб)};$$

Суммарная зарплата:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}} = 216\,450,60 + 32\,467,59 = 249\,918,18 \text{ (руб)}.$$

Расчет затрат на оплату труда сведем в таблицу 16.

Таблица 16 - Затраты на оплату труда

	Исполнитель
Основная з/пл, руб.	216 450,60
Дополнительная з/пл, руб.	32 467,59
Итого	249 918,18

Отчисления на социальное страхование (ЕСН)

Страховые отчисления на сегодняшний день по существующему законодательству составляет 30 %:

$$\text{ЕСН} = 30\% \cdot \text{З/п} = 0,30 \cdot 249\,918,18 = 74\,675,46 \text{ (руб);}$$

Обязанности по обслуживанию линии ЛКОР-125 занимают 10% рабочего времени наладчика. Зарплата обслуживающему персоналу в год составит:

$$\text{З}_{\text{ПЕР}} = 249\,918,18 \cdot 0,1 = 24\,991,82 \text{ (руб/год).}$$

3.3.5 Общая сумма эксплуатационных расходов

Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из затраты на силовую энергию $C_{\text{Э}}$, годовых амортизационных отчислений $A_{\text{год}}$ и заработной платы обслуживающего персонала $\text{З}_{\text{ПЕР}}$.

$$P_{\Sigma} = C_{\text{Э}} + A_{\text{год}} + \text{З}_{\text{ПЕР}} = 19\,519 + 10\,873,38 + 24\,991,82 = 55\,384,20 \text{ (руб/год)}$$

При расчетах общих затрат на эксплуатацию расходы на электроэнергию составили 19519 (руб/год), заработная плата обслуживающего персонала 24991 (руб/год), амортизационные отчисления 10873 (руб/год). Общая сумма эксплуатационных расходов составила 55 384,20 (руб/год).

3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

3.4.1. Интегральный финансовый показатель

Определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р.}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения включая ПНР (таблица 1);

$$\Phi_{\text{р}1} = 122\,910 + 140\,000 = 262\,910 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р}2} = 143\,020 + 140\,000 = 283\,020 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{р}3} = \Phi_{\text{max}} = 151\,740 + 140\,000 = 291\,740 \text{ руб}$$

Φ_{max} – максимальная стоимость всего проекта

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{\text{р}1}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{262910}{291740} = 0,9$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{\text{р}2}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{283020}{291740} = 0,97$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{\text{р}3}}{\Phi_{\text{ПНР}}} = \frac{291740}{291740} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

3.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определяется следующим образом:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 17).

Таблица 17 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 Siemens	Исп.2 Bosh	Исп.3 ABB
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	3	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	3	5
4. Энергосбережение	0,20	5	5	5
5. Надежность	0,25	5	4	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5	3
ИТОГО	1	4,85	4,15	4,4

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,01 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,15;$$

$$I_{p-исп3} = 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 4,4.$$

3.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{4,85}{0,9} = 5,39$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{4,15}{0,97} = 4,28$$

$$I_{исп.3} = \frac{I_{p-исп3}}{I_{финр}^{исп.3}} = \frac{4,4}{1} = 4,4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл. 16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} = \frac{5,39}{5,39} = 1$$

$$\mathcal{E}_{cp2} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{4,28}{5,39} = 0,79$$

$$\mathcal{E}_{cp3} = \frac{I_{исп.3}}{I_{исп.1}} = \frac{4,4}{5,39} = 0,82$$

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1 Siemens	Исп.2 Bosh	Исп.3 ABB
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,15	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	5,39	4,28	4,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,79	0,82

Сравнение значений с позиции финансовой и ресурсной эффективности указывает на первый вариант исполнения фирмы «Siemens», как наиболее эффективный, который и используется в данном проекте.

3.4.4 Определение научно-технической эффективности проекта

На основании оценки результатов исследования, где основной характеристикой исследований является их актуальность, теоретическая новизна, концептуальность, доказательность, перспективность и возможность внедрения результатов в практику, можно сделать вывод, что эти данные соответствуют научно-технической эффективности. Так же можно отметить, что данные исследования соответствуют НТП- не прерывному процессу внедрения новой техники и технологии, организации производства и труда на основе достижений научных знаний.

В качестве выводов по разделу отметим следующее:

1) В результате сравнения и оценки критериев комплектов электроприводов выбран преобразователь частоты фирмы Siemens A1000 модель 2A0040, двигатель 4A132M6 мощностью 7,5 кВт, 1000 об/мин, редуктор F41 3 H40 P90. т.к. у данного комплекта оптимальные технические показатели при выгодной стоимости проекта;

2) Было осуществлено планирование работ по проекту, составлены графики проектных и пусконаладочных работ. Работы были проведены за 22 рабочих дня бригадой из трех человек.

3) Составлена смета затрат на проектирование. Проведен расчет капитальных и амортизационных вложений, расчет заработной платы исполнителей проекта и обслуживающего персонала, также были рассчитаны эксплуатационные и накладные расходы. На проведение пуско-наладочных работ ОАО «Евраз ЗСМК» затратило 140 000 рублей, на приобретение оборудова-

ния 122 910 рублей. Общий бюджет затрат на реализацию проекта - 262 910,00 руб.

4) На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективным получается первый комплект электропривода – фирмы «Siemens».

По полученным результатам расчетов можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом может использоваться в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Агломерационный цех (аглоизвестковое производство) ОАО ЗСМК
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты; -(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	<i>Анализ выявленных вредных факторов:</i> - Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций); - Загазованность; - Шум - Вибрация; - Отклонение показателей микроклимата; - Недостаточная освещенность рабочей зоны. <i>Анализ выявленных опасных факторов:</i> -Возможность получения травм в следствии: а) движения машин и механизмов;б) движение производственного материала; в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна. - Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.
2. Экологическая безопасность: - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Анализ воздействий на атмосферу (выбросы), гидросферу (сбросы) и литосферу (отходы) в процессе деятельности агломерационного цеха.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень 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.	Разработка мер по предупреждению ЧС и действий при ее возникновении, а также ликвидации для следующей ЧС: - Пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Организационные вопросы обеспечения безопасности в рабочей зоне для электротехнического персонала

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ1	Грузинский Николай Георгиевич		

4 Социальная ответственность

Промышленное предприятие ОАО ЗСМК расположено на территории города Новокузнецка в специально выделенном промышленном районе. 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 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 Производственная безопасность

4.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Агломерационный цех является сложным производственным комплексом, оснащенным разнообразным механическим, электрическим и подъемно-транспортным оборудованием, обслуживание которого требует четкого и неукоснительного соблюдения производственной санитарии.

