

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и система автоматизации системы дозирования сыпучих материалов

УДК 621.31:681.51:66.028.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А2	Урманов Нурмухаммад Абдуфатаевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по ООП

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Урманову Нурмухаммаду Абдуфатаевичу

Тема работы:

Электрооборудование и система автоматизации системы дозирования сыпучих материалов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.2019г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документация, техническое описание автоматической системы управления.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Описание технологического процесса; Обзор систем дозирования сыпучих материалов; обоснование и выбор системы электропривода; выбор оборудования и моделирование системы частотно-регулируемого электропривода в программной среде MATLAB,

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Функциональная схема экспериментальной установки АСУ ТП дозирования Структурная схема экспериментальной установки АСУ ТП дозирования Имитационная модель АСУ ТП дозирования Результаты моделирования
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы		
Раздел	Консультант	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	
«Социальная ответственность»	Сотникова Анна Александровна	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Урманов Нурмухаммад Абдуфатаевич		

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

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

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель

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

СОГЛАСОВАНО:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

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

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 123 с., 31 рис., 15 таблиц., 24 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: МИКРОКОНТРОЛЛЕР, БЕССТЕРЖНЕВОЙ КОНВЕЙЕР, АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, РАСЧЕТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ, МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ, ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД.

Объектом исследования является АСУ ТП дозирования на базе микроконтроллера Fastwel RTU188.

Цель работы – спроектировать автоматическую систему дозирования сыпучих материалов, удовлетворяющую техническим требованиям.

В процессе выполнения работы были рассчитаны параметры асинхронного электродвигателя, построены статические естественные и искусственные характеристики двигателя при изменении частоты питающего напряжения для закона $U/f = \text{const}$. Была рассчитана математическая модель АД, была построена и исследована на различные задания на вес модель системы автоматического дозирования в приложении *Simulink* пакета MATLAB. Был произведен выбор элементов автоматизации автоматической системы.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003 и представлен на бумаге формата А4 с помощью программных сред Mathcad 2001, MatLab 7.0.1 и графических редакторов MS Paint, MS Visio.

Содержание

Введение.....	9
1. Обзор систем дозирования сыпучих материалов	9
2. Разработка функциональной схемы	14
3. Расчет мощности двигателей шнековых питателей и выбор двигателей ...	17
4.Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным	19
5.Расчёт и построение характеристик	24
5.1 Расчёт и построение естественной механической характеристики $\omega = f(M)$	24
5.2 Расчёт и построение естественных электромеханических характеристик $I_2' = f(\omega)$ и $I_1 = f(\omega)$	27
5.3 Расчет характеристик двигателя при частотном регулировании для закона $U/f = \text{const}$	29
6 Синтез контуров регулирования.....	33
6.1 Оптимизация контура скорости.....	33
6.1.1 Синтез регулятора скорости на симметричный оптимум.....	34
6.1.2 Синтез регулятора скорости на модульный оптимум.....	35
6.2 Оптимизация контура веса.....	36
6.2.1 Синтез регулятора веса на модульный оптимум	36
6.2.2 Синтез регулятора веса на симметричный оптимум.....	37
7. Моделирование системы частотно-регулируемого электропривода в программной среде <i>MATLAB</i>	38
7.1 Разработка математической модели электродвигателя	40
7.2 Результаты моделирования системы автоматического дозирования	51
8. Автоматизация автоматической системы управления дозирования и смешивания компонентов кобмикормов	53
8.1 Программно–аппаратная реализация АСУ	53
8.2 Аппаратные средства.....	54
8.4 Выбор преобразователя частоты	56
8.4.1 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода.....	58
8.5 Модуль микроконтроллера RTU188	63
8.6 Выбор датчиков и элементов измерительной системы.....	76
8.6.1 Датчик веса	76
8.7 Выбор концевых выключателей	78
8.8 Выбор контакторов	79
8.9 Выбор автоматических выключателей	79
ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	80
9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	81
9.1 SWOT-анализ электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов.....	81

9.2 Организация работ технического проекта.....	84
9.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования.....	85
9.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП	87
9.2.3 Разработка графика проведения технического проекта.....	88
9.3 Расчет затрат на осуществление технического проекта	91
9.3.1 Расчет материальных затрат на технический проект	91
9.3.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы	92
9.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	93
9.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	94
9.3.5 Накладные расходы.....	94
9.3.6 Формирование сметы затрат технического проекта	94
9.3.7 Определение ресурсоэффективности проекта	95
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	98
10 Социальная ответственность	100
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
10.2 Производственная безопасность.....	102
10.2.1 Характеристика помещения.....	102
10.2.2 Анализ опасных и вредных факторов.....	104
10.2.3 Производственная санитария.....	106
10.3 Экологическая безопасность.....	107
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	108
Заключение	111
Список источников	114
Приложение А.	116

Введение

Целью выпускной квалификационной работы являлась проектирование автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) дозирования на базе микроконтроллера Fastwel RTU188.

Основными задачами диплома являлись:

- Формулировка обоснованных требований к электроприводу дозатора;
- Разработка описания технологического процесса;
- Разработка функциональной и принципиальной электрической схем и структуры электропривода;
- Описание программно – аппаратной реализации АСУ ТП;
- Определение параметров схемы замещения электродвигателя;
- Расчет характеристик электродвигателя;
- Выбор преобразователя частоты;
- Расчет характеристик работы двигателя с преобразователем частоты;
- Разработка структурной схемы АСУ ТП;
- Моделирование АСУ ТП;

1. Обзор систем дозирования сыпучих материалов

Дозирование сыпучих материалов широко применяется в самых различных отраслях промышленности. В ряде технологических процессов дозирование является одной из основных операций. Качество готовой продукции и рациональное расходование исходных материалов во многом зависят от дозирования.

В технике к сыпучим относят материалы, которые допускают транспортирование и хранение навалом [1]. Термин «сыпучие» материалы используют для большинства материалов, состоящих из частиц определенных размеров: пылевидных, порошкообразных, зернистых и кусковых. Объем сыпучего материала складывается из различных по форме и размерам объемов соприкасающихся твердых частиц и пустот между ними, заполненных воздухом или водой. Частицы, образующие структуру (скелет) сыпучего материала, имеют друг с другом различную связь,

зависящую от размера частиц, их формы, влажности и других факторов. Как правило, большинство сыпучих материалов имеют сложный фракционный состав и представляют собой совокупность частиц со случайным неупорядоченным расположением. Питателями называют механизмы, при помощи которых осуществляется равномерная регулируемая подача сыпучих материалов из емкостей в промежуточные емкости или в технологические аппараты (непосредственно или через весоизмерительные устройства).

Важнейшие требования, предъявляемые к питателям, — это равномерность подачи и возможность регулирования. В некоторых производственных процессах питатели используют как простые, надежные и дешевые объемные дозаторы небольшой точности. Однако масса единицы объема сыпучих материалов в некоторых случаях может изменяться в широких пределах (иногда до 15%), поэтому в процессах, где требуется более высокая точность дозирования, объемные питатели оснащают автоматическими устройствами регулирования скорости и поддержания заданной точности [2].

Под дозированием понимается процесс выдачи заданных количеств веществ в технологические аппараты для смешения или дальнейшей переработки, а также фасовка материалов в тару [3].

Дозирование сыпучих материалов осуществляют с помощью механических и автоматических устройств, которые широко применяются в периодических и непрерывных технологических процессах.

Основным направлением дозирования является максимальная механизация и автоматизация производственного потока при обеспечении соответствующего сокращения цикла дозирования, повышения контроля за составлением смесей и точного соблюдения заданной рецептуры. Автоматизация дозирования способствует сокращению вспомогательного времени, обеспечивает более легкое управление дозирующими устройствами, снижает себестоимость продукции [4].

Особенно большие перспективы по автоматизации процессов дозирования открываются с применением новых электронных методов взвешивания. Дозаторы, построенные на этом принципе, допускают наиболее полную автоматизацию процессов вплоть до работы по заданной программе [5].

Для управления электроприводами шнековых питателей в настоящем времени чаще всего используются два алгоритма. Один из алгоритмов предполагает ступенчатое регулирование скорости двигателя шнекового питателя. Другой алгоритм заключается в автоматическом регулировании скорости двигателя с использованием программно реализованного регулятора веса. Сигнал с выхода регулятора веса является заданием на скорость регулируемого электропривода. Т.к. остановка двигателя производится на небольшой скорости (не в ущерб производительности), масса «падающего столба» невелика, и нестационарность свойств материала сказывается незначительно на точности дозирования. Правильный выбор параметров регулятора позволяет обеспечить оптимальное соотношение производительности и точности дозирования, особенно на малых весах. Основываясь на вышесказанном можно сделать вывод, что для управления электроприводом шнекового питателя наиболее рационально использовать автоматический способ регулирования скорости. Что и реализуется в проектируемой установке.

Из теории электропривода известно, что скорость вращения вала асинхронного двигателя зависит от конструктивных параметров электродвигателя, момента нагрузки и частоты напряжения питающей сети [6]. Очевидно, для получения качественного регулирования необходимо изменять последний параметр, т. е. частоту питания. Именно для этих целей и были созданы преобразователи частоты. Таким образом выходит, что преобразователь частоты – это устройство, преобразующее электрическую энергию с параметрами U_1, f_1 в электрическую энергию с параметрами U_2, f_2 . Структурная схема такого преобразователя представлена ниже:

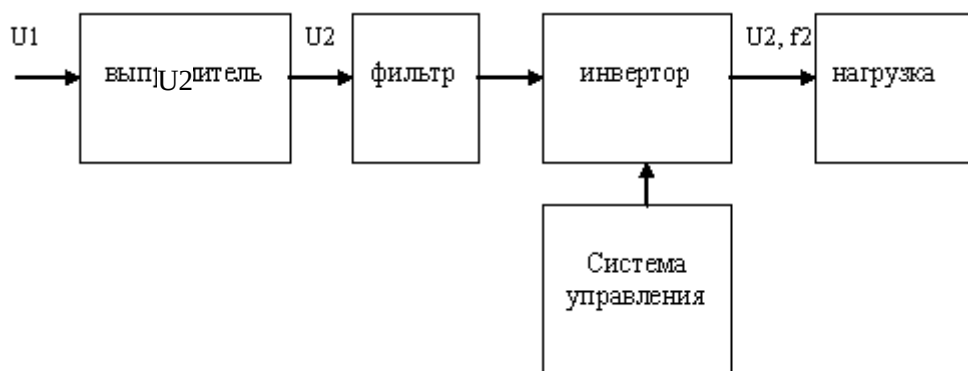


Рисунок 1 - Структурная схема преобразователя частоты

По способу преобразования энергии преобразователи частоты можно разделить на две группы: непосредственные и двухступенчатые. В настоящее время наибольшее распространение получила вторая группа. В этом типе преобразователей происходит двойное преобразование энергии. Из электрической схемы силовой части преобразователя частоты можно выделить выпрямитель, преобразующий электрическую энергию переменного тока в энергию постоянного, и инвертор, совершающий обратное преобразование. Ввиду этой особенности преобразователи такого типа также называют преобразователями частоты со звеном постоянного тока.

По способу управления электродвигателем преобразователи можно разделить на преобразователи частоты со скалярным и векторным управлением. Такое деление обусловлено необходимостью управлять не только частотой на выходе преобразователя, но и напряжением. Алгоритм вычисления значения напряжения и определяет способ управления. В преобразователях частоты со скалярным управлением значение напряжения определяется из зависимости $U(f)$, которая, как правило, рассчитывается методом линейной интерполяции по нескольким базовым точкам. Пользователь имеет возможность изменять значение этих точек. В преобразователях частоты с векторным управлением значение напряжения рассчитывается методом моделирования процессов, проходящих в

асинхронном двигателе. В этом случае пользователю необходимо задать параметры двигателя. Второй способ управления позволяет осуществлять более качественное управление электродвигателем. Однако настройка такого преобразователя частоты требует довольно глубоких познаний в области электропривода и электрических машин. Скалярный же способ управления обеспечивает достаточно хорошее качество регулирования, даже с использованием заводских настроек. Использование векторного управления электроприводом шнекового питателя и вентиляторов, например, вряд ли даст существенный выигрыш в сравнении со скалярным.

Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования. Они состоят из следующих основных частей:

- звена постоянного тока
- силового трехфазного импульсного инвертора
- системы управления

Система управления осуществляет управление силовым инвертором. С помощью ключевых схем можно осуществить преобразование постоянного напряжения в синусоидальное напряжение переменной частоты и амплитуды. Непосредственно, приложить синусоидальное напряжение переменной частоты и амплитуды к обмоткам двигателя данная схема не позволяет, но она позволяет, используя Широтно-Импульсную Модуляцию (ШИМ), импульсно прикладывать к обмоткам двигателя напряжение звена постоянного тока, таким образом, что эффект оказывается практически эквивалентен приложению синусоидального напряжения требуемой частоты и амплитуды.

ШИМ характеризуется периодом модуляции, внутри которого вывод обмотки двигателя подключается, по очереди, к положительному и отрицательному полюсам звена постоянного тока. Длительность этих состояний, внутри периода ШИМ, модулируется по синусоидальному закону.

При высоких (обычно 2 ... 15 кГц), тактовых частотах ШИМ, в обмотках двигателя, вследствие их фильтрующих свойств, протекают синусоидальные токи. Их частота и амплитуда определяются соответствующими параметрами модулирующей функции. Подобное импульсное управление позволяет получить очень высокий КПД преобразователя и практически эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

2. Разработка функциональной схемы

Производительность труда и эффективность производства во многом определяются степенью автоматизации технологических процессов и достоверной информацией о сырьевых потоках и качестве продукции. Это особенно актуально в пищевой и перерабатывающей промышленности.

Функциональная схема автоматической системы дозирования и смешивания компонентов комбикормов изображена на рисунке 2. В состав оборудования по производству комбикормов входят [1]: 6 расходных бункеров (РБ), содержащих дозируемые компоненты (ячмень, горох, отруби пшеничные, пшеница, шрот подсолнечный, концентрат, витаминные добавки); 6 шнековых питателей (ШП) оснащенных асинхронными электродвигателями мощностью 3кВт; бункер-дозатор грузоподъемностью до 1000 кг, установленный на 3-х тензодатчиках (ТДВ); бункер-смеситель, оснащенный асинхронным двигателем смесителя мощностью 15кВт и двигателем рыхлителя; бункер отгрузки готовой продукции с емкостным датчиком уровня; транспортная подсистема отгрузки готовой продукции.

Зерновое сырье поступает в расходные бункера посредством автомобильного терминала. Загрузка одного бункера емкостью 50 тонн занимает не менее 3-х часов. После загрузки расходных бункеров компоненты поочередно поступают в бункер-дозатор, где в соответствие с заданным рецептом осуществляется дозирование. Сигнал пропорциональный текущему весу снимается с 3 тензодатчиков и поступает в нормирующий усилитель (НСУ) где суммируется, нормируется в стандартный токовый

сигнал и в таком виде поступает в контроллер. По окончании процесса дозирования всех компонентов масса поступает в бункер-смеситель. Время смешивания варьируется от 1 до 3 минут в зависимости от выбранного рецепта. Готовая смесь поступает на транспортер отгрузки готовой продукции. Отгрузка готовой продукции происходит через автомобильный терминал с производительностью 15 тонн в час. Управление двигателями шнековых питателей ведется от одного преобразователя частоты через блок релейной коммутации (БРК1) по сигналу микроконтроллера. Двигатель смесителя (М8) и рыхлителя (М9) подключаются к сети через блок релейной коммутации (БРК2) который управляется от микроконтроллера.