Практически все участки агломерационного цеха резко отличаются друг от друга по условиям микроклимата. На участке спекания и транспортировке горячего агломерата тепловое излучение намного превышает санитарные нормы, имеет место пониженная влажность воздуха, в то время как на остальных участках производства температурные условия соответствуют нормам. Для агломерационного цеха характерна большая протяженность и разнообразность производственных механизмов, имеющих дистанционное управление расположенных на высоте и в подвальных помещениях, что, безусловно, снижает видимость и слышимость световой, и звуковой информации, затрудняет прием предупредительных сигналов.

Опасными факторами агломерационного цеха являются:

- Возможность получения травм в следствии:
 - а) движения машин и механизмов;
 - б) движение производственного материала;
 - в) выброс горячего шлака из-под зажигательного горна.
- Поражение электрическим током при обслуживании электрооборудования.

Основными вредными факторами агломерационного цеха являются:

- Запыленность (металлической, токопроводящей пылью различных фракций);
- Загазованность;
- Шум и вибрация;
- Отклонение показателей микроклимата;
- Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Основные технологические операции агломерационного цеха сопровождаются выделением значительного количества пыли. Пыль в основном состоит из окислов железа с примесью других веществ.

Другим фактором, характеризующим санитарно-гигиенические условия труда в агломерационном цехе, является загазованность. Наличие в атмосфере цеха различных вредных газов и аэрозолей обусловлено нарушениями технологического режима, неисправностью и несовершенством технологиче-

ского оборудования. В таблице 19 приведено содержание некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны цеха и для сравнения ПДК по ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 19 - Содержание некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны аглоцеха

Наименование вещества	Концентрация вещ-ва в воздухе, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Превышение в количество раз
агломерационная пыль	17,0	4,0	4,25
SiO ₂	6.1	-	-
CO	Не обнаружено	20,0	-
SO ₂	Не обнаружено	20,0	-
NO ₂	Не обнаружено	5,0	-

Большинство технологических операций аглоизвесткового производства сопровождается образованием шумов низкой и высокой частоты, а так же вибрации. Громкими шумами и вибрацией, уровни которых превышают допустимые нормы, сопровождается транспортировка шихты, кокса, просыпи, и т.д., сортировка и дробление агломерата или его компонентов.

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

Помещение, по возможности, должно освещаться естественным светом, так как оно оказывает благоприятное влияние на психику. Если естественного освещения не достаточно, то необходимо применять искусственное освещение от различных светильников. Нормальная освещенность рабочего места зависит от характера работ и составляет для помещения оператора 400 лк,

для общего освещения 50 лк – группа региона 1 (Кемеровская область).

4.1.2 Производственная санитария

Так как необходимым и важнейшим условием любого технологического процесса является – безопасность труда, то в агломерационном цехе создано все чтобы удовлетворяло условиям для безопасного труда.

В цехе и машинно–агрегатном зале оборудованы санитарные посты, укомплектованные аптечками, медикаментами, носилками и другими средствами для оказания первой до врачебной медицинской помощи пострадавшим.

Питьевой режим, для работающих в производственных помещениях цеха, организован в соответствии с требованиями санитарных норм. А именно в проходах производственных помещений, в вестибюлях и непосредственно в цехе установлены питьевые фонтанчики и автоматы газированной воды.

Прием пищи производится только в столовых, буфетах или специально отведенных для этого помещениях, прием пищи на рабочих местах запрещен.

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха производственных помещений цеха соответствуют установленным требованиям, и поэтому в процессе производства обеспечивается непрерывная работа всех основных приточно-вытяжных, аспирационных, вентиляционных установок. Защита от пылевыведения предусматривает устройство местной вытяжной вентиляции для отсоса пыли непосредственно от места пылеобразования, это такие места где производится перегрузка материала с конвейера на конвейер, движение конвейерных лент с материалом и т.п.. Местные отсосы конструктивно устроены встроенными и сблокированными с оборудованием так, что агрегат нельзя запустить в работу при выключенном отсосе. Отопление цеха в зимнее время производится с помощью воздушных завес, отопителей, и приточных вентиляторов.

Помещение цеха в соответствии с санитарными нормами имеет естественное освещение. Естественное освещение осуществляется боковым светом – через световые проемы в наружных стенах и через прозрачные части стен, выполненных из пустотелых стеклянных блоков, и верхним – через световые проемы, устраиваемые в покрытии. В помещениях цеха предусмотрено также искусственное освещение (рабочее и аварийное освещение) в соответствии с установленными требованиями. Источники питания аварийного освещения соответствуют требованиям ПУЭ и удовлетворяют основным требованиям к производственному освещению, а это:

- а) обеспечено достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства;
- б) на рабочей поверхности отсутствуют резкие тени;
- в) в поле зрения отсутствует прямая и отраженная блескость;
- г) величина освещенности всегда постоянная во времени.

В таблице 20 приведены данные искусственного и естественного освещения на рабочих местах участка спекания агломерата, и даны сравнения с нормами СНиП 23-05-95.

Таблица 20 - Искусственное и естественное освещение на участке спекания агломерата

Вид освещения	Типы светильников		По нормам СниП,лк
Искусственное	ЛБ	290	150

Включение и отключение рубильников общего освещения в здании цеха, смена и чистка светильников, арматуры и ламп, смена штепсельных розеток и предохранителей, монтаж и демонтаж производятся только электротехническим персоналом.

Для удовлетворения нужд работающих на территории цеха предусмотрены санитарно – бытовые помещения, куда относятся гардеробные с умывальниками и душевыми, комнаты для просушивания и обезвреживания одежды, помещения для приема пищи и отдыха, здравпункты для оказания

первой помощи пострадавшим, а также для проведения лечебной и санитарно-профилактической работы.

Технологические операции при изготовлении агломерата и его транспортировке сопровождается образованием шумов низкой и высокой частоты. Технологические процессы, сопровождающиеся особо резким шумом, проводят в отдельных изолированных зданиях, в отделениях и цехах устанавливают звукоизоляционные кабины для обслуживающего персонала. Одним из методов уменьшения шума является снижение или ослабление шума в его источниках, поэтому работающие в цехе агломерации в процессе эксплуатации всех видов машин необходимо выполнять соответствующие Правила технической эксплуатации, своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума.