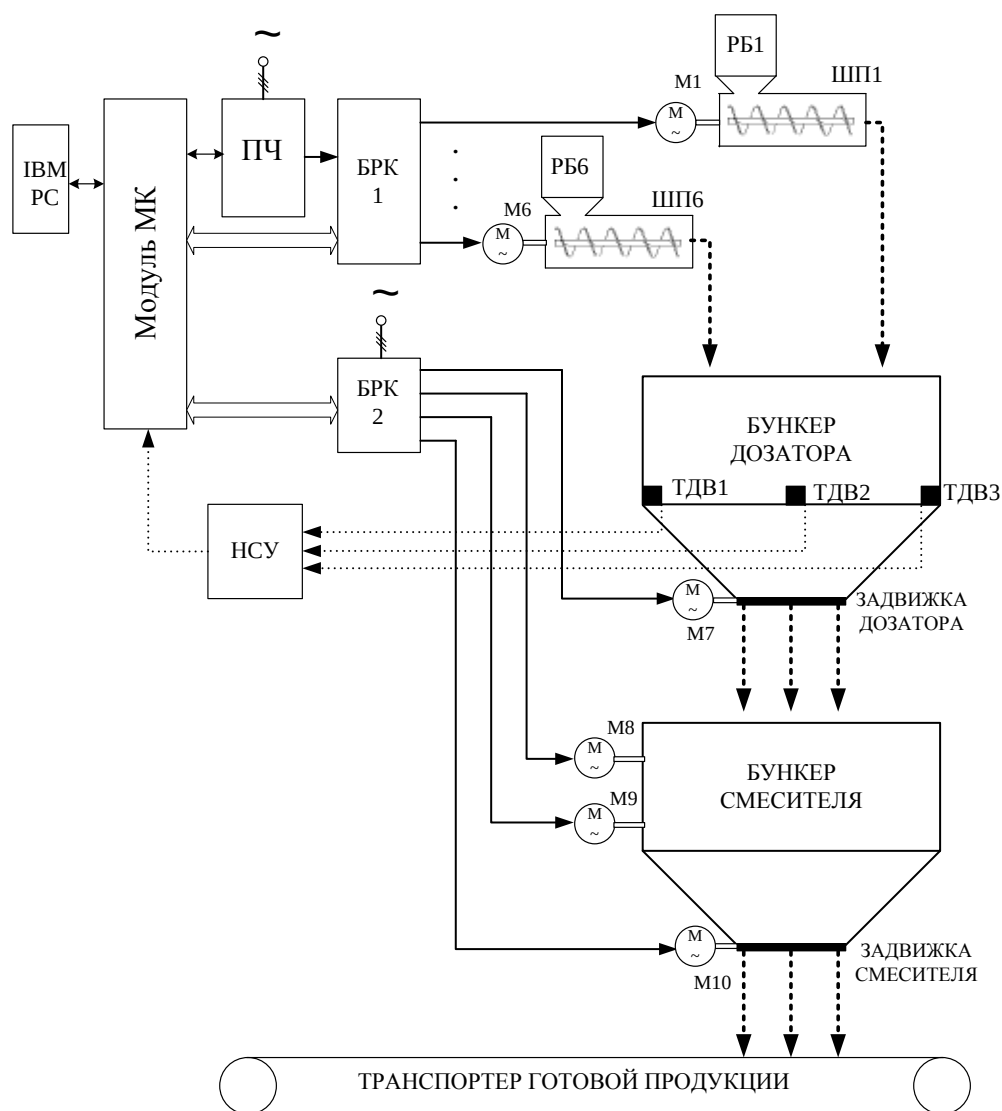


Рисунок 2 - Функциональная схема автоматической системы дозирования и смешивания компонентов комбикормов

На входе регулятора веса (рисунок 2), программно выполненного в микроконтроллере, суммируются сигнал задания на вес, поступающий с ПК и сигнал с 3 тензодатчиков веса, на которых находится бункер-дозатор. Выход с РВ является заданием на частоту преобразователя и, соответственно, скорости вращения асинхронного двигателя шнекового питателя. По мере наполнения бункера разница между заданной и действительной массой в бункере уменьшается, что приводит к уменьшению скорости электропривода. Остановка двигателя осуществляется на небольшой скорости, что положительно сказывается на точность дозирования.

Основные требования, предъявляемые к дозирующим устройствам:

- Подача дозируемого материала, соответствующая заданной, достаточно высокая точность дозирования и независимость величины подачи от уровня материала в бункере.
- Достаточно растянутая шкала задатчика весового расхода и высокое качество работы системы автоматического регулирования.
- Наличие приборов, показывающих величину регулируемого параметра и суммарное количество материала, прошедшего через дозатор.
- Удобство обслуживания, герметичность и высокая надежность в работе.
- Соответствие конструктивного оформления основных и вспомогательных узлов физико-механическим свойствам дозируемых материалов.

Требования, предъявляемые к данному электроприводу:

- точность дозирования материалов $\pm 3\%$;
- производительность (1 час) – 300 кг;
- диапазон регулирования $D = 10$.

Главным критерием качества регулирования в таких системах является точность дозирования каждого компонента смеси при максимальной производительности. Технологические требования к качеству продукции на производстве, жестко регламентируют разработчикам автоматической системы ошибку дозирования сыпучих материалов, что связано также с высокой стоимостью отдельных компонентов смеси.

Необходимую точность дозирования в таких системах получают за счет организации замкнутого контура регулирования по весу, максимальное быстродействие здесь достигается за счет того, что регулятор веса большую часть времени дозирования находится в насыщении.

3. Расчет мощности двигателей шнековых питателей и выбор двигателей

При проектировании системы дозирования сыпучих материалов, необходимо правильно выбрать мощность двигателя и скорость вращения шнекового питателя.

Производительность шнекового питателя прямо пропорциональна скорости вращения механизма и находится по формуле [1]:

$$Q = \frac{\rho}{4} \times (D^2 - d^2) \times S \times n \times j \times 60 \text{ (м}^3\text{/ч)}$$

$D=0.25$ м- внешний диаметр шнека;

d – диаметр вала;

$S=0.2$ м– шаг винта шнека;

n - скорость вращения шнекового питателя;

j - коэффициент производительности.

Величина пассивной поверхности на шнеке

$$f = \left(\frac{S}{4\rho \times \cos l_0} \right)^2 \times (\sin(2l_0) - 2l_0 \times \cos(2l_0)) =$$

$$\left(\frac{0,2}{4 \times 3,14 \times \cos 0,698} \right)^2 \times (\sin(2 \times 0,698) - 2 \times 0,698 \times \cos(2 \times 0,698)) = 3,202 \times 10^{-4}$$

$l_0=40^\circ$ - угол трения материала о поверхность шнека [1].

Площадь витка винта:

$$F = p \times R^2 = 3,14 \times 0,125^2 = 0,049 \text{ м}^2$$

Для горизонтального шнека пассивная область целиком размещается на шнеке при условии $S/D \leq 1$ и следовательно применима формула:

$$j_{\text{п}} = 0,87 \times \left(1 - \frac{f}{F}\right) = 0,87 \times \left(1 - \frac{3,202 \times 10^{-4}}{0,049}\right) = 0,864$$

Секундная производительность

$$Q^c = \frac{S \times R^3 \times \pi \times j_{\text{п}}}{D \times 9,55} = \frac{0,2 \times 0,125^3 \times 15 \times 0,864}{0,25 \times 9,55} = 0,016 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Удельный расход энергии

$$A = \frac{2 \times p \times m \times L \times g_0 \times g}{\frac{S}{D}} = \frac{2 \times 3,14 \times 0,8 \times 1,6 \times 770 \times 9,81}{\frac{0,2}{0,25}} = 7,578 \times 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

$m=0,8$ - коэффициент трения;

$L=1,6$ м- длина шнека;

$g_0 = 770$ кг/м³ - насыпная объемная масса пшеницы;

Мощность на валу привода:

$$P_{\text{расч}} = Q_c \times A = 0,016 \times 7,578 \times 10^4 = 1,232 \times 10^3 \text{ Вт}.$$

Полная номинальная мощность двигателя:

$$N = \frac{Q_c \times A}{1000} = \frac{1,232 \times 10^3}{1000} = 1,232 \text{ кВт}$$

Определим номинальный ток двигателя:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,73 \times 0,76} = 4,1 \text{ А}.$$

Условия выбора электродвигателя:

Мощность электродвигателя: $P_{\text{н}} > P_{\text{расч}}$;

Выбираем асинхронный двигатель серии АИР100L8

Мощность: 1,5 кВт;

$U_{\text{н}} = 220$ В

$n_{\text{н}} = 705 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

КПД: 76%;

Коэффициент мощности: 0,73.

4.Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Паспортные данные асинхронного двигателя:

Тип: VTB71C - асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

$$P_n = 1.5 \text{ кВт}$$

$$S_n = 0,06$$

$$U_{лн} = 380 \text{ В}$$

$$n_n = 705 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$\eta_n = 76 \%$$

$$U_n = 220 \text{ В}$$

$$\cos \varphi = 0,73$$

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = 1.7$$

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_n} = 1.6$$

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_n} = 5.5$$

При создании электроприводов с двигателями переменного тока часто сталкиваются с проблемой определения параметров асинхронного двигателя, которые необходимы для проектирования и настройки системы управления электроприводом, а также для моделирования переходных процессов в асинхронном электроприводе с ПЧ.

Для большинства практических случаев приемлемыми являются методы определения параметров АД на основании его справочных данных.

Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 3 [6].

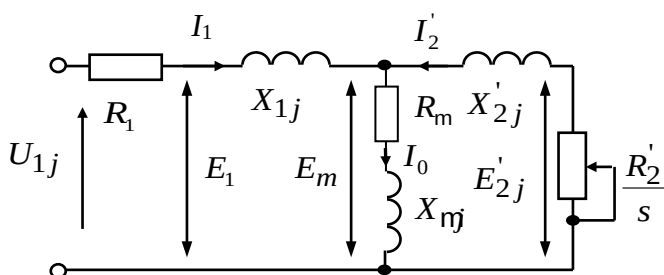


Рисунок 3 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \times X_1 \times \bar{I}_1 - R_1 \times \bar{I}_1 &= 0 \\ \bar{E}_m + j \times X_2' \times \bar{I}_2' + R_2' \times \bar{I}_2' / s &= 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 &= 0\end{aligned}$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих вышеприведенным уравнениям изображена на рисунке 4.

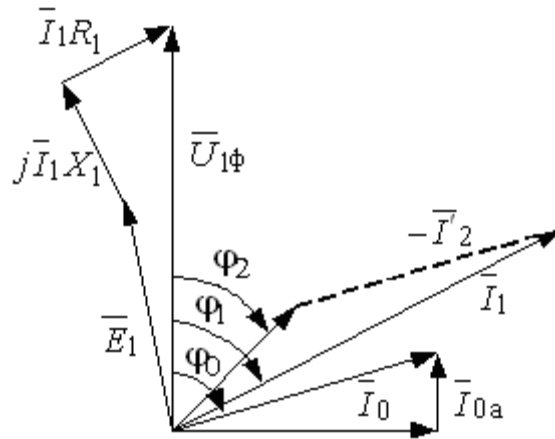


Рисунок 4 – Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения [2]:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}},$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \times U_{1H} \times \cos f_H \times \eta_H}$ - номинальный ток статора двигателя;

$s_H = \frac{(n_0 - n_H)}{n_0}$ - номинальное скольжение;

n_0 – синхронная частота вращения;

U_{1H} – фазное напряжение;

$$s_H = \frac{(750 - 705)}{750} = 0,06,$$

$$I_{11} = \frac{p_* \times P_H}{\sqrt{3} \times U_{1H} \times \cos f_{p_*} \times \eta_{p_*}}$$

$$I_{1H} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,73 \times 0,76} = 4,1A.$$

$$I_{11} = \frac{0,75 \times 1500}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,64 \times 0,76} = 3,5 A.$$

– ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos f_{p*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

h_{p*} – к.п.д. при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H$ – коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и к.п.д. при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

– современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший к.п.д. достигается при нагрузке на 10-15% меньшей номинальной [1]. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому к.п.д. при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е.

$$h_H \gg h_{0,75}$$

– коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунок 5.

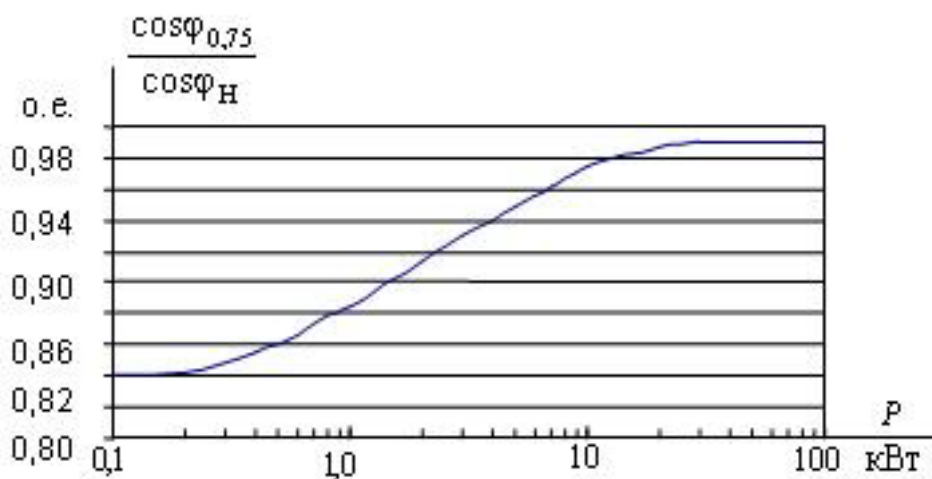


Рисунок 5. Зависимость $\cos f_{0,75} / \cos f_H$ от мощности асинхронного двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{3,5^2 - [0,75 \times 4,1(1 - 0,06) / (1 - 0,75 \times 0,06)]^2}{1 - [0,75(1 - 0,06) / (1 - 0,75 \times 0,06)]^2}} = 2,64.$$

Из формулы Клосса определим выражение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2s_H \times b(k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2s_H \times b(k_{MAX} - 1)} \quad (1)$$

где

$$b = R_1 / (C_1 \times R_2');$$

$$s_k = 0,06 \times \frac{1,7 + \sqrt{1,7^2 - [1 - 2 \times 0,06 \times (1,7 - 1)]}}{1 - 2 \times 0,06 \times (1,7 - 1)} = 0,203$$

$$C_1 = 1 + (I_0 / (2 \times k_i \times I_{1H})) = 1 + (2,6 / (2 \times 5,5 \times 4,1)) = 1,058.$$

Значение коэффициента b согласно [3] находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $b = 1$.

Определим коэффициент [2]

$$A_1 = m U_{1\Phi}^2 (1 - s_H) / (2 \times C_1 \times k_{MAX} \times P_H) = 3 \times 220^2 (1 - 0,06) / (2 \times 1,058 \times 1,7 \times 500) = 25,29.$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1 / s_k) C_1 = 25,29 / (1 + 1 / 0,06) 1,058 = 1,35 \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 R_2' b = 1,058 \times 1,35 \times 1 = 1,43 \text{ Ом}.$$

Определим параметр g , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$g = \sqrt{(1/s_k^2) - b^2} = \sqrt{(1/0,203^2) - 1^2} = 4,82$$

Очевидно, что при отрицательном подкоренном выражении первоначально принятое значение β необходимо изменить.

Тогда

$$X_{KH} = g C_1 R_2' = 4,82 \times 1,058 \times 1,35 = 6,88 \text{ Ом}.$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_{KH} сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями [4], которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X'_{2H} = 0,58X_{KH} / C_1 = 0,58 \times 6,88 / 1,058 = 3,77 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1H} = 0,42X_{KH} = 0,42 \times 6,88 = 2,89 \text{ Ом}.$$

По найденным значениям переменных C_1 , R'_2 , R_1 и X_K определим критическое скольжение

$$s_K = \frac{C_1 R'_2}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,058 \times 1,35}{\pm \sqrt{1,43^2 + 6,88^2}} = 0,203 \quad (2)$$

Если рассчитанные по (1) и (2) значения критического скольжения s_K не равны, то вводим поправку β и продолжаем расчеты по (5) – (13) в цикле до их совпадения с абсолютной погрешностью $d = 0,01$. Обычно за две, три итерации удастся достичь совпадения критического скольжения, определенного по выражениям (1) и (2).

Согласно векторной диаграмме (рисунок 4) э.д.с. ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна ($R_m \gg 0$)

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1j} \cos f_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1j} \sin f_{1H} + X_1 I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \times 0,73 - 1,43 \times 4,1)^2 + (220 \times \sqrt{1 - 0,73^2} + 2,89 \times 4,1)^2} = 224,177 \text{ В} \end{aligned}$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{mH} = E_m / I_0 = 224,177 / 2,6 = 86,2 \text{ Ом}.$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик, а также динамики системы.

Сведем все имеющиеся параметры двигателя в таблицу 1:

Таблица 1 – Параметры асинхронного двигателя

$P_H, \text{кВт}$	$n_0, \text{об/мин}$	S_H	S_K	$\eta, \%$	$\cos \varphi$	M_{MAX}/M_H	$M_{\text{П}}/M_H$
1.5	705	0,06	0,203	76	0,73	1.7	1.6
$I_{\text{П}}/I_H$	$R'_2, \text{Ом}$	$R_1, \text{Ом}$	$X_{KH}, \text{Ом}$	$X'_{2H}, \text{Ом}$	$X_{\mu H}, \text{Ом}$	$X_{1H}, \text{Ом}$	
5.5	1.35	1.43	6.88	3.77	86.2	2.89	

Определение параметров асинхронного двигателя, необходимых для моделирования (как абсолютных так и относительных)

Абсолютные параметры:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{1500}{294,241} = 20,3 \text{ Н}\cdot\text{м},$$
$$J = 0,013 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$
$$z_p = 4$$

Относительные параметры двигателя:

$$L_m = \frac{X_{m1}}{\omega_H} = \frac{86,2}{314,136} = 0,274 \text{ Гн},$$
$$L_s = L_m + \frac{X_{1H}}{\omega_H} = 0,274 + \frac{2,89}{314,136} = 0,283 \text{ Гн},$$
$$L_r = L_m + \frac{X'_{2H}}{\omega_H} = 0,274 + \frac{3,77}{314,136} = 0,286 \text{ Гн},$$
$$K_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,274}{0,286} = 0,958 \text{ о.е.},$$
$$R_e = R_s + R_r \times K_r^2 = 1,43 + 1,35 \times 0,958^2 = 2,669 \text{ о.е.},$$
$$L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r} = 0,283 - \frac{0,274^2}{0,286} = 0,02 \text{ о.е.},$$
$$A_r = \frac{R_r}{L_r} = \frac{1,35}{0,286} = 4,72 \text{ о.е.}$$

5.Расчёт и построение характеристик.

5.1 Расчёт и построение естественной механической характеристики $\omega = f(M)$

Определение синхронной скорости [8]

$$n_0 = \frac{60 \times f_c}{p} = \frac{60 \times 50}{4} = 750 \text{ об/мин},$$
$$\omega_0 = \frac{n_0}{9,55} = \frac{750}{9,55} = 78,534 \text{ рад/с.}$$

Определение номинальной частоты вращения

$$\omega_H = \omega_0(1 - s_H) = 78,534 \times (1 - 0,06) = 73,822 \text{ рад/с}$$

Определение номинального момента двигателя

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{1500}{73,822} = 20,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Определение максимального момента

$$M_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \times M_H = 1,7 \times 20,3 = 34,51 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Определение пускового момента

$$M_{\Pi} = k_{\Pi} \times M_H = 1,6 \times 20,3 = 32,48 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Определение момента нагрузки на валу двигателя

$$M_{\text{сг1}} = \frac{1,2 \times M_{\text{дв}}}{i_p \times \eta_p} = \frac{1,2 \times 20,3}{6,1 \times 0,8} = 5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Рассчитываем естественную механическую характеристику $\omega = f(M)$:

$$M(s) := \frac{3 \times U_{1H}^2 \times R'_2}{\frac{1}{\omega_{11} \times X_{KH}^2 \times I_{ж1}^2} + \frac{R'_1}{s} + \frac{R'_2}{s} + \frac{R_1 \times R'_2}{s \times X_{пH} \times I_{ж1}}} \times \frac{1}{\omega}$$

$$M(s) = \frac{3 \times 220^2 \times 1,35}{78,534 \times (6,88^2 \times 1^2 + (1,43 + \frac{1,35}{s})^2 + (\frac{1,43 \times 1,35}{s \times 6,2 \times 1^2}))}$$

Задаёмся скольжением от 0 до 1 и строим естественную характеристику.

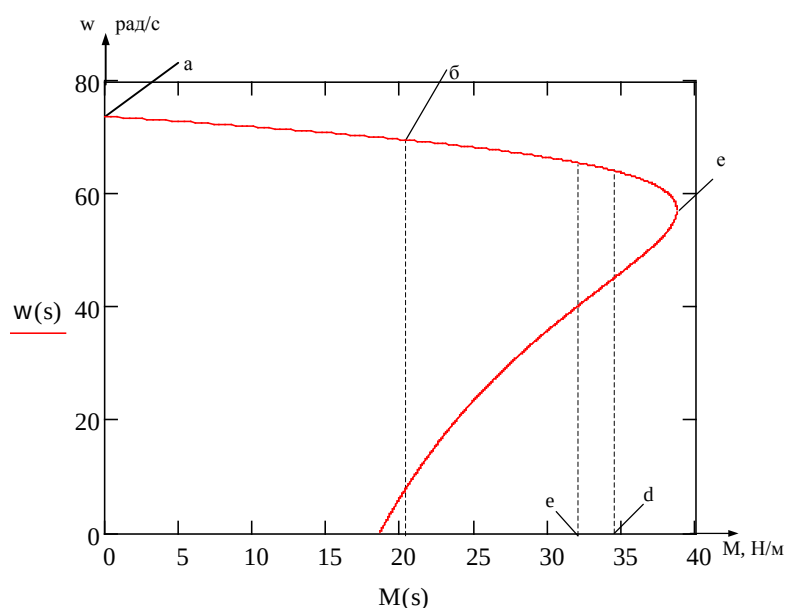


Рисунок 6 - Естественная механическая характеристика $M = f(\omega)$

Анализ полученной механической характеристики будем проводить по характерным точкам:

Точка а: $s = 0$, $\omega = \omega_0 = 78,534 \text{ рад/с}$, $M = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Точка b: $s_n = 0,06$, $\omega_n = 73,8 \text{ рад/с}$, $M_n = 20,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Точка с: $\omega_{кр} = 58 \text{ рад/с}$, $M_{кр} = 38,678 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Точка d: $s = 1$, $\omega = 0 \text{ рад/с}$, $M_{\text{макс}} = 34,51 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Точка е: $s = 1$, $\omega = 0 \text{ рад/с}$, $M_{\text{пуск}} = 32,48 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

5.2 Расчёт и построение естественных электромеханических характеристик $I_2' = f(\omega)$ и $I_1 = f(\omega)$

Определение относительного тока ротора для соответствующего скольжения [8]:

$$I_2' = \frac{U_{1\Phi}}{\sqrt{\frac{R_1^2}{s} + X_{\text{кн}}^2 + \frac{R_2'^2}{s}}} = \frac{220}{\sqrt{\frac{1,43^2}{s} + 6,88^2 + \frac{1,35^2}{s}}}, \text{ А}$$

s -принимает в диапазоне (0, 1).

Определение тока статора для соответствующего скольжения:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \times I_0 \times I_2' \times \sin j_2} = \sqrt{2,6^2 + (I_2')^2 + 2 \times 2,6 \times I_2' \times \sin j_2} \text{ А},$$

$$\text{где } \sin j_2 = \frac{X_{\text{кн}} \times f_{1*}}{\sqrt{\frac{R_1^2}{s} + X_{\text{кн}}^2 + \frac{R_2'^2}{s}}} = \frac{6,88}{\sqrt{\frac{1,43^2}{s} + 6,88^2 + \frac{1,35^2}{s}}}$$

Результаты расчета приведены на рисунках 7 и 8.

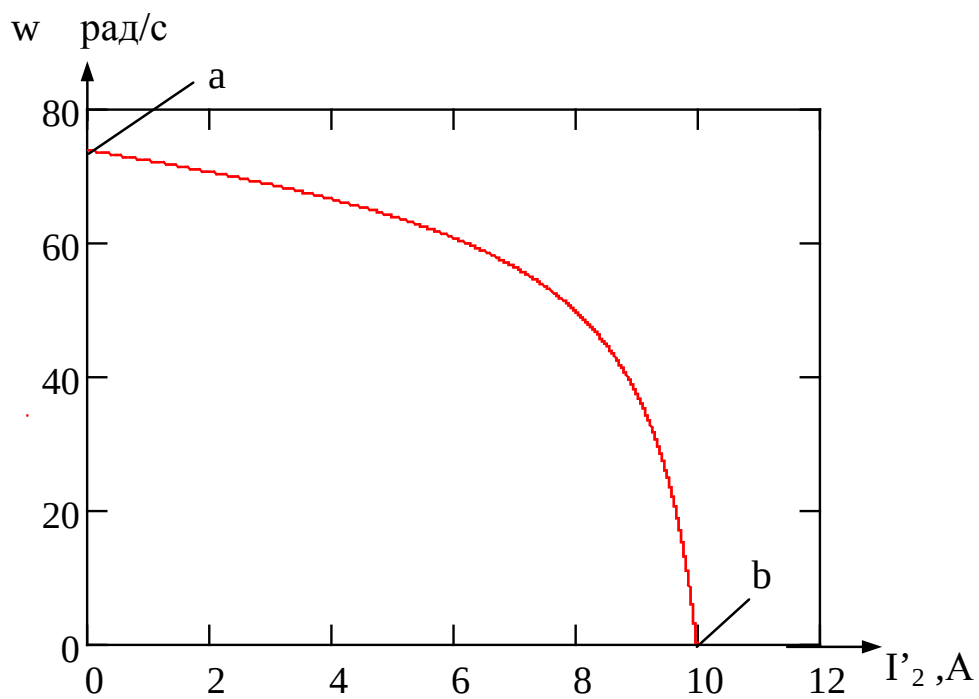


Рисунок 7 - Естественные электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$ и $I_1 = f(\omega)$

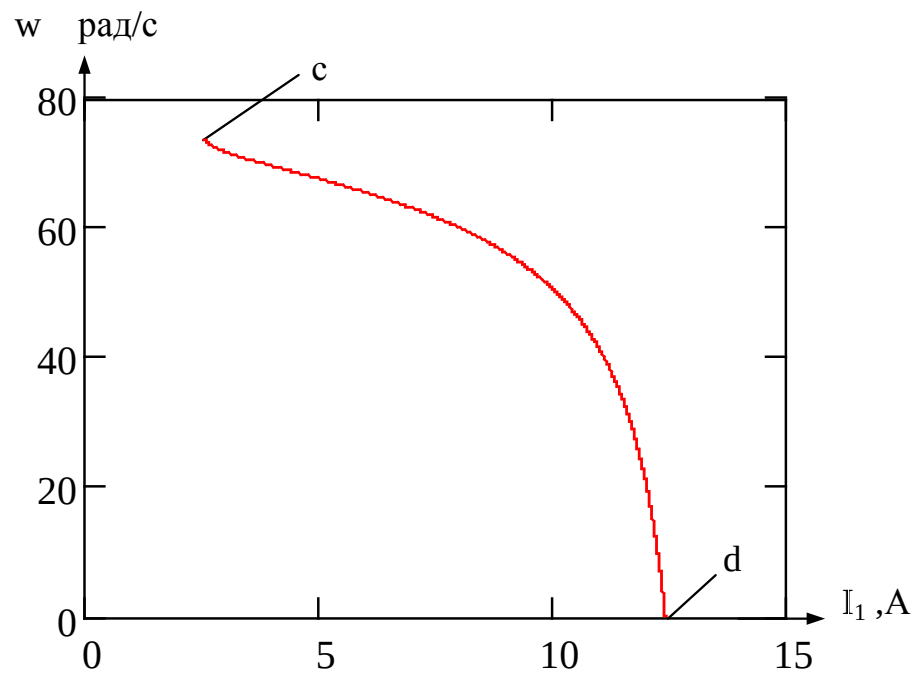


Рисунок 8 - Естественные электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$

Анализ полученных электромеханических характеристик.

Проведем анализ каждой электромеханической характеристики по двум точкам:

Характеристика $I_2\Phi = f(\omega)$:

Точка а: $s = 0$, $\omega = \omega_0 = 78,534 \text{ рад/с}$, $I_2\Phi = 0 \text{ А}$;

Точка б: $s = 1$, $\omega = 0 \text{ рад/с}$, $I_2\Phi = 10 \text{ А}$.

Характеристика $I_1\Phi = f(\omega)$:

Точка с: $s = 0$, $\omega = \omega_0 = 78,534 \text{ рад/с}$, $I_1 = I_0 = 2,6 \text{ А}$;

Точка d: $s = 1$, $\omega = 0 \text{ рад/с}$, $I_1 = 12,5 \text{ А}$.

В итоге, делая сравнительный анализ, можно сказать что рассчитанные параметры двигателя отличаются от номинальных в пределах допустимых значений.

5.3 Расчет характеристик двигателя при частотном регулировании для закона $U/f = \text{const}$

Частоты напряжения преобразователя следующие:

$$f = 50 \text{ Гц}; \quad f_{12} = 25 \text{ Гц}; \quad f_{13} = 10 \text{ Гц}; \quad f_{14} = 5 \text{ Гц}.$$

Закон регулирования: $\frac{U}{f} = \text{const}$.

Номинальная частота напряжения преобразователя $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$.

Относительные значения частот напряжения преобразователя [8]:

$$\begin{aligned} f_{1жс} &= \frac{f}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1; & f_{2жс} &= \frac{f_{12}}{f_{1н}} = \frac{10}{50} = 0,2; \\ f_{3жс} &= \frac{f_{13}}{f_{1н}} = \frac{25}{50} = 0,5; & f_{4жс} &= \frac{f_{14}}{f_{1н}} = \frac{5}{50} = 0,1. \end{aligned}$$

В соответствии с заданным законом регулирования получим:

$$\frac{U_{1H}}{f_{1H}} = \frac{220}{50} = 4,4.$$

Найдем значения напряжения обмотки статора при заданных частотах:

$$U_{12} = 4,4 \times f_{12} = 4,4 \times 25 = 110 \text{ В}; \quad U_{13} = 4,4 \times f_{13} = 4,4 \times 10 = 44 \text{ В};$$

$$U_{14} = 4,4 \times f_{14} = 4,4 \times 5 = 22 \text{ В}.$$

Значения синхронной скорости при заданных частотах:

$$\omega_{01} = \omega_0 \times f_{1\text{жс}} = 78,534 \times 1 = 78,534 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \omega_0 \times f_{2\text{жс}} = 78,534 \times 0,5 = 39,27 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \omega_0 \times f_{3\text{жс}} = 78,534 \times 0,2 = 15,71 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \omega_0 \times f_{4\text{жс}} = 78,534 \times 0,1 = 7,85 \text{ рад/с}.$$

Электромеханические характеристики при регулировании скорости путем изменения частоты рассчитываем по следующей формуле, задаваясь скольжением от 0 до 1:

$$I_{2j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{X_{\text{кн}}^2 \times f_{j\text{жс}}^2 + \frac{R_1^2}{s} + \frac{R_2^2}{s \times X_m^2 \times f_{j\text{жс}}^2}}};$$

$$I_{1j} = \sqrt{I_0^2 + (I_{2j})^2 + 2 \times I_0 \times I_{2j} \times \sin j_{2j}},$$

$$\text{где } \sin j_{2j} = \frac{X_{\text{кн}} f_{j\text{жс}}}{\sqrt{\frac{R_1^2}{s} + \frac{R_2^2}{s \times X_m^2 \times f_{j\text{жс}}^2} + X_{\text{кн}}^2 f_{j\text{жс}}^2}}.$$

Электромеханические характеристики приведены на рисунках 9, 10 соответственно.

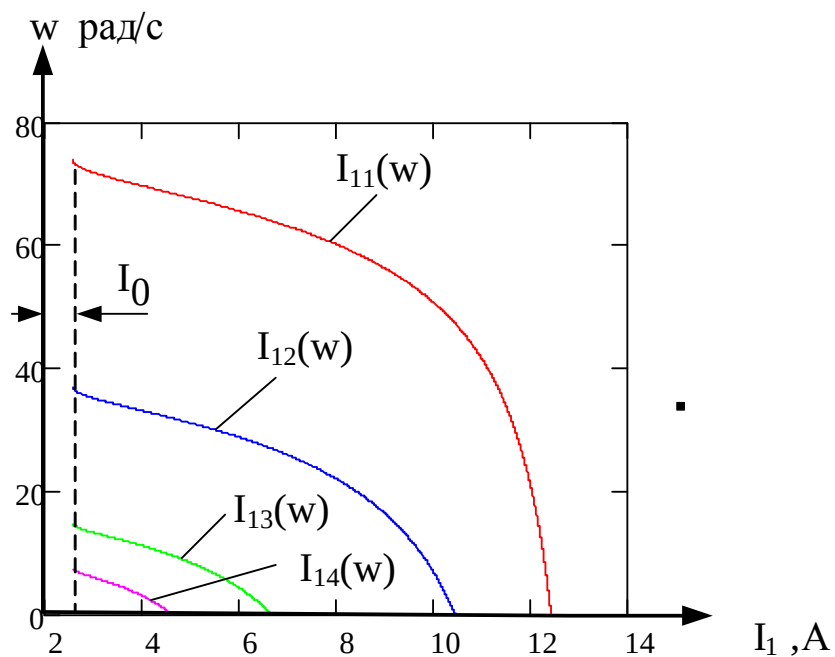


Рисунок 9 – Электромеханические характеристики $I_{1j} = f(w)$ при законе регулирования $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$.

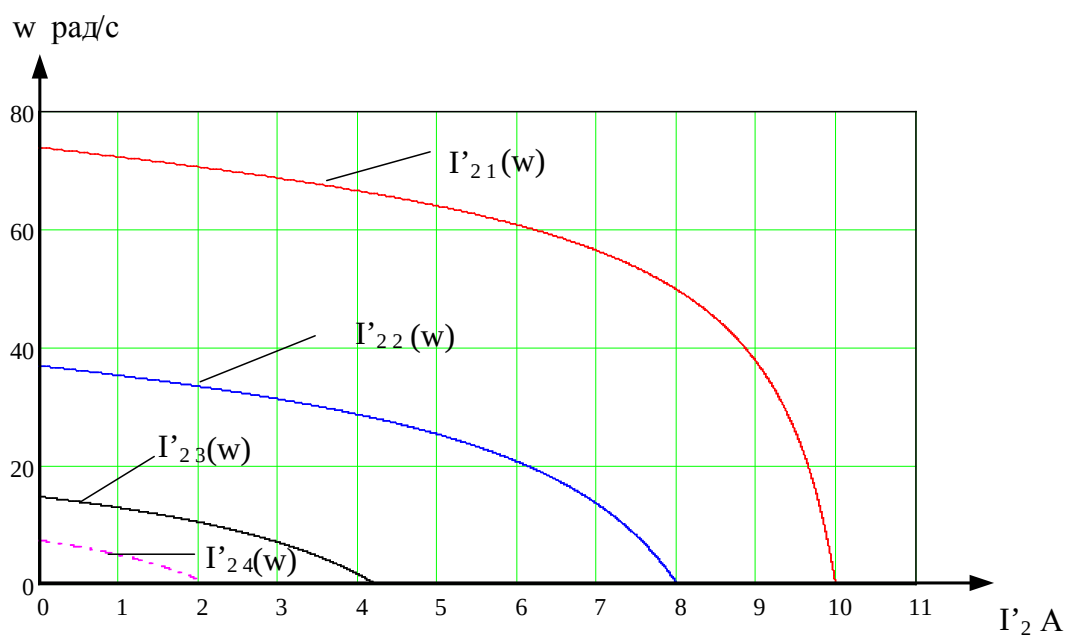


Рисунок 10 – Электромеханические характеристики $I'_{2j} = f(w)$ при законе регулирования $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$

Механические характеристики рассчитываются по выражению:

$$M_j = \frac{3U_{1j}^2 \times R_2}{w_{1j} s \hat{e} X_{\text{кн}}^2 \times f_{j\text{жс}}^2 + \frac{R_1}{s} + \frac{R_2}{s} + \frac{R_1 \times R_2}{s \times X_m \times f_{j\text{жс}}}} \cdot \frac{\dot{\omega}^2 \dot{U}}{\dot{\omega} \dot{U}}$$

Задаваясь скольжением от 0 до 1, строим механические характеристики асинхронного двигателя (рисунок 11).