Наряду с образованием шумов технологические процессы сопровождаются вибрацией. Для борьбы с вибрацией предусмотрены виброгасящие фундаменты, также хорошо применяются виброизоляционные материалы из листов, стальных пружин и резиновых прокладок. Применение вибропоглощающих элементов достигается также значительное снижение уровня производственного шума. В качестве индивидуальной защиты от вибраций рабочий персонал носит обувь на толстой резиновой подошве.

Одним из необходимых условий здорового и производительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в помещении, устранение таких вредных факторов, как пыль, пар, избыточное тепло и влага. В соответствии с санитарными нормами площадь на одного человека в помещении должна быть не меньше $4,5 \text{ м}^2$ и объем не менее 15 м^3 , воздухообмен должен составить не менее $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. оптимальный микроклимат, например, в помещении оператора поддерживается с помощью принудительной вентиляции и кондиционирования, а также отопления.

Пыль агломерационного цеха в основном состоит из коксовой пыли. Размер пыли колеблется в широких пределах, крупные фракции оседают быстро, а мелкие длительное время находятся в воздухе и именно они отри-

цательно влияют на организм человека. Для борьбы с пылью в цехе используются различного рода фильтры, оросители и пылесосы.

Для предотвращения влияния вредных веществ на организм человека применяется дистанционное управление технологическим процессом.

4.2 Экологическая безопасность

Западно-Сибирский металлургический комбинат является крупнейшим предприятием черной металлургии в России, поэтому для его нормального функционирования необходимо проводить мероприятия по охране окружающей среды.

Технологический процесс производства черных металлов сопровождается образованием большого количества различной пыли и сажи, загрязняющих атмосферу. Для того чтобы избежать этого в цехе производят очистку выбрасываемой в атмосферу пыли и сажи с помощью пылеотделителей различной конструкции. На рисунке 37 показана 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.

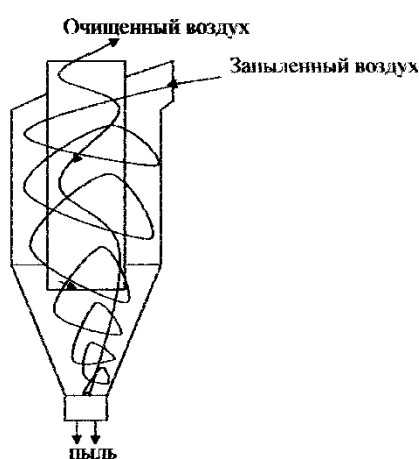


Рисунок 37 - Центробежный пылеотделитель.

На рисунке 37 изображен центробежный пылеотделитель (циклон) в котором загрязненный воздух, подаваемый в кольцевое пространство между

цилиндрами, получает вращательное движение, пылинки центробежной силой отбрасываются к стенкам наружного цилиндра, теряют скорость и соскальзывают по конической части вниз в бункер.

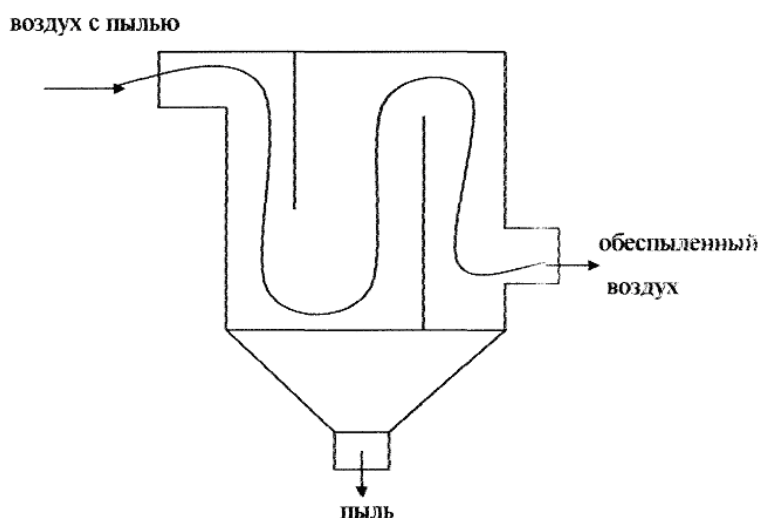


Рисунок 38 - Пылеосадочная камера бункерного типа.

Перечень выбросов загрязняющих веществ, для которых разработаны утверждены нормативы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) веществ: диоксид серы, свинец, соляная кислота, а также оксид меди, оксид марганца, оксид цинка, окислы хрома, ацетон, акролеин, углеводороды прочие. И еще такие как - сажа, пыль извести, пыль каменноугольная, пыль древесная, зола углей, красочная аэрозоль, сварочная аэрозоль и др.

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 реку Томь, и перед повторным использованием в производственных нуждах.

Примеры отходов;

- осадок мокрой очистки газов агломерационного производства от соединений серы известковым молоком
- осадок отстоя воды гидроуборки оборудования агломерации железных руд

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При проектировании и строительстве производственных зданий и сооружений, в частности электромашинных помещений и трансформаторных подстанций, необходимо учитывать категорию пожарной опасности производства. Согласно НПБ 105-03 агломерационный цех относится к категории производства В, как производство, характеризующиеся наличием горючих жидкостей с температурой вспышки паров выше 61°C , горючей пыли и волокон, нижний предел взрываемости которых более 65 г/м^3 к объему воздуха; веществ способных только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; твердых сгораемых веществ и материалов.

Пожарная опасность электроустановок. Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючей является изоляция обмоток электрических машин, трансформаторов, различных электромагнитов (контакты, реле, электроизмерительные приборы), проводов и кабелей. Изоляция бумажно-масляных конденсаторов также является горючей. Опасной в отношении пожара является изоляция проводов (резина, бумага, полиэтилен) и кабелей.

Наибольшую пожарную опасность представляют маслонаполненные аппараты – трансформаторы, баковые выключатели высокого напряжения, а также кабели с бумажной изоляцией, пропитанные маслоканифолевым составом.

В силовых трансформаторах с масляным охлаждением не исключено межвитковое КЗ в результате которого в части обмотки (витке) возникает настолько большой ток, что изоляция быстро разлагается с выделением горючих газов. При отсутствии надлежащей защиты, отключающий поврежденный трансформатор, не исключен взрыв газовой смеси с разрушением стенок кожуха и последующим выбросом горящего масла в помещение.

Очень опасны в пожарном отношении кабели высокого напряжения с бумажной изоляцией, пропитанные компаундом, содержащим минеральное масло, проложенные в открытом помещении или в кабельных сооружениях. Загорание изоляции кабеля возможно при длительном прохождении токов перегрузки и коротких замыканиях при отказе (не отключении) срабатывания максимальной токовой защиты.

Учитывая пожарную опасность электроустановок, ПУЭ устанавливает ряд специальных требований к электрооборудованию при проектировании и монтаже. В процессе эксплуатации электроустановок необходимо также соблюдать ряд мер, предусмотренных ПТЭ с учетом пожарной безопасности.

Огнестойкость строительных конструкций. Максимальные пределы распространения огня по основным строительным конструкциям в зависимости от степени огнестойкости зданий и сооружений принимают согласно данным таблицы 19.

В качестве меры против распространения начавшегося пожара применяют общие или местные противопожарные преграды.

Общие противопожарные преграды, разделяющие здание по вертикали или по горизонтали на отдельные отсеки, представляют собой противопожарные стены или перекрытия, выполняемые из негорючих материалов (кирпича, железобетона).

Местные противопожарные преграды – это бортики или пороги в дверях помещения, кюветы или обваловки вокруг открытых резервуарах с огнеопасными жидкостями.

Эвакуация из зданий и помещений в случае возникновения пожара обеспечивается через эвакуационные выходы, которые должны вести;

- Из помещений первого этажа непосредственно наружу или через вестибюль, коридор, лестничную клетку;
- Из помещений любого этажа (кроме первого) в коридор ведущий на лест-

ничную клетку;

- Из помещения в соседнее помещение на этом же этаже, обеспеченное выходами согласно выше сказанному.

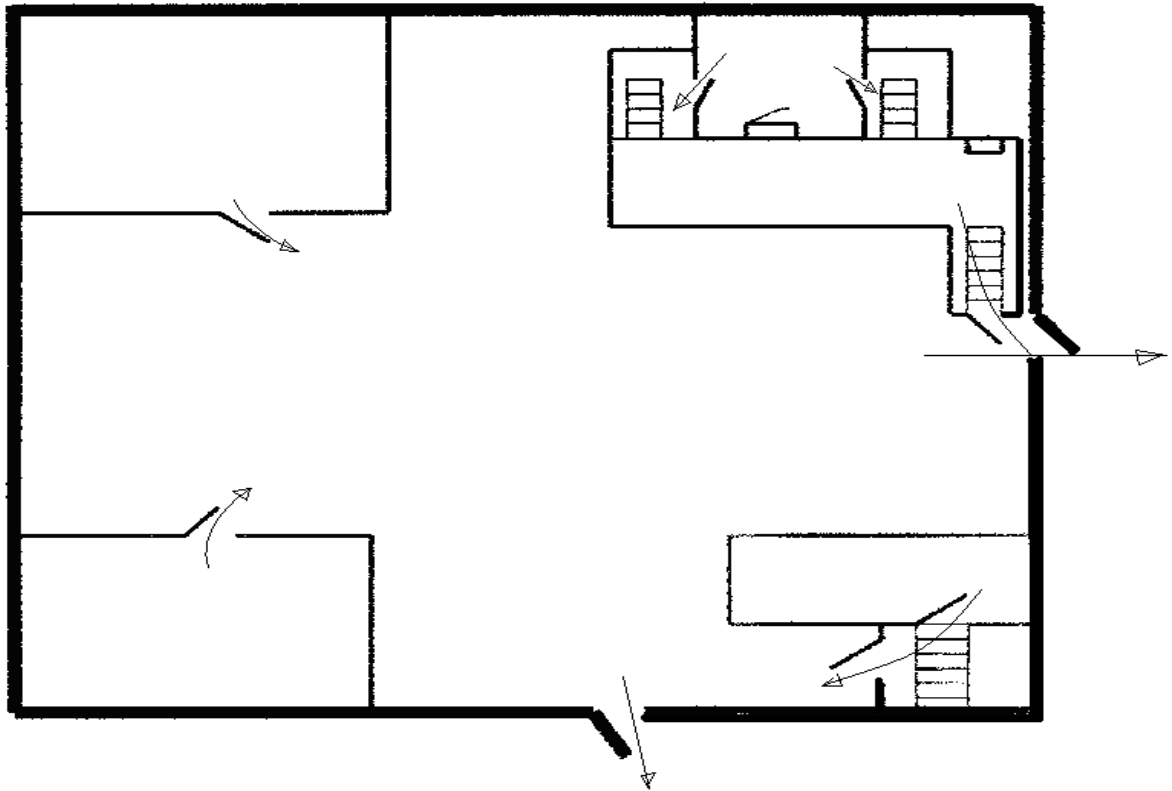
Количество эвакуационных выходов должно быть не менее двух.

Таблица 21 - Максимальные пределы распространения огня по основным строительным конструкциям

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Основные строительные конструкции					
	Несущие стены, лестничных клеток, колонны	Лестничные площадки, косяки, ступени, балки и марши в лестничных клетках	Наружные стены из навесных панелей	Внутренние несущие стены (перегородки)	Плиты, настилы и другие несущие конструкции междуэтажных и чердачных перекрытий	Плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытий
I	Не допускается					
II	Не допускается			40		Не допускается
III		Не допускается		40	25	Не нормируется
IV	40	25	40	40	25	То же
V	Не нормируется					

На рисунке 39 приведен план эвакуации персонала агломерационного цеха из помещения установки электрооборудования привода агломашины, в случае пожара. На плане эвакуации приняты следующие обозначения:

1. помещение установки электрооборудования привода агломашины;
2. огнетушитель (пожарный щит);
3. пожарный кран.



Рисунке 39 - План эвакуации при пожаре.

Классификация помещений по пожарной опасности. При выборе конструкций электрических машин и аппаратов, устанавливаемых в пожароопасных помещениях, учитывается степень пожарной опасности этих помещений в соответствии с классификацией, установленной ПУЭ.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Пожароопасная зона цеха агломерации относится к классу П-Па – зоны расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Требование к электрооборудованию пожароопасных помещений. Электрические машины и аппараты, применяемые в электроустановках, должны обеспечивать как необходимую степень защиты их изоляции от вредного действия окружающей среды, так и достаточную безопасность в

отношении пожара или взрыва вследствие какой-либо неисправности в соответствии с ГОСТ-14255-69.