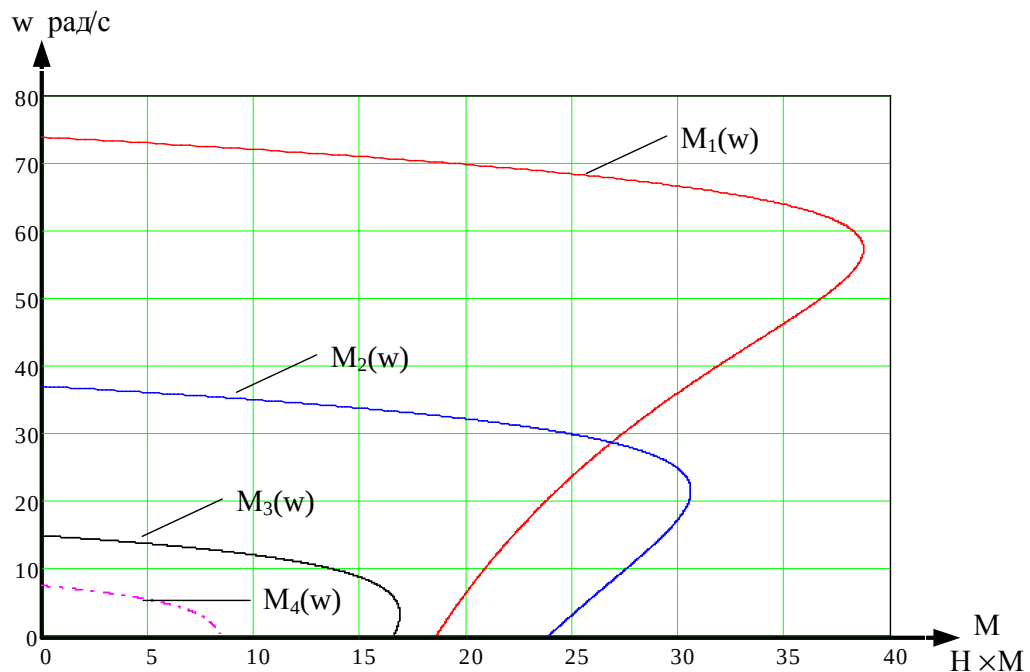


Рисунок 11 – Механические характеристики $M_j = f(w)$ асинхронного двигателя при законе управления $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$

При законе регулирования $U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$ критический момент обратно пропорционален частоте, пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты, критическое скольжение обратно пропорционально частоте, ток короткого замыкания обратно пропорционален квадратному корню из частоты.

6 Синтез контуров регулирования

6.1 Оптимизация контура скорости

Линеаризованная структурная схема системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, приведена на рисунке 12.

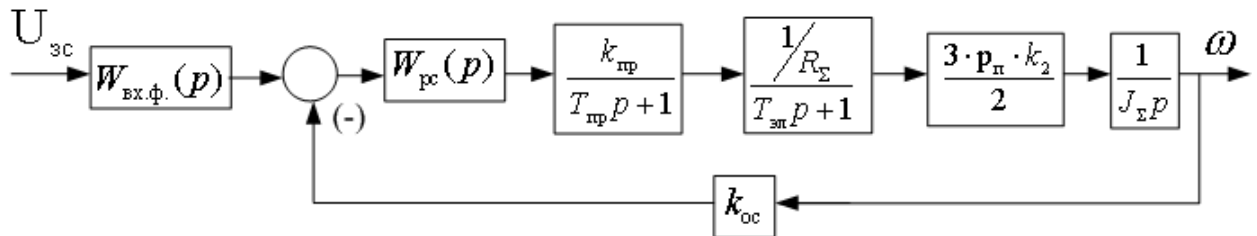


Рисунок 12. - Структурная схема контура скорости при оптимизации по СО

На рисунке 12 приняты следующие обозначения:

$W_{рс}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$k_{пр}$ - коэффициент преобразователя частоты $k_{пр} = 40$;

$T_{пр}$ - постоянная времени преобразователя частоты

$$\dot{\Omega}_{i\delta} = \frac{1}{f_{i\delta}} = \frac{1}{5000} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ н};$$

$T_{эл}$ - электромагнитная постоянная времени [10]

$$T_{эл} = \frac{L_{1\sigma} + L_m - \frac{L_m^2}{L_{2\sigma} + L_m}}{R_S}$$

$p_n = 4$ – число пар полюсов;

k_2 - коэффициент электромагнитной связи ротора $k_2 = \frac{L_m}{L'_2} = \frac{0,27}{0,021} = 12,85$;

$$R_S = R_1 + k_2 \mathcal{R}'_2 = 1,43 + 12,85 \times 1,35 = 18,78 \text{ Ом.}$$

$$T_{\dot{\omega}} = \frac{L_{1\sigma} + L_m - \frac{L_m^2}{L_{2\sigma} + L_m}}{R_S} = \frac{0,009 + 0,27 - \frac{0,27^2}{0,021 + 0,27}}{18,78} = 1,517 \times 10^{-3} \text{ н.}$$

k_{oc} - коэффициент обратной связи по скорости

$$k_{i\tilde{n}} = \frac{U_{\tilde{n}}}{n_f} = \frac{10 \times 9,55}{705} = 0,135;$$

J_S - суммарный момент инерции

$$J_S = J_{\tilde{a}\tilde{a}} + J_{\tilde{i}} = J_{\tilde{a}\tilde{a}} + \frac{1,5 \times J_{\tilde{a}\tilde{a}}}{i^2} = 0,013 + \frac{1,5 \times 0,013}{6,5^2} = 0,013 \hat{a} \tilde{a} \tilde{i}^2$$

6.1.1 Синтез регулятора скорости на симметричный оптимум

Разомкнутый контур скорости, настроенный на симметричный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$\begin{aligned} W_{ci}(\delta) &= \frac{4 \times T_{\mu c} \times p + 1}{8 \times T_{\mu c}^2 \times p^2 (T_{\mu c} \times p + 1)} = \frac{4 \times 0,2 \times 10^{-3} \times p + 1}{8 \times (0,2 \times 10^{-3})^2 \times p^2 (0,2 \times 10^{-3} \times p + 1)} = \\ &= \frac{0,0008 \times p + 1}{0,32 \times 10^{-6} \times p^2 (0,0002 \times p + 1)} \end{aligned}$$

где $T_{\mu c} = T_{np}$;

Передаточная функция разомкнутого контура скорости с учетом суммарной малой постоянной времени определяется следующим уравнением [10]:

$$\begin{aligned} W_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{c}\tilde{n}}(\delta) &= W_{pc}(p) \times \frac{k_{i\tilde{\delta}}}{\tilde{O}_{i\tilde{\delta}} \delta + 1} \times \frac{1/R_S}{\tilde{O}_{\tilde{y}\tilde{e}1} \delta + 1} \times \frac{3 \times \tilde{\delta}_{\tilde{i}} \times k_2}{2} \times \frac{1}{J_S p} \times k_{f\tilde{N}} = \\ &= W_{pc}(p) \times \frac{k_{i\tilde{\delta}}}{\tilde{O}_{i\tilde{\delta}} \delta + 1} \times \frac{1/R_S}{\tilde{O}_{\tilde{y}\tilde{e}1} \delta + 1} \times \frac{3 \times \tilde{\delta}_{\tilde{i}} \times k_2}{2} \times \frac{1}{J_S p} \times k_{f\tilde{N}} = \\ &= \frac{2,317 \times 10^{-3} \times p + 1}{2,317 \times 10^{-3} \times p} \times 4,248 \times \frac{40}{0,2 \times 10^{-3} \delta + 1} \times \frac{1/18,78}{1,517 \times 10^{-3} \delta + 1} \times \frac{3 \times 4 \times 12,85}{2} \times \frac{1}{0,013 p} \times 0,135 = \\ &= \frac{2,317 \times 10^{-3} \times p + 1}{2,317 \times 10^{-3} \times p} \times \frac{169,92}{0,2 \times 10^{-3} \delta + 1} \times \frac{0,053}{1,517 \times 10^{-3} \delta + 1} \times 7,1 \times \frac{10,38}{p} \end{aligned}$$

Отсюда получаем передаточную функцию регулятора скорости:

$$\begin{aligned}
W_{pc}(p) &= \frac{4 \times T_{\mu c} \times p + 1}{8 \times T_{\mu c}^2 \times p} \times \frac{(T_{\dot{y}\ddot{e}} \times p + 1) \times R_S \times 2 \times J_S}{k_{i\delta} \times 3 \times p_{\dot{I}} \times k_2 \times k_{\dot{I}\ddot{N}}} = \\
&= \frac{(4 \times T_{\mu c} + T_{\dot{y}\ddot{e}}) \times p + 1}{(4 \times T_{\mu c} + T_{\dot{y}\ddot{e}}) \times p} \times \frac{R_S \times 2 \times J_S \times (4 \times T_{\mu c} + T_{\dot{y}\ddot{e}})}{8 \times T_{\mu c}^2 \times k_{i\delta} \times 3 \times p_{\dot{I}} \times k_2 \times k_{\dot{I}\ddot{N}}} = \\
&= \frac{(4 \times 0,2 \times 10^{-3} + 1,517 \times 10^{-3}) \times p + 1}{(4 \times 0,2 \times 10^{-3} + 1,517 \times 10^{-3}) \times p} \times \frac{18,78 \times 2 \times 0,013 \times (4 \times 0,2 \times 10^{-3} + 1,517 \times 10^{-3})}{8 \times (0,2 \times 10^{-3})^2 \times 40 \times 3 \times 4 \times 12,85 \times 0,135} = \\
&= \frac{2,317 \times 10^{-3} \times p + 1}{2,317 \times 10^{-3} \times p} \times 4,248
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_{pc} &= \frac{R_S \times 2 \times J_S \times (4 \times T_{\mu c} + T_{\dot{y}\ddot{e}})}{8 \times T_{\mu c}^2 \times k_{i\delta} \times 3 \times p_{\dot{I}} \times k_2 \times k_{\dot{I}\ddot{N}}} = \\
&= \frac{18,78 \times 2 \times 0,013 \times (4 \times 0,2 \times 10^{-3} + 1,517 \times 10^{-3})}{8 \times (0,2 \times 10^{-3})^2 \times 40 \times 3 \times 4 \times 12,85 \times 0,135} = 4,248 \text{ - коэффициент усиления}
\end{aligned}$$

регулятора скорости;

$T_{pc} = (4 \times T_{\mu c} + T_{\dot{y}\ddot{e}}) = (4 \times 0,2 \times 10^{-3} + 1,517 \times 10^{-3}) = 2,31 \times 10^{-3} \text{ с}$ - постоянная времени интегрирования регулятора скорости.

5.1.2 Синтез регулятора скорости на модульный оптимум

Разомкнутый контур скорости, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{ci}(\delta) = \frac{1}{2 \times T_{\mu c} \times p \times (T_{\mu c} \times p + 1)} = \frac{1}{0,0004 \times p \times (0,2 \times 10^{-3} \times p + 1)}$$

где $T_{\mu c} = T_{np}$;

Разомкнутый контур скорости приравниваем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора скорости.

$$\begin{aligned}
W_{pc}(p) &= \frac{(T_{\dot{y}\ddot{e}} \times p + 1) \times R_S \times 2 \times J_S}{k_{i\delta} \times 3 \times p_{\dot{I}} \times k_2 \times k_{\dot{I}\ddot{N}} \times 2 \times T_{mc}} = \frac{(1,517 \times 10^{-3} \times p + 1) \times 18,78 \times 2 \times 0,013}{40 \times 3 \times 4 \times 12,85 \times 0,135 \times 2 \times 0,2 \times 10^{-3}} = \\
&= \frac{(1,517 \times 10^{-3} \times p + 1)}{0,682}
\end{aligned}$$

В данном случае получается пропорциональный регулятор с коэффициентом усиления $K_{pc} = \frac{18,78 \times 2 \times 0,013}{40 \times 3 \times 4 \times 12,85 \times 0,135 \times 2 \times 0,2 \times 10^{-3}} = 1,465$ и фильтром на входе $(1,517 \times 10^{-3} \times p + 1)$

6.2 Оптимизация контура веса

Структурная схема контура веса представлена на рисунке 13

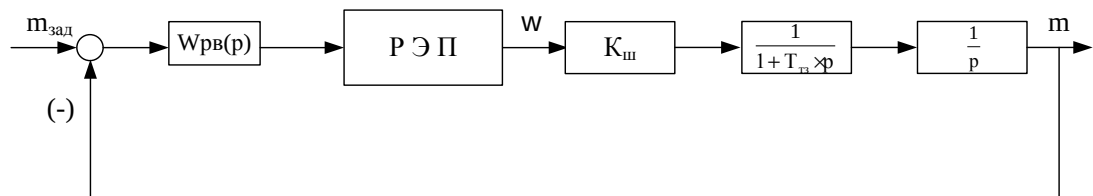


Рисунок 13 – Структурная схема линейризованного контура веса

На рисунке приняты следующие обозначения:

$W_{\delta\alpha}(\delta)$ - передаточная функция регулятора веса;

k_{θ} - коэффициент передачи шнека;

$T_{тз}$ - постоянная времени транспортной задержки.

6.2.1 Синтез регулятора веса на модульный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{\delta\alpha}(\delta) = \frac{1}{2 \times T_{\mu\alpha} \times p(T_{\mu\alpha} \times p + 1)} = \frac{1}{0,74 p(0,37 \times p + 1)} =$$

где $T_{\mu\alpha}$ - малая постоянная времени контура веса.

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равную величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\mu\alpha} = T_{тз} = 0,37с$.

Протекание процессов по контуру веса имеет медленный характер по сравнению с процессами регулируемого электропривода. Поэтому в данной автоматической системе регулируемый привод (частотный преобразователь) можно представить пропорциональным звеном.

$$K_{р\pi\pi} = \frac{W_{\delta\alpha}}{U_{\delta\alpha}} = \frac{12,04}{10} = 1,204$$

Исходя из формулы для секундной производительности, коэффициент шнекового питателя можно рассчитать по формуле:

$$\hat{E}_0 = \frac{S}{D} \times R^3 \times j_n \times g_0 = \frac{0,2}{0,25} \times 0,125^3 \times 0,864 \times 1230 = 1,6$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы (рисунок 12) определяется следующим образом [10]:

$$W_{\text{разкв}}(p) = W_{\text{рв}}(p) \times K_{\text{рзп}} \times \frac{k_{\text{ш}}}{p} \times \frac{1}{1 + T_{\text{тз}} \times p} = \frac{1}{2 \times T_{\text{мв}} \times p \times (T_{\text{мв}} \times p + 1)}$$

Отсюда получаем передаточную функцию регулятора веса:

$$W_{\delta\hat{a}}(\delta) = \frac{(\dot{O}_{\delta\hat{c}} \times \delta + 1)}{k_{\delta} \times k_{\delta\hat{y}\hat{i}} \times 2 \times T_{\mu\hat{a}} \times (T_{\mu\hat{a}} \times p + 1)} = \frac{1}{k_{\delta} \times k_{\delta\hat{y}\hat{i}} \times 2 \times T_{\mu\hat{a}}} = 0,7$$

где:

$$k_{\text{р}\hat{a}} = \frac{1}{k_{\delta} \times k_{\delta\hat{y}\hat{i}} \times 2 \times T_{\mu\hat{a}}} = \frac{1}{1,6 \times 1,204 \times 2 \times 0,37} = 0,7 \quad - \quad \text{коэффициент усиления}$$

регулятора веса;

Таким образом, при настройке контура веса на технический оптимум, получаем регулятор веса пропорционального типа с коэффициентом передачи $k_{\text{рв}}$.

6.2.2 Синтез регулятора веса на симметричный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на симметричный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$\begin{aligned} W_{\delta\hat{a}}(\delta) &= \frac{4 \times T_{\mu\hat{a}} \times p + 1}{8 \times T_{\mu\hat{a}}^2 \times p^2 (T_{\mu\hat{a}} \times p + 1)} = \frac{4 \times 0,37 \times p + 1}{8 \times 0,37^2 \times p^2 (0,37 \times p + 1)} = \\ &= \frac{1,48 \times p + 1}{1,095 \times p^2 (0,37 \times p + 1)} \end{aligned}$$

Отсюда получаем передаточную функцию регулятора веса:

$$\begin{aligned} W_{\delta\hat{a}}(\delta) &= \frac{4 \times T_{\mu\hat{a}} \times p + 1}{4 \times T_{\mu\hat{a}} \times p} \times \frac{1 \times (\dot{O}_{\delta\hat{c}} \times \delta + 1)}{k_{\delta} \times k_{\delta\hat{y}\hat{i}} \times 2 \times T_{\mu\hat{a}} \times (T_{\mu\hat{a}} \times p + 1)} = \\ &= \frac{4 \times 0,37 \times p + 1}{4 \times 0,37 \times p} \times \frac{1 \times (0,37 \times \delta + 1)}{1,6 \times 1,204 \times 2 \times 0,37 \times (0,37 \times p + 1)} = \\ &= \frac{1,48 \times p + 1}{1,48p} \times 0,7 \end{aligned}$$

$T_{\text{рв}} = 4 \times T_{\text{мв}}$ - постоянная времени регулятора веса.