ГОСТ 18311-72 устанавливает следующую классификацию видов исполнения электрооборудования (электротехнических устройств):

- общего назначения;
- специальное (тропического исполнения, холодостойкое, влагонестойкое, химически стойкое);
- открытое (не защищенное от прикосновения к движущим и токоведущим частям);
- защищенное (от случайного прикосновения к его движущим и токоведущим частям от случайного попадания внутрь посторонних предметов и пыли);
 - водозащищенное;
 - брызгозащищенное;
 - каплезащитное;
 - пылезащитное;
 - закрытое (защищенное электрооборудование, выполненное так, что возможность сообщения между его внутренним пространством и окружающей средой может иметь место только через не плотности соединений между частями электрооборудования);
- герметичное (защищенное, выполненное так, что исключена возможность сообщения между его внутренним пространством и окружающей средой);
- взрывозащищенное (предусмотрены конструктивные меры с целью устранения или затруднения возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды).

Электропроводки. В пожароопасных помещениях всех классов допускается открытая электропроводка непосредственно по несгораемым конструкциям и поверхностям изолированными проводами, например марок

АППР, АПВ, АППВ, проводка в стальных трубах проводом марок ПРТО и АПРТО, в пустотных каналах несгораемых строительных конструкций проводами АПВ и ПВ. В пожароопасных зонах всех классов применение неизолированных проводов запрещено.

Электрические машины с частями, нормально искрящими по условиям работы, должны быть удалены от мест скопления горючих веществ на расстояние не менее 1 м или отделены несгораемыми экранами.

Стационарно устанавливаемая в пожароопасных установках пусковая аппаратура, искрящая по условиям работы, должна иметь исполнение по степени защиты оболочек согласно таблице 21.

В пожароопасных зонах всех классов могут применяться пусковые аппараты, приборы, шкафы и сборки зажимов, продуваемые чистым воздухом под избыточным давлением, а также аппараты и приборы в маслonaполненном исполнении (за исключением кислородных установок и подъемных механизмов).

В пределах пожароопасных помещений допускается размещать закрытые трансформаторные подстанции с маслonaполненными трансформаторами, но при условии, что двери камер трансформаторов не выходят в пожароопасные помещения.

Таблица 22 - Минимальные допустимые степени защиты оболочек электрических аппаратов, приборов, шкафов, сборок зажимов в зависимости от класса пожароопасной зоны.

Вид установки и условия работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
Установленные стационарно	П-I	П-II	П-IIa	П-III

или на передвижных механизмах и установках (краны, тельферы, электротележки и т.п.), искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44
То же, не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	IP44	IP54	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов силовых и вторичных цепей	IP44	IP44	IP44	IP44

Классификация взрывоопасных зон. Взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или более 5% свободного объема помещения. Класс зоны взрывоопасности аглоцефа В-1а - зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуется, а возможны в результате аварий или неисправностей.

Виды взрывозащищенного электрооборудования. Согласно ГОСТ 18311-80 взрывозащищенным называется электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры с целью устранения или затруднения возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды.

Согласно ГОСТ 12.2.020-76 взрывозащищенное электрооборудование

для внутренней и наружной электроустановок (группа II) может иметь следующие виды взрывозащиты:

- взрывонепроницаемая оболочка;
- защита вида «е» (в электрооборудовании не имеющих нормально искрящих частей, принят ряд мер дополнительно к используемым в электрооборудовании общего назначения, затрудняющих появление опасных нагревов, электрических искр и дуг);
- заполнение и продувка оболочки;
- кварцевое заполнение оболочки;
- специальный вид взрывозащиты.

Требование к электрооборудованию взрывоопасных установок. Надежная и безопасная работа электрооборудования во взрывоопасных зонах обеспечивается в результате правильного его выбора, качества изготовления и регулярного проведения осмотров, профилактических испытаний и ремонтов. Поэтому для взрывоопасных зон имеет особое значение выполнение требований ПУЭ и ГОСТ при выборе электроустановок.

Вновь смонтированная или реконструированная электроустановка должна быть принята в эксплуатацию специальной комиссией, состав которой утверждается главным инженером предприятия.

Особое внимание следует уделять надежности неподвижных контактных соединений в электрических цепях; их следует выполнять сваркой, пайкой или свинчиванием.

Согласно ПУЭ электрические машины, стационарно установленные с частями, как искрящие по условию работы, так и не искрящими, должны иметь уровни взрывозащиты согласно данным в таблице 23.

Таблица 23 - Допустимый уровень взрывозащиты или степень защиты оболочки электрических машин в зависимости от класса взрывоопасной зоны

Класс взрыво-опасной зоны	Уровень взрывозащиты
В-I	Взрывобезопасное
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты не менее IP44. искрящие части машины должны быть заключены в оболочку также со степенью защиты не менее IP44.
В-II	Взрывобезопасное (допускается применять взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для работы в средах со взрывоопасными смесями газов и паров с воздухом)
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Оболочка со степенью защиты IP54. искрящие части машины должны быть заключены в оболочку со степенью защиты IP54.

Особенности тушения пожара в электроустановках. Горючими веществами и материалами в электроустановках являются в основном органические материалы – бумага, пряжа, ткани, резина, пластмассы, минеральное масло и др. Горение их обычно сопровождается значительным выделением дыма и газообразных продуктов разложения, часто имеет вид тления. Минеральное масло (трансформаторное) и кабельные мастики горят коптящим пламенем со значительным выделением окиси углерода CO, являющейся отравляющим газом.

Если горящая электроустановка почему-либо не отключена и находится под напряжением, то тушение представляет дополнительную опасность поражение персонала электрическим током. Поэтому, как правило, приступать к тушению пожара электроустановки можно только после снятия с нее

напряжения.

Для тушения пожара электрооборудования можно использовать воду (распыленную или компактной струей), воздушно-механическую пену, инертный газ, порошки и другие огнегасительные средства (закрывание очага горения кошмой, сухим песком и т.п.).

Для тушения пожара в электроустановках аглоцеха применяются углекислотные огнетушители типа УП-2М, который предназначен для тушения горящих твердых материалов, нефтепродуктов и электрических установок, где нежелательно применение воды. Эффект тушения пожара, огнетушителем УП-2М, достигается за счет охлаждения горючего вещества и за счет разбавления воздуха углекислым газом. Огнетушитель оборудован двумя стальными баллонами, установленными на ручной тележке, их емкость по 40 литров; огнетушитель имеет гибкий шланг длиной 9 м с раструбом; для приведения огнетушителя в действие необходимо маховичком отвернуть вентиль сначала на одном, а затем (по истечении углекислоты) на другом баллоне.

Пожарная сигнализация. Для быстрого извещения службы пожарной охраны о возникшем пожаре, в каком либо помещении или сооружении предприятия – служит электрическая пожарная сигнализация, она обнаруживает начальную стадию пожара и сообщает о месте его возникновения, а также может автоматически включать стационарные установки тушения пожара. Система электрической пожарной сигнализации состоит из извещателей – датчиков, устанавливаемых в защищаемом от пожара помещении, приемной станции (расположенной в помещении пожарной команды), источников питания и электрической сети, связывающей извещатели с приемной станцией.

В качестве пожарной сигнализации агломерационного цеха применяется приемная станция типа ТЛО-30/2М на 30 лучей, с извещателями типа ПКИЛ-7 (расположены на лестничных площадках, в коридорах) и КИ-

1(расположены в кабельных полуподвалах, в машинных залах, и т.п.).

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К работе электромонтера по ремонту и обслуживанию электрооборудования АИП допускаются лица не моложе 18 лет, имеющих специальное образование, прошедших медицинское освидетельствование, прошедшие проверку знаний ПЭЭП и ПТБ электроустановок потребителей в цеховой комиссии, утвержденной распоряжением главного электрика комбината.

Персонал электрослужбы, связанный с производством работ на высоте (обслуживание верхнего освещения, мостовых кранов), прошедшие специальное обучение, назначается распоряжением по цеху и ежегодно должен проходить медицинскую комиссию на освидетельствование пригодности к работе на высоте, по результатам которой делается отметка в удостоверении.

При эксплуатации электроустановок потребителей, электротехнический персонал электрослужбы должен систематически повышать свою квалификацию и уровень знаний правил, и инструкций по охране труда, изучать передовой опыт и безопасные приемы обслуживания электроустановок.

Периодически один раз в квартал электромонтер из числа оперативного персонала электрослужбы должен участвовать в противоаварийных тренировках с целью предупреждения и ликвидации неполадок и аварий.

Техника безопасности при ремонте и обслуживании электрооборудования аглоизвесткового производства предусматривает:

- Назначение лиц, ответственных за безопасность работ. Такими лицами являются производители работ, начальники участков, мастера и бригадиры монтажных работ.
- Включение, в проект производства работ, решений по созданию условий для безопасного и безвредного производства, по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих, по достаточному освещению рабочих мест.

- Внедрение передового опыта работы по предупреждению производственного травматизма.

- Организация кабинетов по технике безопасности.

Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления. Электротехнические средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным средствам относятся:

- изолирующие клещи (для операции с предохранителями);
- электроизмерительные указатели напряжения;
- монтажный инструмент с изолирующими ручками;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги (оперативные, измерительные, для наложения заземления).

К дополнительным средствам относятся:

- изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением до и выше 1000 В (диэлектрические боты, коврики, и т. п.);
- индивидуальные экранирующие средства;
- переносные заземления;
- временные ограждения;
- предупредительные плакаты.

При выполнении работ необходимо соблюдать следующие правила:

а) весь персонал должен иметь на руках удостоверение о ежегодной проверке знаний по технике безопасности;

б) все работающие должны быть ознакомлены с правилами оказания первой медицинской помощи пострадавшему от электрического тока;

в) запрещается во время работы электрических машин касаться токоведущих частей, открывать дверцы и люки кожухов и машин, а также снимать защитное ограждение;

- г) вращающиеся части машин должны быть ограждены;
- д) корпуса всех электроустановок должны быть надежно заземлены;
- е) в электрических схемах должна быть предусмотрена защита от перегруза и короткого замыкания;
- ж) доступ к работе должен производиться только после выполнения всех технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность при проведении работ.

Важной мерой, обеспечивающей электробезопасность обслуживающего персонала, является защитное заземление металлических, не токоведущих (конструктивных) частей электрооборудования привода, нормально не находящихся под напряжением относительно земли, в случае повреждения изоляции электродвигателя, аппаратов управления, сетей, и т.п.. Правила устройства электроустановок предписывают, чтобы при напряжении 500 В и выше все металлические токоведущие части электрооборудования имеющими с ними электрический контакт корпуса и конструкции механического оборудования были заземлены.

Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величиной его сопротивления, согласно ПУЭ, при напряжении до 1000 В, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4-х Ом.

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 экономической части выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы планирования, финансирования и проведения пусконаладочных работ электропривода агломашины. Составлена смета на прове-

дение ПНР и построен график занятости исполнителей при выполнении пуско-наладочных работ, график выполнения пуско-наладочных работ и круговая диаграмма сметной стоимости на проведение пуско-наладочных работ.