Таким образом, при настройке контура веса на симметричный оптимум, получаем регулятор веса пропорционально-интегрального типа.

7. Моделирование системы частотно-регулируемого электропривода в программной среде *MATLAB*

В данной работе моделирование электропривода, реализующего скалярный метод управления, осуществляется с помощью средства визуального моделирования *SIMULINK*, входящего в более универсальный пакет *MATLAB*. Этот пакет наиболее близко подходит для моделирования частотно-регулируемого асинхронного электропривода, по сравнению с другими компьютерными программами, что связано с рядом его достоинств, речь о которых пойдет ниже.

Одним из основных достоинств пакета *MATLAB* является то, что для работы пользователю достаточно узнать о нем ровно столько, сколько требует решаемая задача [11]. Если же решаемая задача требует создания каких-либо специальных инструментов, *MATLAB* предоставляет в распоряжение пользователя практический универсальный язык объектно-ориентированного программирования в сочетании с различными средствами отладки создаваемых программ. Структура данного пакета позволяет эффективно сочетать основные подходы к созданию модели: аналитический и имитационный. Именно в среде математического моделирования *MATLAB* позволяет наиболее полно использовать все современные достижения компьютерных технологий, а так же возможности обмена данными через *Internet*. *MATLAB* позволяет создать пользователю собственный графический интерфейс, отвечающий как его вкусам так, так и требованиям решаемой задачи. Как следует из названия пакета, он ориентирован в первую очередь на обработку массивов данных (матриц и векторов), что позволяет повысить эффективность процедур, работающих с указанными типами данных, по сравнению с языками программирования “общего назначения” (*Pascal*; *C++*). С точки зрения пользователя, *MATLAB* представляет собой

богатейшую библиотеку функций (например, в *MATLAB 6.1* их около 1000). Для облегчения поиска библиотека функций разбита на разделы. Те из них, которые носят общий характер, входят в состав ядра данного пакета. Другие функции, относящиеся к конкретной области, включены в состав специальных разделов. В данный пакет входят как стандартные средства: решение дифференциальных и алгебраических уравнений, так и нетрадиционные, способные претендовать на определенную уникальность в своем роде: средства цифровой обработки изображений, поиск решений на основе нечеткой логики и т.д. Кроме того, имеются средства взаимодействия с популярными офисными продуктами компаний *Microsoft* – *Word* и *Excel*. Основное место среди наборов инструментов занимает система визуального моделирования *Simulink*. Следует отметить, что хотя изложение материала ориентировано на работу в среде *Windows*, система *MATLAB* не зависит от платформы и может работать под управлением других операционных систем, к примеру, *Unix*. Разработка моделей средствами *SIMULINK* основана на технологии *drag and drop* (перетаски и оставь). В качестве кирпичиков для построения моделей по средствам *SIMULINK* используются модули, хранящиеся в соответствующей библиотеке. Библиотека *SIMULINK* хороша тем, что с одной стороны, обеспечивает пользователю доступ ко всем основным возможностям пакета *MATLAB*, а с другой является достаточно самостоятельной его компонентой. Блоки, включаемые в создаваемую модель, могут быть связаны друг с другом, как по информации, так и по управлению. Тип связи зависит от типа блока и логики работы моделей. Данные, которыми обмениваются блоки, могут быть скалярными величинами, векторами, или матрицами произвольной размерности. Любая модель может иметь иерархическую структуру, т.е. состоять из более низкого уровня, причем число уровней иерархии практически не ограничено. Наряду с другими параметрами моделирования пользователь может задавать способ изменения модельного времени (с постоянным и переменным шагом) а также условие окончания моделирования в ходе моделирования имеется

возможность наблюдать за процессами, происходящими в системе. Для этого используются специальные «смотровые окна». Интересующие пользователя характеристики системы могут быть представлены как в числовой, так и в графической форме. Существует возможность включения в состав средств анимации.

Еще одно важное достоинство библиотеки *Simulink* заключается в том, что она является открытой системой: состав библиотеки может быть пополнен пользователем за счет разработки собственных блоков. Библиотека блоков *SIMULINK* представляет набор визуальных объектов, используя которые можно собирать, как из кубиков, произвольную конструкцию. Практически для всех блоков существует возможность индивидуальной настройки: пользователь может изменить как внутренние параметры блоков (например, количество входов), так и внешнее оформление (цвет, размеры). На порядок соединения блоков не накладывается никаких ограничений, но необходимо соблюдать ряд правил, обусловленных в основном логикой работы самой модели, а не специальными требованиями *SIMULINK*.

7.1 Разработка математической модели электродвигателя

Для построения имитационной модели необходимо принять определённый уровень идеализации свойств АД и ПЧ. В теории электропривода переменного тока общепринятыми допущениями принято считать следующее:

1. Не учитываются потери в стали.
2. Рассматриваем трёхфазный симметричный режим работы.
3. Насыщение магнитной цепи АД не учитывается.
4. Принимаем напряжения на выходе ПЧ строго синусоидальной формы.
5. Пренебрегаем влиянием силового канала между АД и ПЧ.

За основу проектирования можно принять классическую Т-образную схему замещения АД (рисунок 3).

Согласно этой схеме рассмотрим процессы, которые описывают эту модель АД, при этом будем использовать систему следующих векторных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 U_s &= R_s I_s + \frac{dy_s}{dt}; \\
 U_r &= R_r I_r + \frac{dy_r}{dt}; \\
 y_s &= L_s I_s + L_m I_r; \\
 y_r &= L_r I_r + L_m I_s; \\
 M &= \frac{3}{2} z_p (y_s' I_s); \\
 \frac{dw_r}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c).
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Здесь $U_s, U_r, I_s, I_r, y_s, y_r$ – двухэлементные векторы напряжений, токов и потокосцеплений, представленные в ортогональной (двухфазной) системе координат в виде составляющих по координатным осям. Механические параметры системы представлены следующими переменными: J – момент инерции, w_r – частота вращения ротора, z_p – число пар полюсов АД, M и M_c – электромагнитный момент и момент нагрузки. Вспомогательная матричная константа j служит для «переворота» компонентов векторных переменных и позволяет упростить форму записи системы уравнений.

С точки зрения математических формул можно записать следующее:

$ \begin{aligned} U_s &= \begin{bmatrix} \dot{u}_{sa} \\ \dot{u}_{sb} \end{bmatrix} & U_r &= \begin{bmatrix} \dot{u}_{ra} \\ \dot{u}_{rb} \end{bmatrix} & I_s &= \begin{bmatrix} \dot{i}_{sa} \\ \dot{i}_{sb} \end{bmatrix} & I_r &= \begin{bmatrix} \dot{i}_{ra} \\ \dot{i}_{rb} \end{bmatrix} \\ y_s &= \begin{bmatrix} \dot{y}_{sa} \\ \dot{y}_{sb} \end{bmatrix} & y_r &= \begin{bmatrix} \dot{y}_{ra} \\ \dot{y}_{rb} \end{bmatrix} & j &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} $	(6.2)
--	-------

В нашем случае индексы α и β будут соответствовать компонентам вектора в неподвижной системе координат.

Реальная асинхронная машина имеет 3 фазы, а будем моделировать двухфазную модель, и поэтому для того, чтобы осуществить переход между составляющими векторов в двухфазных координатах и трёхфазной координатной системы, используются формулы преобразования Кларка (*Clarke Transform*).

На примере преобразования вектора тока статора I_s , рассмотрим связь между составляющими в двухфазных координатах и трёхфазной системой (рисунке 14). Для остальных переменных преобразования будут идентичными.

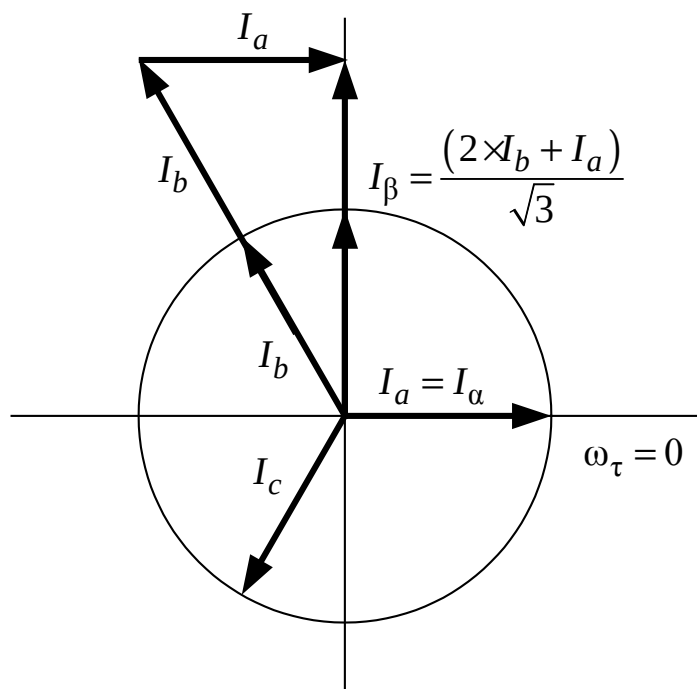


Рисунок 14 – Преобразование Кларка (*Clarke Transformation*)

$$i_{s\alpha} = i_{sa} \quad i_{s\beta} = \frac{(2i_{sb} + i_{sa})}{\sqrt{3}} \quad (6.3)$$

где $i_{s\alpha}$ $i_{s\beta}$ – составляющие вектора тока статора I_s , представленные в двухфазной неподвижной системе координат;

$i_{sa} \ i_{sb} \ i_{sc}$ – фазные токи статора АД, представленные в симметричной трёхфазной системе

Формула для обратного преобразования образуется из (6.3) после выполнения соответствующих математических преобразований.

Система уравнений (6.1) большое количество неизвестных и для уменьшения их числа, выполним следующую подстановку.

Зададимся целью исключить из системы уравнений переменные y_s и I_r , оставив y_r и I_s . Для этого из третьего и четвёртого уравнений системы (5.1) выразим I_r :

$$I_r = \frac{y_s - L_s I_s}{L_m}, \quad I_r = \frac{y_r - L_m I_s}{L_r} \quad (6.4)$$

Приравнивая обе части выражений, получаем:

$$y_s - L_s I_s = \frac{L_m}{L_r} (y_r - L_m I_s), \text{ из которого теперь выделяем } y_s:$$

$$y_s = \frac{L_m}{L_r} y_r + \frac{L_s}{L_r} L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \ddot{I}_s \quad (6.5)$$

После этого в первое уравнение системы (5.5) подставляем выражение для y_s , (5.6):

$$U_s = R_s I_s + \frac{dy_s}{dt} = R_s I_s + \frac{L_m}{L_r} \frac{dy_r}{dt} + \frac{L_s}{L_r} L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \frac{d\ddot{I}_s}{dt} \quad (6.6)$$

Во второе уравнение системы (5.1) подставляем I_r :

$$\begin{aligned}
U_r &= R_r I_r + \frac{dy_r}{dt} - j\omega_r z_p y_r = \\
&= R_r \frac{dy_r}{dt} - \frac{L_m I_s}{L_r} \ddot{\varphi} + \frac{dy_r}{dt} - j\omega_r z_p y_r = \\
&= \frac{dy_r}{dt} - j\omega_r z_p y_r + R_r \frac{y_r}{L_r} - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s = \\
&= \frac{dy_r}{dt} - \frac{R_r}{L_r} j\omega_r z_p y_r + \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} y_r - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s.
\end{aligned} \tag{6.7}$$

Из (6.7) получаем выражение для $\frac{dy_r}{dt}$ и подставляем в (6.6):

$ \begin{aligned} U_s &= R_s I_s + \frac{L_m}{L_r} \frac{dy_r}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} I_s - \frac{L_m^2}{L_r} \frac{\ddot{\varphi} dI_s}{dt} = \\ &= R_s I_s + \frac{L_m}{L_r} U_r + \frac{L_m}{L_r} \frac{R_r}{L_r} j\omega_r z_p y_r - \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} y_r + R_r \frac{L_m}{L_r} \ddot{\varphi} I_s + \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} I_s - \frac{L_m^2}{L_r} \frac{\ddot{\varphi} dI_s}{dt} \end{aligned} $	(6.8)
--	-------

Окончательно приводим уравнение (6.8) к следующему виду:

$$U_s - \frac{L_m}{L_r} U_r = R_s I_s + R_r \frac{L_m}{L_r} \ddot{\varphi} I_s + \frac{L_m}{L_r} \frac{R_r}{L_r} j\omega_r z_p y_r - \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} y_r + \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} I_s - \frac{L_m^2}{L_r} \frac{\ddot{\varphi} dI_s}{dt} \tag{6.9}$$

Теперь комбинируем вместе (6.7) и (6.9), после чего получаем систему эквивалентную (6.1), но состоящую только из двух уравнений с двумя неизвестными y_r и I_s . Кроме этого, помним о том, что для АД с короткозамкнутым ротором справедливо $U_r = 0$. Выражение для электромагнитного момента перепишем с использованием (6.5):

$$\begin{aligned}
U_s &= R_s I_s + R_r \frac{L_m}{L_r} \ddot{\varphi} I_s + \frac{L_m}{L_r} \ddot{\varphi} \omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} y_r + \ddot{\varphi} L_s - \frac{L_m^2}{L_r} \frac{dI_s}{dt}, \\
0 &= \frac{dy_r}{dt} - \ddot{\varphi} \omega_r z_p - \frac{R_r}{L_r} \ddot{\varphi} y_r - R_r \frac{L_m}{L_r} I_s, \\
M &= \frac{3}{2} z_p \frac{L_m}{L_r} (y_r' I_s), \\
\frac{dw_r}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c).
\end{aligned} \tag{6.10}$$

Для упрощения записи системы уравнений введём дополнительные коэффициенты и перейдём к операторной форме.

$$\begin{aligned}
U_s &= R_e I_s + K_r j \omega_r z_p y_r - K_r A_r y_r + L_e p I_s, \\
0 &= p y_r - j \omega_r z_p y_r + A_r y_r - R_r K_r I_s, \\
M &= \frac{3}{2} z_p K_r (y_r' I_s), \\
p w_r &= \frac{1}{J} (M - M_c).
\end{aligned} \tag{6.11}$$

где: $K_r = \frac{L_m}{L_r}$, $R_e = R_s + R_r \times K_r^2$, $L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$, $A_r = \frac{R_r}{L_r}$.

Систему (6.11) перепишем, выразив производные вектора тока и потокосцепления:

$$\begin{aligned}
p I_s &= \frac{1}{L_e} (U_s - R_e I_s - K_r \omega_r z_p j y_r + K_r A_r y_r), \\
p y_r &= R_r K_r I_s - A_r y_r + \omega_r z_p j y_r, \\
M &= \frac{3}{2} z_p K_r (y_r' I_s), \\
p w_r &= \frac{1}{J} (M - M_c).
\end{aligned} \tag{6.12}$$

Затем систему векторных уравнений (6.12) необходимо представить в скалярном виде, подставив вместо векторов y_r и I_s их

составляющие по координатам. Векторное произведение в выражении для электромагнитного момента раскроем в соответствии с правилами векторной алгебры. С учётом (6.2) получаем новую систему скалярных уравнений, имеющую следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \dot{p}i_{sa} &= \frac{1}{L_e} (u_{sa} - R_e i_{sa} - K_r w_r z_p j y_{rb} + K_r A_r y_{ra}), \\
 \dot{p}i_{sb} &= \frac{1}{L_e} (u_{sb} - R_e i_{sb} - K_r w_r z_p j y_{ra} + K_r A_r y_{rb}), \\
 p y_{ra} &= R_r K_r i_{sa} - A_r y_{ra} + w_r z_p j y_{rb}, \\
 p y_{rb} &= R_r K_r i_{sb} - A_r y_{rb} + w_r z_p j y_{ra}, \\
 M &= \frac{3}{2} z_p K_r (y_{ra} \times i_{sb} - y_{rb} \times i_{sa}), \\
 p w_r &= \frac{1}{J} (M - M_c).
 \end{aligned} \tag{6.13}$$

Общий вид системы уравнений (6.13) является наиболее подходящим для моделирования динамических режимов работы АД. Выбирая способ для решения системы дифференциальных уравнений, следует отдавать предпочтение численным методам высших порядков. Задача решения системы уравнений может быть также успешно решена с использованием средств структурного моделирования (*Simulink*). На рисунке 15 представлена структурная схема имитационной модели АД, созданная на базе системы дифференциальных уравнений (6.13).