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 используемой литературы

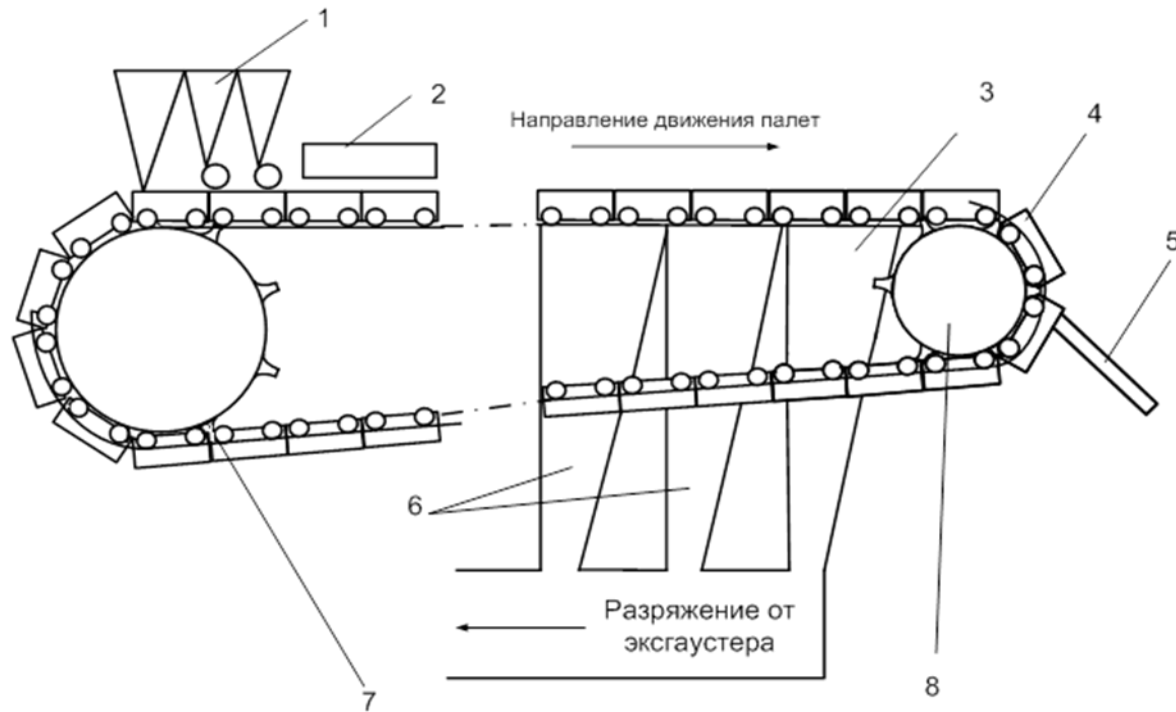
1. Машины и агрегаты металлургических заводов.,1978.
2. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. М.: Металлургия, 1990.
3. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1997.
4. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 528 с.
5. Черных И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink — СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 : Основы применения : Полное руководство пользователя — М. : СОЛОН-Пресс, 2002. — 768 с.
7. Мальцева О. П., Удут Л. С., Кояин Н. В. Системы управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.
8. Г.Г. Соколовский. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник. М.: АКАДЕМА, 2006.
9. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 502 с., ил.
10. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б.А. Князевского - М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. СНИП 12.1.005.-88 Санитарные нормы промышленных предприятий.
12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
13. Елгазин В.И. Расчет искусственного освещения.: Томск, 1971.
14. СНИП 2.04.03.-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
15. ГОСТ 12.2.020-76 ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное
16. ГОСТ 18311-80 Изделия электротехнические - термины и определения основных понятий.
17. Инструкция по проведению ПНР. ОАО ЗСМК 2001-64 с.
18. Бринза В.Н., Зиньковский М.М. Охрана труда в черной металлургии. - М.Металлургия, 1982, - 336 с.

- 19.. Руководства по эксплуатации оборудования фирм Siemens, ABB, Bosh.
- 20.. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
- 21.. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
- 22.. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
- 23.. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.
- 24.. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. - М.: Энергия, 1980. - 175 с.

Приложение А

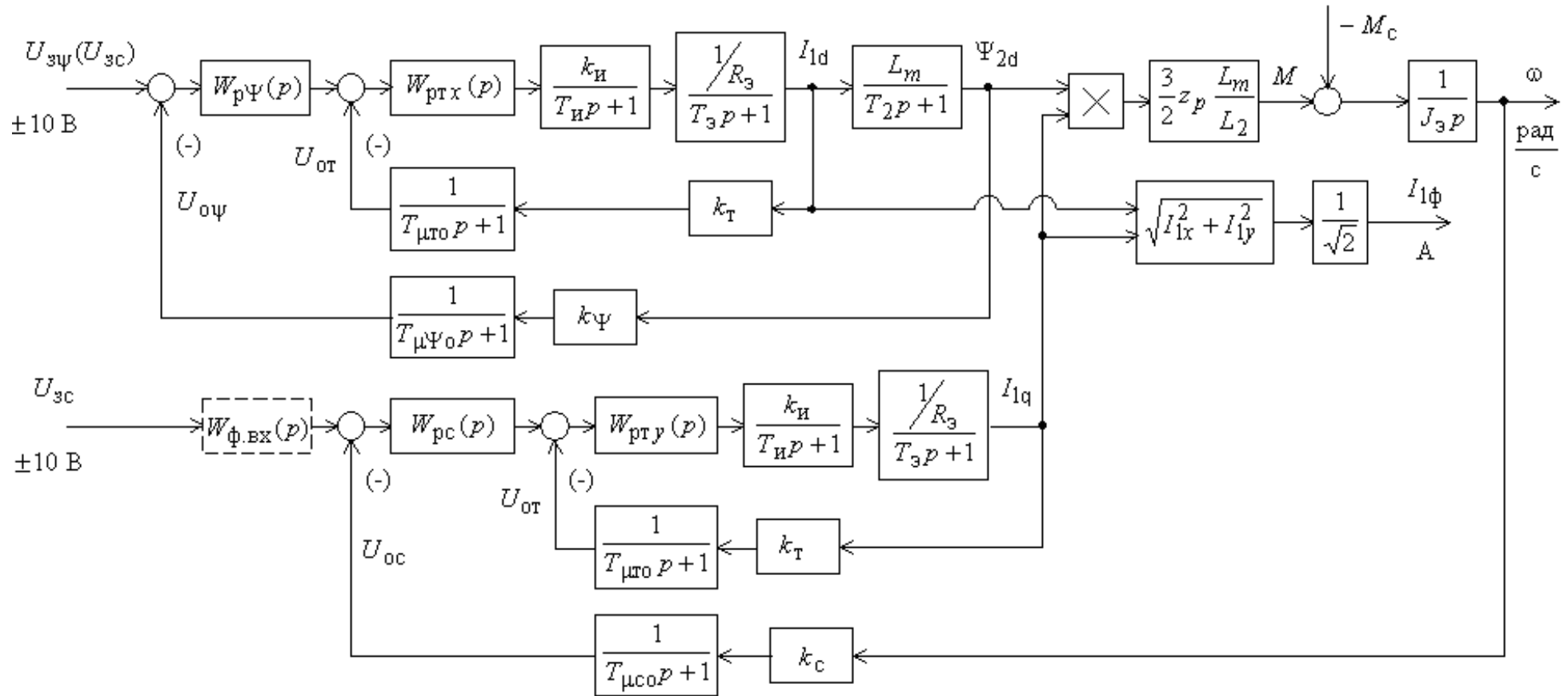
Графический материал

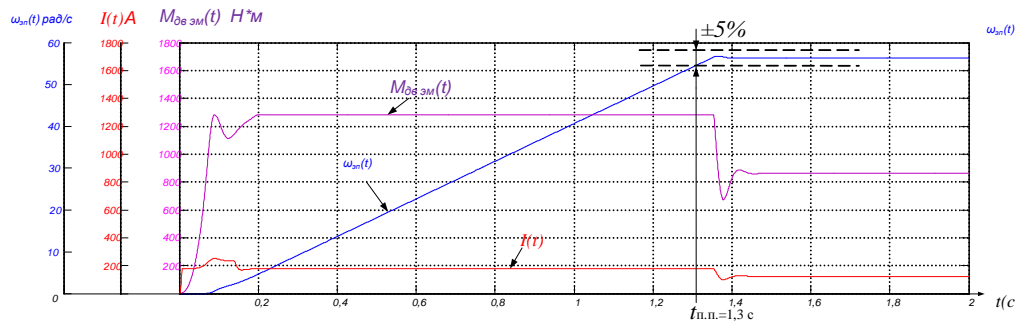
Общий вид агломашины



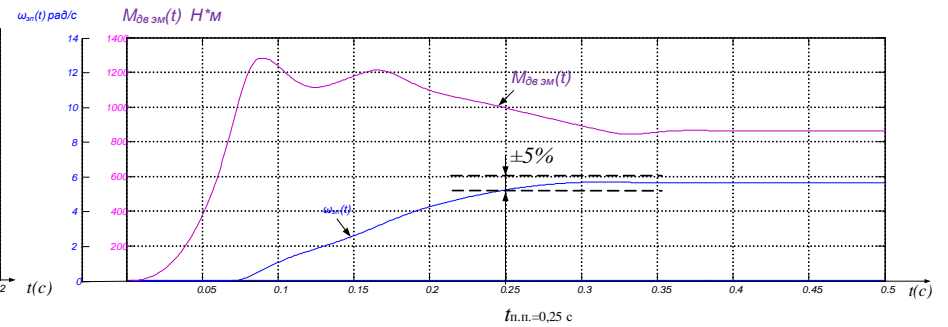
- 1-Бункера загрузки агломашины
- 2-Зажигательный горн
- 3-Газовый коллектор
- 4-Спекательная тележка (палета)
- 5-Приемная плита дробилки
- 6-Вакуум-камеры
- 7-Приводная звездочка
- 8-Разгрузочная звездочка

Структурная схема линейризованной САУ электропривода

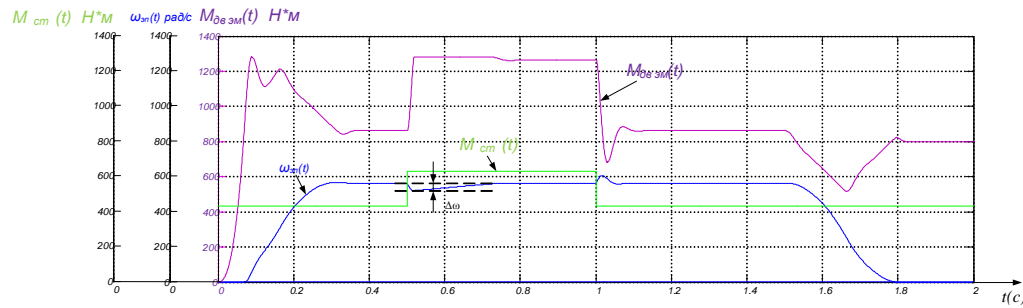




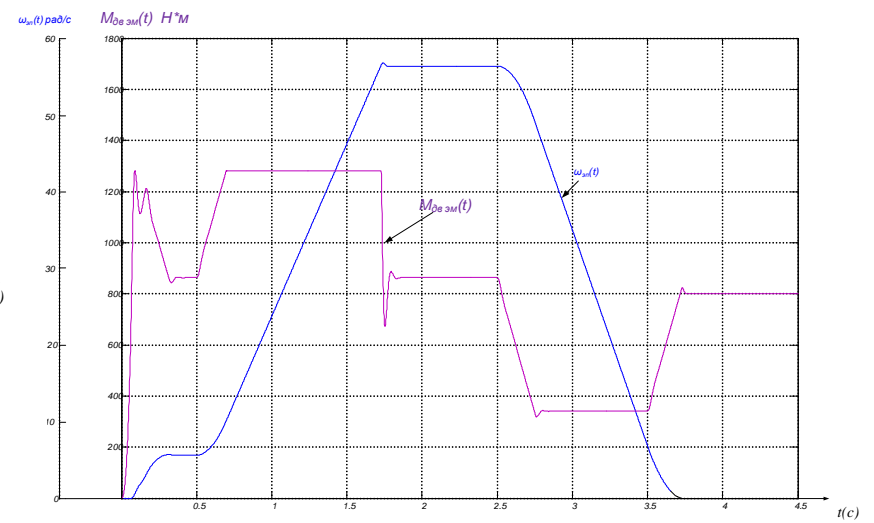
Пуск на максимальную скорость



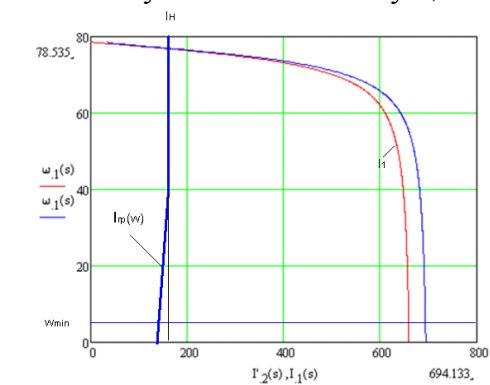
Пуск на минимальную скорость



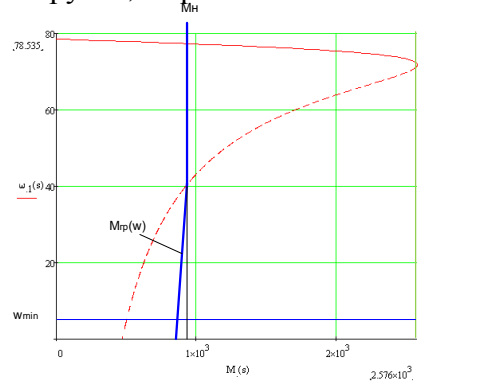
Пуск на минимальную, наброс нагрузки, торможение



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

График выполнения пуско-наладочных работ и занятости исполнителей