Структурная схема имитационной модели дозирования сыпучих материалов с математической моделью АКЗ, собранная в среде MatLab, с законом управления $\frac{U}{f} = \text{Const}$ представлена на рисунке 16

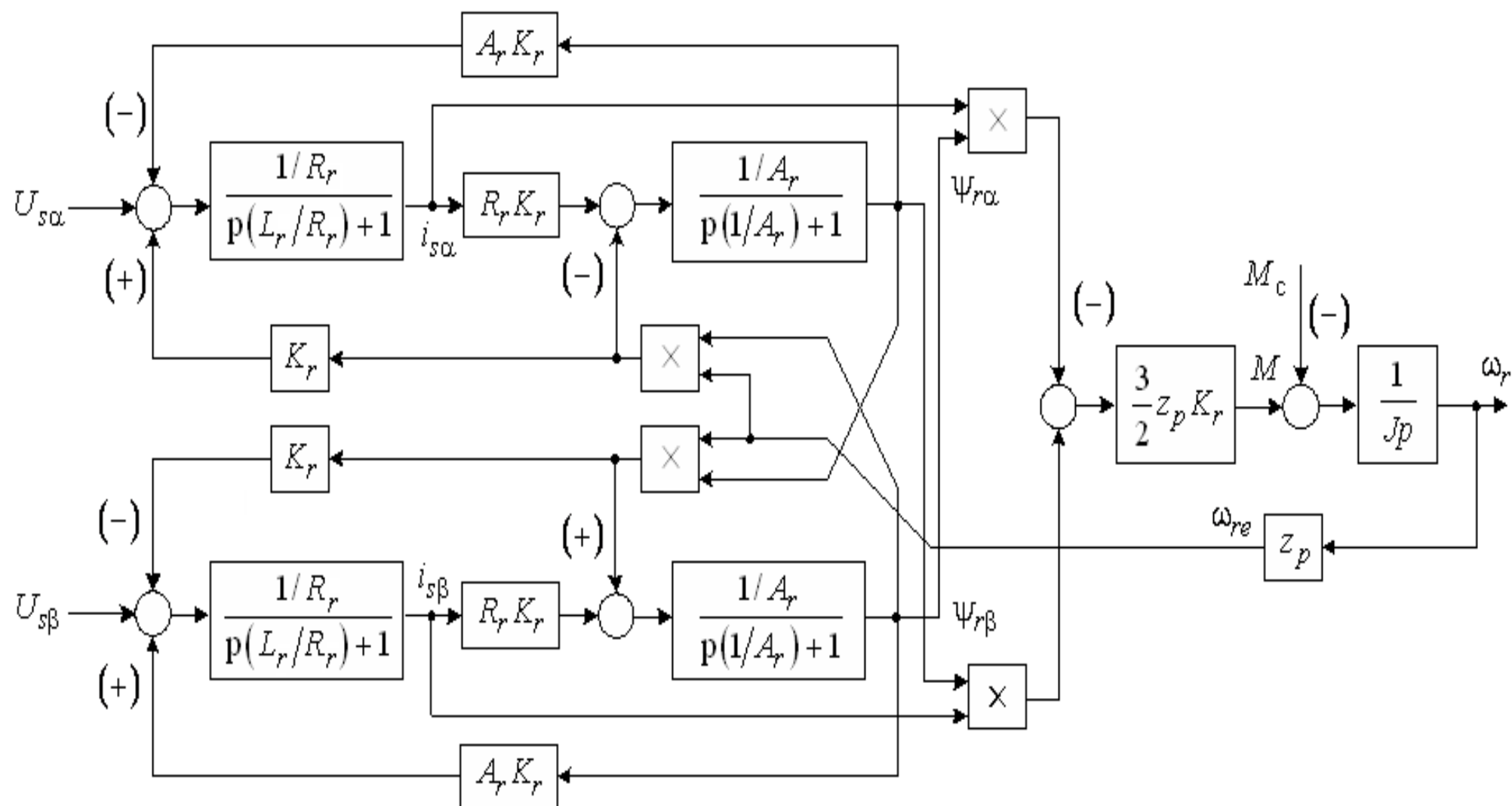


Рисунок 15 - Структурная схема АД при использовании неподвижной системы координат

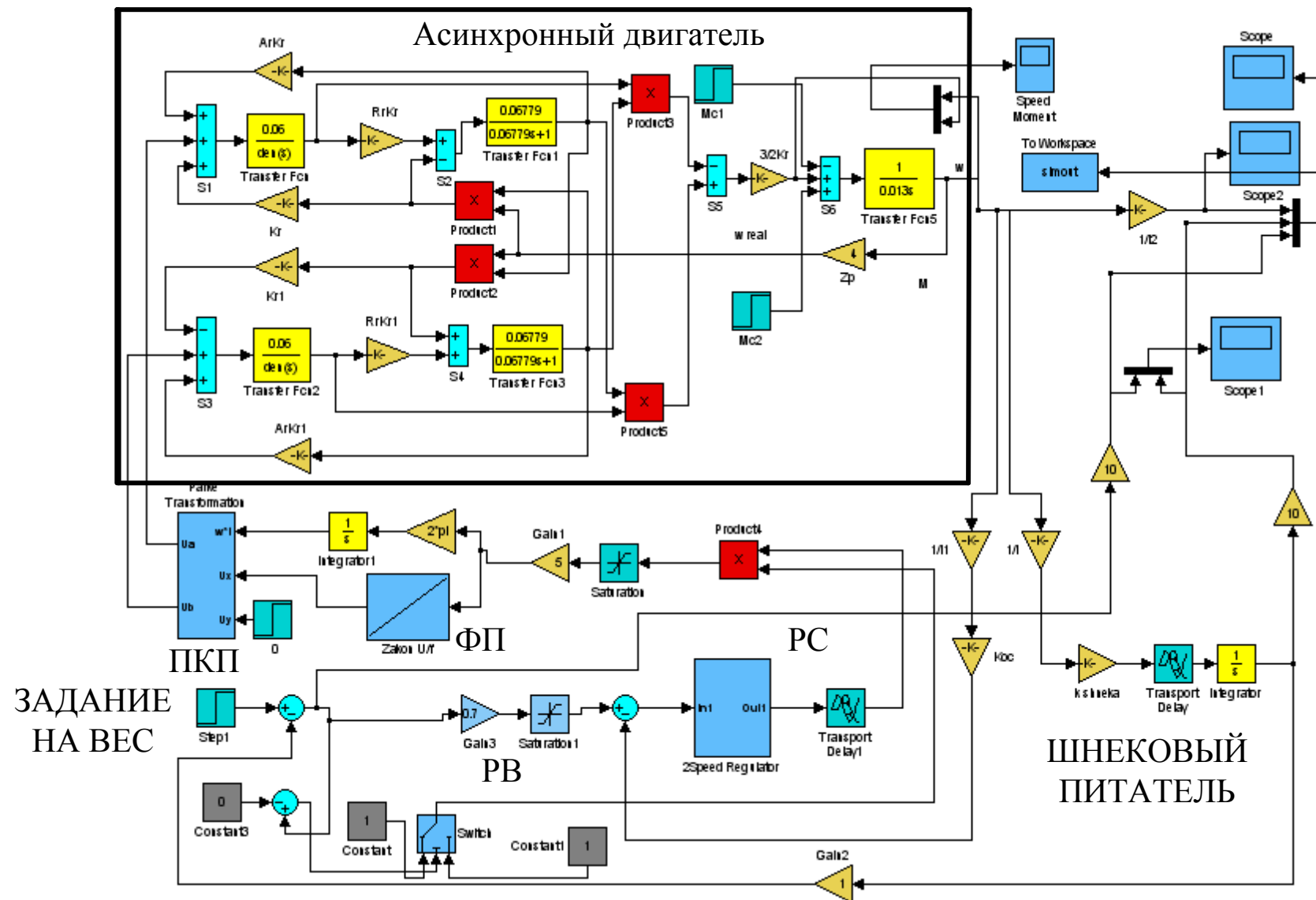


Рисунок 16 - Структурная схема имитационной модели дозирования сыпучих материалов в приложении *Simulink* из пакета *MATLAB*

На рисунке выделены основные элементы системы: ФП – функциональный преобразователь, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, ПКП – прямой координатный преобразователь (*Parke Transform*), задание на вес, нагрузка, РВ – регулятор веса, РС – регулятор скорости, шнековый питатель.

На входе двигателя стоит ПКП (рисунок 17), преобразующий вращающуюся систему координат в неподвижную. Перед ним включен ФП, интегратор, пропорциональное звено и ограничитель характеристик, образующие скалярное управление. Блок умножения служит для отключения двигателя, после того как будет насыпан заданный вес путем подачи 0 сигнала в блок умножения.

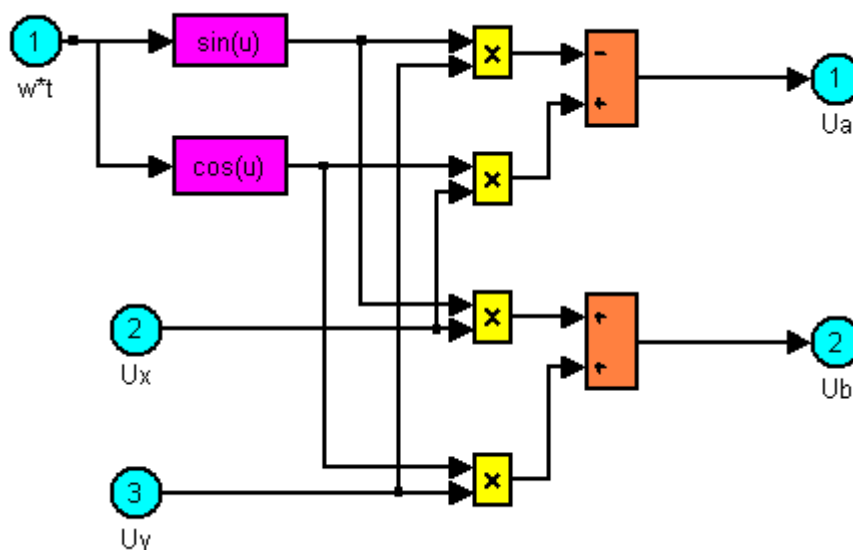


Рисунок 17 - Прямой координатный преобразователь (*Parke Transform*)

Математическая модель АКЗ питается напряжением, поступающим с ПКП. Далее следует П регулятор веса с ограничением (насыщением на уровне +/- 10 В). В системе установлен ПИ регулятор скорости также с насыщением на уровне +/-10 В.

Шнековый питатель представлен в виде коэффициента передачи с интегрирующим звеном.

Система была исследована при дозировании 1, 10, 100 и 200 кг.

7.2 Результаты моделирования системы автоматического дозирования

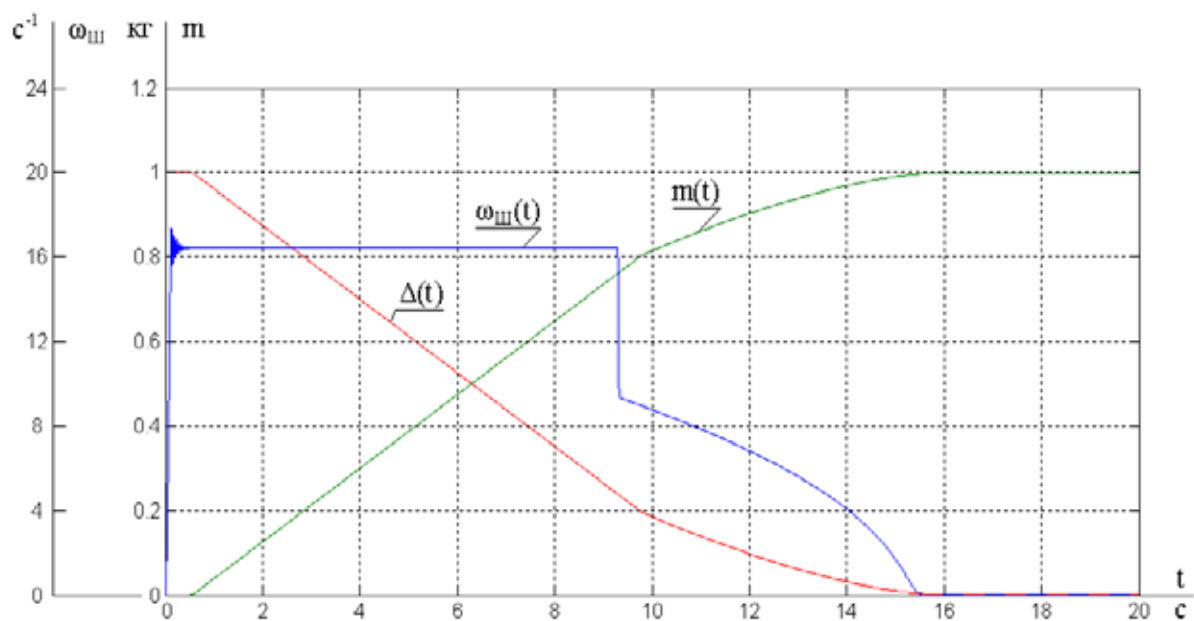


Рисунок 18 – Переходные процессы $\omega_{ш} = f(t)$, $m = f(t)$, $D = f(t)$ при дозировании 1 кг

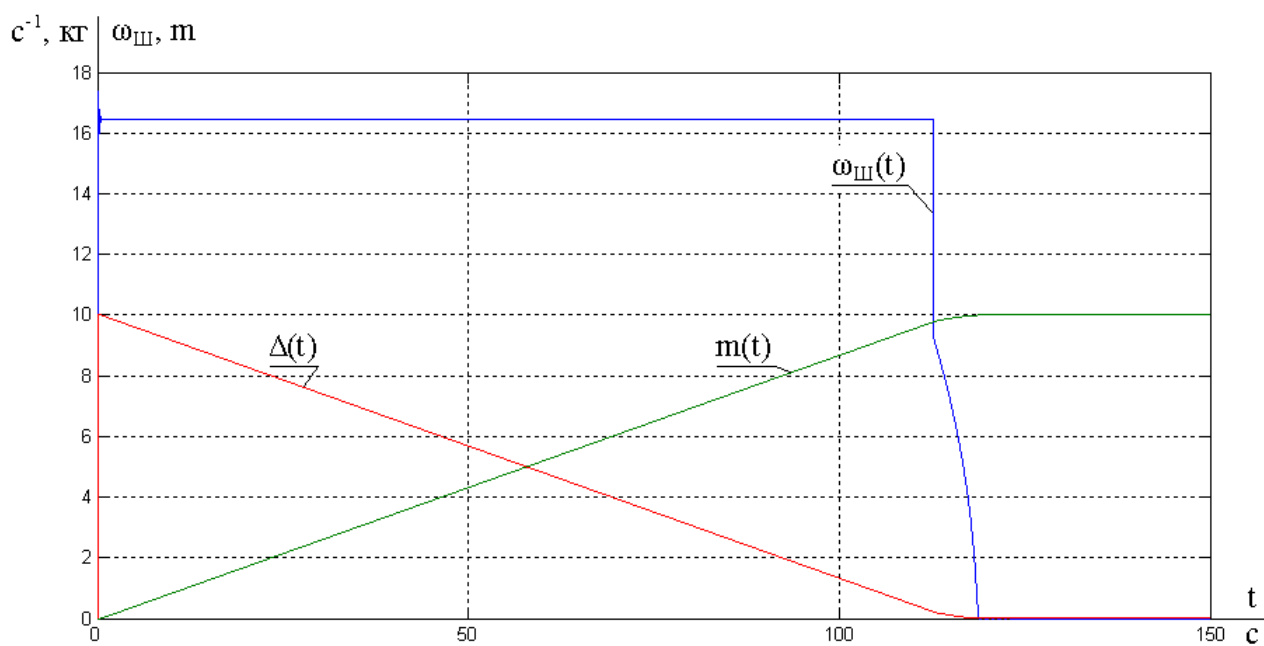


Рисунок 19 – Переходные процессы $\omega_{ш} = f(t)$, $m = f(t)$, $D = f(t)$ при дозировании 10 кг

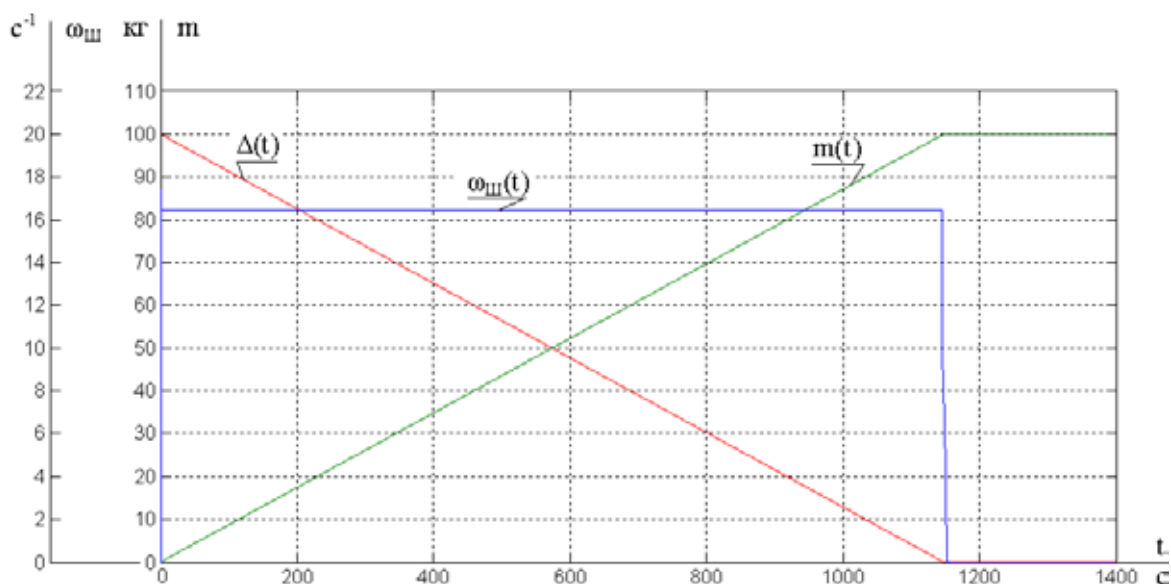


Рисунок 20 – Переходные процессы $w_{ш} = f(t)$, $m = f(t)$, $D = f(t)$ при дозировании 100 кг

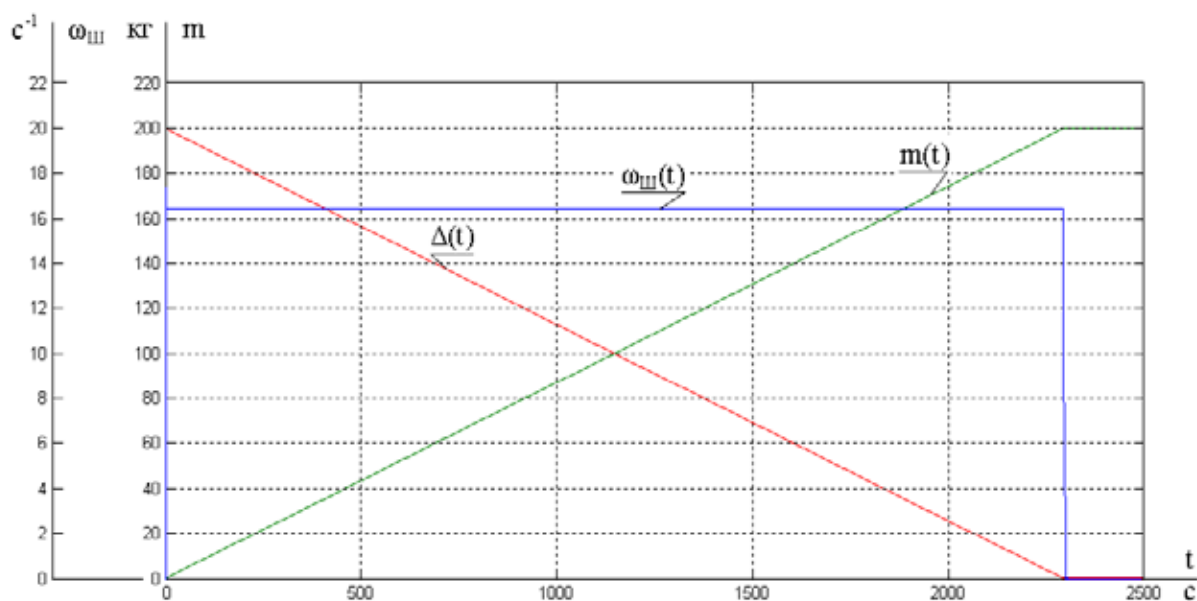


Рисунок 21 – Переходные процессы $w_{ш} = f(t)$, $m = f(t)$, $D = f(t)$ при дозировании 200 кг

В итоге можно сказать, что так как настройка контура скорости была произведена на СО система стала работа быстрее, чем если бы при настройке на МО, соответственно, производительность всей системы автоматического дозирования возросло. Ошибка дозирования небольшая, около 2 %, что удовлетворяет техническому заданию. Быстродействие системы хорошее. При дозировании 1 кг регулятор скорости не входит в насыщение. При

дозировании свыше 10 кг при настройке контура скорости на симметричный оптимум ПИ – регулятор входит в насыщение, чем достигается большее быстроедействие.

8. Автоматизация автоматической системы управления дозирования и смешивания компонентов кобмикормов

8.1 Программно–аппаратная реализация АСУ

Система имеет трехуровневую структуру (рисунок 22). Нижний уровень содержит датчики и исполнительные механизмы (включая электропривод). Средний уровень включает в себя управляющий контроллер и модуль релейной коммутации. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе персонального компьютера. Взаимодействие между верхним и средним уровнем осуществляется посредством интерфейса RS-485 на физическом уровне и специально разработанным протоколом обмена. Скорость обмена информацией между контроллером и АРМ оператора составляет 9600 бод. На нижнем уровне находятся ПЧ, силовые контакторы, датчики и т.д.

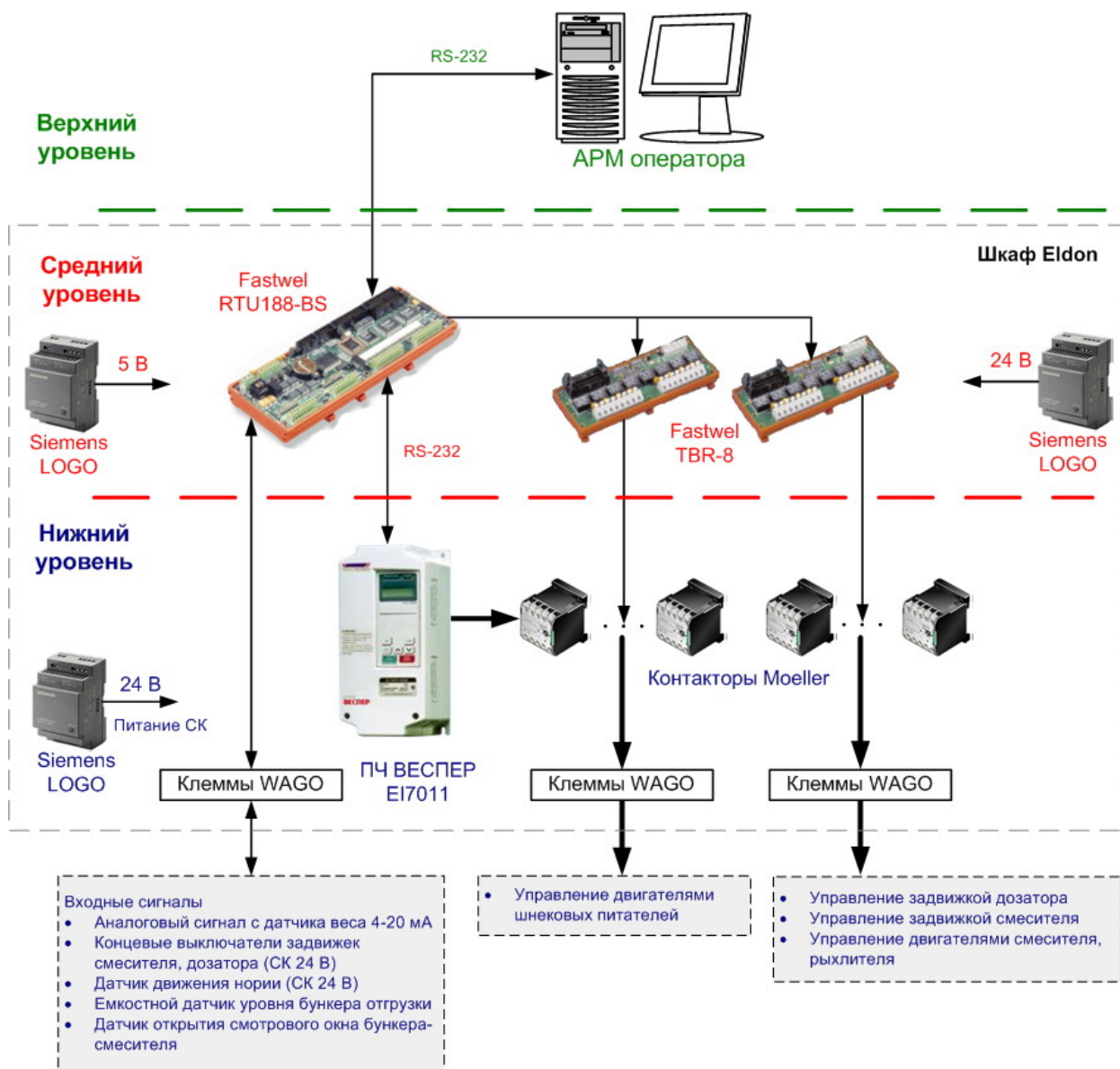


Рисунок 22 – Структура АСУ

8.2 Аппаратные средства

Двигатель задвижки бункера-дозатора включаются в сеть непосредственно через силовые контактор. Для шнекового питателя требуется плавное регулирование скорости, поэтому их двигатели управляются посредством преобразователя частоты.

Входными дискретными сигналами от технологического оборудования являются сигналы типа «сухой контакт» от концевых выключателей задвижки. Кроме того, на контроллер заводятся дискретные сигналы подтверждения включения контакторов. Напряжение питания большинства «сухих контактов» в схеме 24 В.

Измерение текущего веса бункера-дозатора осуществляется тремя тензодатчиками типа С2А-0,1-С1 фирмы «Тензо-М» (г. Москва). Сигналы с тензодатчиков поступают в суммирующий блок, а затем в нормирующий усилитель. Здесь сигнал усиливается, гальванически изолируется и нормализуется в стандартный токовый сигнал 4...20 мА. В этом виде информация о весе поступает в контроллер.

Выбор элементной базы среднего уровня обусловлен в первую очередь требованиями технического задания и стремлением к минимизации финансовых затрат при необходимом уровне надежности. В качестве вычислительного устройства на этом уровне используется контроллер фирмы Fastwel RTU188-BS [12]. Данный контроллер имеет 16 дискретных неизолированных входов-выходов, 16 оптоизолированных входов, 8 аналоговых входов с разрешением 12 бит, два последовательных порта: с интерфейсами RS-232 (порт 0) и RS-485 либо RS-232 (порт 1), флэш-память 512 кбайт, ОЗУ 512 кбайт. Тактовая частота процессора 40 МГц. Контроллер является конструктивно законченным устройством и может устанавливаться на DIN-рейку. Такой набор параметров контроллера при невысокой цене сделал его близким к оптимальному для решения поставленной задачи. Сопряжение порта выходных сигналов контроллера и обмоток силовых контакторов осуществляется через модуль релейной коммутации TBR-8. Он имеет 8 нормально разомкнутых однополюсных каналов, обеспечивающих возможность коммутации цепей при токе нагрузки до 10 А при 270 В переменного тока и 30 В постоянного тока. В нашем случае модуль используется для управления силовыми контакторами двигателя дозатора, а также для коммутации выходной цепи частотного преобразователя. Контроллер и модуль релейной коммутации питаются от блоков питания LOGO POWER фирмы Siemens на 5 В и на 24 В. Все оборудование, находящееся на среднем уровне АСУ ТП и частично на нижнем уровне расположено внутри герметизированного шкафа

7.3 Программные средства

Программное обеспечение на верхнем уровне разработано в среде Delphi 7 и работает под управлением операционной среды Windows XP. Так как с точки зрения разработки собственных SCADA-систем большими перспективами обладает именно программная среда Delphi. Это обусловлено рядом факторов – большая распространенность Delphi в инженерной среде, большим количеством утилит и компонентов, предназначенных как для управления аппаратными возможностями промышленных компьютеров, так и для реализации различных сетевых протоколов обмена. Однако в отличие от «классических» SCADA-систем реализация проектов в Delphi сопряжена с такими трудностями как необходимость создания проекта с нуля, сложность обнаружения ошибок в коде программы. На среднем уровне программное обеспечение реализовано на языке программирования C++ версии 3.11. В качестве операционной системы используется предустановленная дисковая операционная система FDOS фирмы Fastwel. Такой выбор средств разработки программного обеспечения обусловлен опытом предшествующих проектов.

7.4 Выбор преобразователя частоты

С точки зрения энергетики основным параметром электропривода является его мощность. Поэтому при выборе преобразователя частоты в первую очередь необходимо определить требования к его нагрузочной способности.

Вторым немаловажным параметром преобразователя являются требования к напряжению питающей сети. Как правило, преобразователи питаются от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В, разброс +10% / -15%, что вполне соответствует требованиям российских стандартов к качеству электроснабжения. Следует также отметить, что ряд производителей выпускают преобразователи частоты невысокой мощности (до 1,5 кВт) рассчитанные на работу от однофазной сети напряжением 220 –

240 В. Однако, ввиду понижения напряжения на звене постоянного тока, эти модели не могут формировать на выходе напряжение выше 220 В, поэтому они могут работать только с двигателями, обмотки статора которых соединены в треугольник. Также необходимо помнить, что такая схема подключения ведет к увеличению тока, как на входе, так и на выходе преобразователя частоты в сравнении с аналогичной моделью, работающей по стандартной схеме от трехфазной сети.

На следующем этапе выбора преобразователя частоты необходимо определить требования к его функциональным возможностям. Требуется выбрать способ управления двигателем: скалярное или векторное управление. Как уже говорилось ранее, векторное управление целесообразно выбирать в случаях, когда необходима высокая точность регулирования, поддержание момента на валу двигателя при малых скоростях вращения, т. е. для привода станков, мешалок, транспортеров.

В настоящее время существует большое количество различных преобразователей частоты. Ведущие позиции среди них занимают преобразователи таких фирм, как “ВЕСПЕР”, “Siemens”, “ABB”, “Danfoss”, “Omron”, “Mitsubishi”, “Schneider Electric”

Датский производитель преобразователей частоты компания Danfoss предлагает готовые элементы автоматизации технологических процессов на различных предприятиях с использованием частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Успешный опыт эксплуатации частотных преобразователей производства компании Danfoss демонстрирует эффективность применения данного вида оборудования с оборудованием в различных отраслях промышленности. Более того, в настоящее время существует устойчивая потребность в подобном взаимодействии со стороны эксплуатирующих организаций.

Частотные преобразователи производства компании Danfoss позволяют:

- осуществлять пуск асинхронного электродвигателя без превышения

номинального тока;

- производить разгон и торможение электродвигателя за заданные промежутки времени;
- плавно и ступенчато изменять скорость вращения электродвигателя;
- организовывать замкнутые системы автоматического регулирования;
- защищать электродвигатель от перегрузок, и многое другое.

Все устройства поставляются в виде законченных изделий и не требуют никакой доработки.

Компания Danfoss имеет достаточно большой опыт в использовании частотных преобразователей при модернизации приводов. Успешно решены сотни технологических задач с использованием частотных преобразователей практически во всех отраслях промышленности.

Компания Danfoss является не только изготовителем оборудования, но и принимает участие в его адаптации к конкретным технологическим процессам. Применение оборудования компании Danfoss позволяет экономить электроэнергию до 60%, повышает надежность гидросистем и снижает эксплуатационные затраты, увеличивает срок службы электродвигателей (в 1,5 - 2 раза), регулирующей, контрольно-измерительной и коммутационной аппаратуры, обеспечивает полную защиту двигателей.

8.4.1 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

Расчет инвертора

Так как двигатели шнековых питателей запитываем от преобразователя частоты последовательно, поэтому мощность преобразователя частоты должна соответствовать мощности выбранного двигателя.

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{c\max} = \frac{P_H \times k_1 \times \sqrt{2} \times k_2}{h_H \times \cos j_H \times \sqrt{3} \times U_{1H}} = \frac{1500 \times 1,4 \times \sqrt{2} \times 1,2}{0,76 \times 0,73 \times \sqrt{3} \times 380} = 9,76 A.$$

Условия выбора ПЧ: $I_c \geq I_{cmax}$.

Выбираем преобразователь частоты общепромышленного применения компании «Веспер» EI-7011 007H.

Технические характеристики:

- максимальная выходная мощность (мощность применяемого электродвигателя) - 5,5 кВт;
- полная мощность преобразователя - 7,5 кВА;
- номинальный выходной ток - 14 А;
- максимальное выходное напряжение - трехфазное 380...460 В (пропорционально входному напряжению);
- номинальная выходная частота - до 400 Гц (достигается посредством программирования);
- температура окружающей среды: от -10°C до +40°C (для исполнения в пластмассовом корпусе), - от -10°C до +45°C (для исполнения в металлическом корпусе);
- относительная влажность - не более 90%;
- высотность - не более 1000 м;
- вибрация - от 9,81 м/с² (1g) при менее, чем 20 Гц, до 1,96 м/с² (0,2g) от 20 до 50 Гц.

Стоимость: 25177 руб.

Расчет выпрямителя.

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\frac{I_{cmax}}{\sqrt{2}} \times U_{1H} \times \sqrt{3} \times \cos j_H + n \times P_T}{U_d} =$$
$$= \frac{\frac{9,76}{\sqrt{2}} \times 380 \times \sqrt{3} \times 0,73 + 3 \times 0,413}{888,5} = 3,76 A,$$

где $n=3$ – количество пар транзисторов и диодов в инверторе,

$U_d=U_{cc}=k_{сн} \times U_{1H} = 1,35 \times 380 = 888,5 В$ – напряжение звена постоянного тока.

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{cp} \times U_{ec} \times \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\rho} \times \cos j_H \right) = 6,97 \times 2 \times \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\rho} \times 0,73 \right) = 2,768 \text{ Вт},$$

где $I_{cp} = I_{cp} = \frac{I_{c\max}}{k_1} = \frac{9,76}{1,4} = 6,97 \text{ А}$. максимальная амплитуда тока через

обратный диод;

$D = 0,95$ - максимальная скважность.

Потери IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{SS} = I_{cp} \times U_{ce(sat)} \times \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\rho} \times \cos j_H \right) = 6,97 \times 2,2 \times \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\rho} \times 0,73 \right) = 3,045 \text{ Вт},$$

где $U_{ce(sat)} = 2,2 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на транзисторах в насыщенном состоянии.

Потери IGBT при коммутации:

$$\begin{aligned} P_{SW} &= \frac{1}{\rho\sqrt{2}} \times \frac{I_{cp} \times U_{cc} \times (t_{con} + t_{coff}) \times f_{SW}}{2} = \\ &= \frac{1}{3,14 \times \sqrt{2}} \times \frac{6,97 \times 888,5 \times (0,4 \times 10^{-6} + 0,7 \times 10^{-6}) \times 5000}{2} = 3,83 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

где $t_{con} = 0,4 \times 10^{-6} \text{ с}$ – продолжительность переходного процесса по цепи коллектора на открывание транзистора;

$t_{coff} = 0,7 \times 10^{-6} \text{ с}$ – продолжительность переходного процесса по цепи коллектора на закрывание транзистора;

$f_{SW} = 5000 \text{ Гц}$ – частота коммутации ключей.

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 3,045 + 3,83 = 6,875 \text{ Вт}.$$

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \times I_{cp} \times U_{cc} \times t_{rr} \times f_{SW} = \frac{1}{8} \times 6,97 \times 888,5 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 5000 = 0,77 \text{ Вт},$$

где $t_{rr} = 0,2 \text{ мкс}$ – продолжительность протекания обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 2,768 + 0,77 = 3,538 \text{ Вт}.$$

Результирующие потери ключа с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 6,875 + 3,538 = 10,413 \text{ Вт}.$$

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \times I_{dm} = 1,045 + 3,75 = 4,795 \text{ А},$$

где $k_{cc}=1,045$ – для мостовой трехфазной схемы выпрямления.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{zn} \times \sqrt{2} \times U_{1H} \times k_{CH} \times k_c + DU_n = 1,15 \times \sqrt{2} \times 380 \times 1,35 \times 1,5 + 150 = 1,4 \text{ кВ},$$

где $k_{zn}=1,15$ – коэффициент запаса по напряжению;

$k_c=1,5$ – коэффициент допустимого повышения напряжения;

$DU_n=150\text{В}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока инвертора:

$$C = \frac{\sqrt{3} \times I_{sm} \times \sin\left(\frac{j_H}{2} - \frac{\rho}{12}\right)}{2 \times U_d \times f_{sw} \times q_1} = \frac{\sqrt{3} \times 5,81 \times \sin\left(\frac{0,45}{2} - \frac{\rho}{12}\right)}{2 \times 888,5 \times 5000 \times 0,057} = 2,318 \text{ мкФ},$$

где $q_1 = \frac{2}{m_v^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0,057$ - коэффициент пульсации на входе фильтра,

$j_H = 0,45$ - угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока.

$$I_{sm} = \frac{\sqrt{2} \times P_H}{\sqrt{3} \times U_{1H} \times \cos j_H \times \eta_H} = \frac{\sqrt{2} \times 500}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,73 \times 0,76} = 5,81 \text{ А}.$$
 - амплитудное значение

тока в фазе двигателя.

Выбираем диоды Д222-32Х с максимальным обратным напряжением 1400В и средним прямым током 5А.

Схема подключения преобразователя частоты

Силовая схема регулируемого электропривода представлена на рисунке 24 [15]:

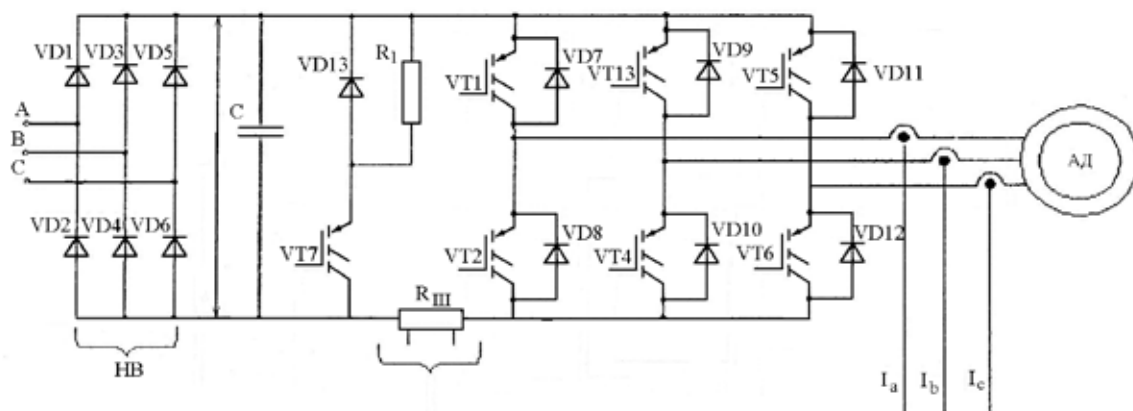


Рисунок 24 – Силовая схема регулируемого электропривода

Силовые элементы схемы:

Силовые IGBT – транзисторы - CM15TF – 12H;

Силовые диоды – RM30TC – 24;

Конденсатор – $C = 2,318 \text{ мкФ}$.

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным инвертором напряжения. Переменное напряжение трехфазной сети (фазы А, В и С) поступают на неуправляемый мостовой выпрямитель (диоды VD1 – VD6). Выпрямленное напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой емкости C и поступает на трехфазный инвертор VT1 – VT6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется по закону ШИМ – модуляции и поступает к статорным обмоткам АД.

В качестве силовых ключей инвертора используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD7 – VD13. Шунт $R_{ш}$ включен в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполнения функции

защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функцию согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

Конструктивно все элементы преобразователя размещены на двух платах, установленных друг над другом в пластиковом корпусе. На верхней крышке расположен жидкокристаллический индикатор и пульт управления. Непосредственно под крышкой находится основная плата управления. На ней располагаются компоненты микропроцессорной системы и разъемы для подключения дополнительных и внешних устройств.

На силовой плате размещен силовой модуль с IGBT транзисторами, драйвера, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединен с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этом же радиаторе размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом.

8.5 Модуль микроконтроллера RTU188

Выбор именно данного модуля микроконтроллера обусловлен его широкими функциональными возможностями, а также опытом его

использования в подобных автоматических системах управления разработчиками.

Назначение

Модуль микроконтроллера RTU188 выполнен в виде автономного устройства и предназначен для использования в системах управления, сбора данных, контроля и т.п. Модуль может работать в автономном или подчинённом режиме. Кроме того, RTU188 может быть подключён к сетям RS232/RS422/RS485, что делает возможным использование микроконтроллера в распределенных системах. Модуль RTU188 может быть установлен как на DIN рельсу так и на панель [18].

Подключение к модулю RTU188 внешних устройств

Ниже приведен перечень интерфейсных плат и устройств, которые могут быть подключены к модулю RTU188:

- RS232 совместимые устройства
- 2/4-х проводные RS422/RS485 сети
- модули УСО с гальванической развязкой (через плату MPB-24 или TBI-24/16L, TBI-24LC)
- терминальные платы с гальванической развязкой TB1-xx/xx
- удаленная кнопка RESET (изолированная от системы)

Составные части

Процессор

Am188ES, частота 40 МГц

Супервизор и сторожевой таймер

Модуль процессора имеет супервизор (микросхема отслеживающая сбой напряжения питания) и сторожевой таймер.

Супервизор формирует аппаратный сигнал RESET при понижении питания ниже 4.6 В или при нажатии кнопки сброса.

Сторожевой таймер может использоваться для исключения программных зависаний. Срабатывание сторожевого таймера происходит при отсутствии программных подтверждений в течении примерно 1.6 секунды.

Оперативное Запоминающее Устройство (ОЗУ)

Модуль имеет внутреннюю статическую оперативную память размером 512 Кбайт.

Перепрограммируемое Постоянное Запоминающее Устройство (FDD)

Для хранения кодов программ и долговременной информации в модуле установлена микросхема электрически перепрограммируемой памяти (далее FFD- Fastwel Flash Disk) размером 512 Кбайт с поддержкой файловой системы.

Часы реального времени RTC

RTU188 имеет часы реального времени, построенные на микросхеме DS1307. Эта микросхема содержит 56 доступных пользователю байт энергонезависимой статической памяти. Для питания микросхемы DS1307 используется встроенная литиевая батарея.

Последовательные порты (X3,J4,J6)

Микроконтроллер имеет два асинхронных последовательных порта. Встроенный в RTU188 порт COM1 (соединитель J4) консольный и содержит полный состав сигналов интерфейса RS232. Встроенный в RTU188 порт COM2 (соединитель J6) может быть использован как не изолированный последовательный асинхронный порт RS232 с не полным набором сигналов, либо как изолированный порт (соединитель X3) для работы в сети RS485/RS422.

Порт изолированного дискретного ввода (X4, X5)

Микроконтроллер имеет 16-ть каналов оптоизолированного дискретного ввода. Все каналы имеют общую землю. Предусмотрен один диапазон

входного сигнала 24 вольта. Резистор в цепи сигнала имеет сопротивление 4,7 кОм. Для питания сухих контактов микроконтроллер поставляется со встроенным гальванически изолированным DC/DC преобразователем.

Порт изолированного аналогового ввода (XI, X2)

Модуль RTU188 имеет изолированный порт аналогового ввода и позволяет измерять 8 аналоговых входов с точностью 12-бит в диапазонах 0..5 В, 0..10 В, +5 В, +10 В (диапазон устанавливается программно по любому каналу) или 0..20 тА.

Универсальный порт дискретного ввода - вывода (J5)

RTU188 содержит 16 -ть не изолированных каналов дискретного ввода - вывода. Уровни сигналов каждого канала соответствуют уровням ТТЛ — логики. Нагрузочная способность каждого канала 12 мА. Каналы 8-14 выводятся на соединитель J5 как непосредственно так, и через буферные схемы с возможностью коммутации сигналов 24 В, 300 мА. Каналы этого порта могут быть использованы следующим образом:

- Каждый канал может быть настроен либо на ввод либо на вывод данных.
- Любое число пар каналов с нулевого по седьмой (до четырёх) может быть настроено на работу с аналоговыми модулями серии 73L фирмы Grayhill. При этом каналы с чётными номерами должны быть настроены на режим вывода, а с нечётными - на режим ввода. Остальные каналы могут быть использованы произвольно.

Удаленный Сброс

Подсоединение к соединителю J3 внешней кнопки, позволяет формировать удаленный изолированный от системы сигнал сброса модуля RTU188.

Порт расширения минимальной конфигурации UNIO48 (J1,J2)

Универсальный порт ввода - вывода UNIO48 (разъемы J1, J2) совместим по выходным контактам и управлению с модулем UNIO48-5 фирмы Fastwel. Порт реализован на программируемых логических

микросхемах FPGA и предназначен для ввода-вывода 48 логических сигналов. Схема порта может изменяться непосредственно в системе без выключения питания.

Каналы порта могут использоваться для подключения модулей УСО с гальванической развязкой, счета импульсов, измерения и формирования частоты, формирования временных диаграмм и т.д. Этот порт позволяет использовать имеющиеся прошивки для платы UNIO48 Fastwel фирмы.

Электропитание модуля RTU188

Электропитание модуля RTU188 производится через соединитель X6. Примечание: расположение элементов модуля микроконтроллера Fastwel RTU 188 на верхней стороне платы.

Программное обеспечение

Базовое программное обеспечение

При поставке FFD модуля содержит программы, обеспечивающие готовность изделия к немедленной эксплуатации:

- встроенную операционную систему совместимую с DOS 6.22
- сервисную программу загрузки/выгрузки данных (ftrans.exe)
- удаленный отладчик (tdrl 88.exe)
- утилиты загрузки схемы порта UNIO48 (isp188.exe, isl188.exe)
- программу записи системных файлов FFD (nwriter.com)

Кроме того, в комплект поставки модуля входит дискета с примерами программирования модуля и файлами вариантов схем загрузки порта UNIO48.

Установление связи между ПЭВМ и модулем

Для установления связи между персональной электронной - вычислительной машиной (ПЭВМ) и модулем необходимо:

1. установить на ПЭВМ пакет терминального программного обеспечения SmartLink или любой другой терминальный пакет с параметрами последовательной связи:

- порт ПЭВМ (COM1/COM2)
- 8 бит данные
- 1 стоп бит
- без контроля четности
- скорость обмена 115200 Кбит/сек, (если установлен только один из переключателей ST1, ST2), или 9600 Кбит/сек., если установлены оба переключателя ST1, ST2).

2. при выключенном питании ПЭВМ и модуля подключить кабель VTC-9F через нуль - модем к соединителю J4 (если установлен переключатель ST1, а переключатель ST2 не установлен или если установлены оба этих переключателя), либо к соединителю J6 (если ST1 переключатель не установлен, а переключатель ST2 установлен).

3. включить питание или нажать кнопку удалённого RESET (если п.п. 1, 2 выполнять не требуется и питание включено). В случае успешного установления связи, после загрузки операционной системы, на экране ПЭВМ появится сообщение следующего вида

```
RTU188 SN:010100.001 RTU188 BIOS
Version 1.0 02.10. 00 Copyright ©
2000 Fastwel Inc.XILINX:
XCS05 16.10.00 XC5204 08.12.98 P55
XC5204 08.12.98 P55 FDOS Version 6.62
```

Даты, номера версий, сведения о наличии дополнительных микросхем программируемой логики и их прошивках зависят от конкретного экземпляра модуля RTU188.

4. для загрузки операционной системы без выполнения команд файлов CONFIG.SYS и AUTOEXEC.BAT необходимо после включения питания или RESET нажать на клавиатуре ПЭВМ комбинацию клавиш **Ctrl-B** или **Ctrl-C** для пошагового выполнения команд.

Утилиты загрузки схемы порта UNIO48

Модуль RTU188 имеет две микросхемы (в варианте MX) программируемой логики. Фирмой Fastwel разработан ряд программ настроек для этих микросхем, ориентированных на конкретные области применения. Каждая из настроек может либо храниться постоянно во флеш-памяти модуля и автоматически записываться в микросхемы программируемой логики при каждой загрузке операционной системы модуля либо её можно записать принудительно в эти микросхемы. В последнем случае записанная программа будет использоваться только до следующей перезагрузки операционной системы.

Особенности создания прикладного программного обеспечения для модуля RTU188

Технология создания прикладного программного обеспечения для модуля не отличается от принятой для IBM-PC совместимых компьютеров в тех случаях, когда используются ресурсы операционной системы (совместимой с MS-DOS 6.22) и базовой системы ввода-вывода (ROM-BIOS).

Однако модуль RTU188 имеет аппаратные особенности организации контроллера прерываний, контроллера DMA, встроенных таймеров и портов последовательной связи (COM1,2), которые необходимо учитывать, в частности, при создании программ обработки аппаратных прерываний, программирования таймеров или при прямом программировании COM-портов.

Модуль релейной коммутации TBR8

Выбор именно данного модуля релейной коммутации обусловлен также его широкими функциональными возможностями, а также опытом его использования в подобных автоматических системах управления разработчиками.

Назначение панели релейной коммутации TBR8 (далее, - платы)

Плата предназначена для коммутации силовых цепей переменного и постоянного тока с помощью электромагнитных реле. Плата предназначена для применения в составе устройств и функциональных блоков, выполненных на базе микроконтроллеров, процессорных и периферийных модулей фирм Octagon Systems и Fastwel [19].

Плата имеет 8 нормально разомкнутых однополюсных (SPST) каналов, обеспечивающих возможность коммутации цепей при токе нагрузки до 10 А при 270 В переменного тока и/или 30 В постоянного тока.

Управление каналами релейной коммутации осуществляется выходами портов дискретного ввода-вывода общего назначения, имеющими уровни ТТЛ или КМОП.

При подключении платы к портам дискретного ввода-вывода, которые выполнены на базе микросхем, функционально совместимых с адаптерами параллельного интерфейса 82C55 (580BB55), 16 линий порта, которые не задействованы для управления каналами релейной коммутации, могут использоваться для работы с другими устройствами через дополнительный 26-контактный соединитель, входящий в состав платы.

Технические данные

Характеристики:

Количество каналов релейной коммутации — 8. Тип контактных групп реле — нормально разомкнутые однополюсные (SPST-NO).

Параметры коммутируемой нагрузки:

- 270 В при 10 А переменного тока частотой 50 Гц;
- 30 В при 10 А постоянного тока.

Номинальное время срабатывания реле 8 мс.

Номинальное время отпускания реле 5 мс.

Сопротивление замкнутых контактов реле не более 50 мОм (при поставке).

Напряжение пробоя изоляции между катушкой управления и коммутируемыми цепями не менее 2500 В.

Механический ресурс контактных групп реле не менее 10000000.

Электрический ресурс контактных групп реле не менее 100000.

Примечание: Данные по ресурсам контактных групп приведены для коммутации 125 В при 10 А переменного тока.

Параметры варисторной защиты выходных цепей от перенапряжения :

- максимальное рабочее напряжение варистора 400 В переменного тока;
- классификационное напряжение варистора 610В при постоянном токе 1мА;
- максимальный пиковый ток варистора 1200 А при длительности импульса не более 20 мкс.

Тип индикации состояния реле — светодиодная индикация состояния цепей управления реле.

Требования по питанию:

Напряжение питания цепей управления реле – 24 В постоянного тока с допустимым отклонением от плюс 10 до минус 10% при потребляемом токе не более 300 мА.

Напряжение питания логических цепей платы – 5 В постоянного тока с допустимым отклонением от плюс 5 до минус 5% при потребляемом токе не более 20 мА.

Устройство и работа платы

Структурная схема платы:

Структурная схема платы TBR8 приведена на рисунке 25.

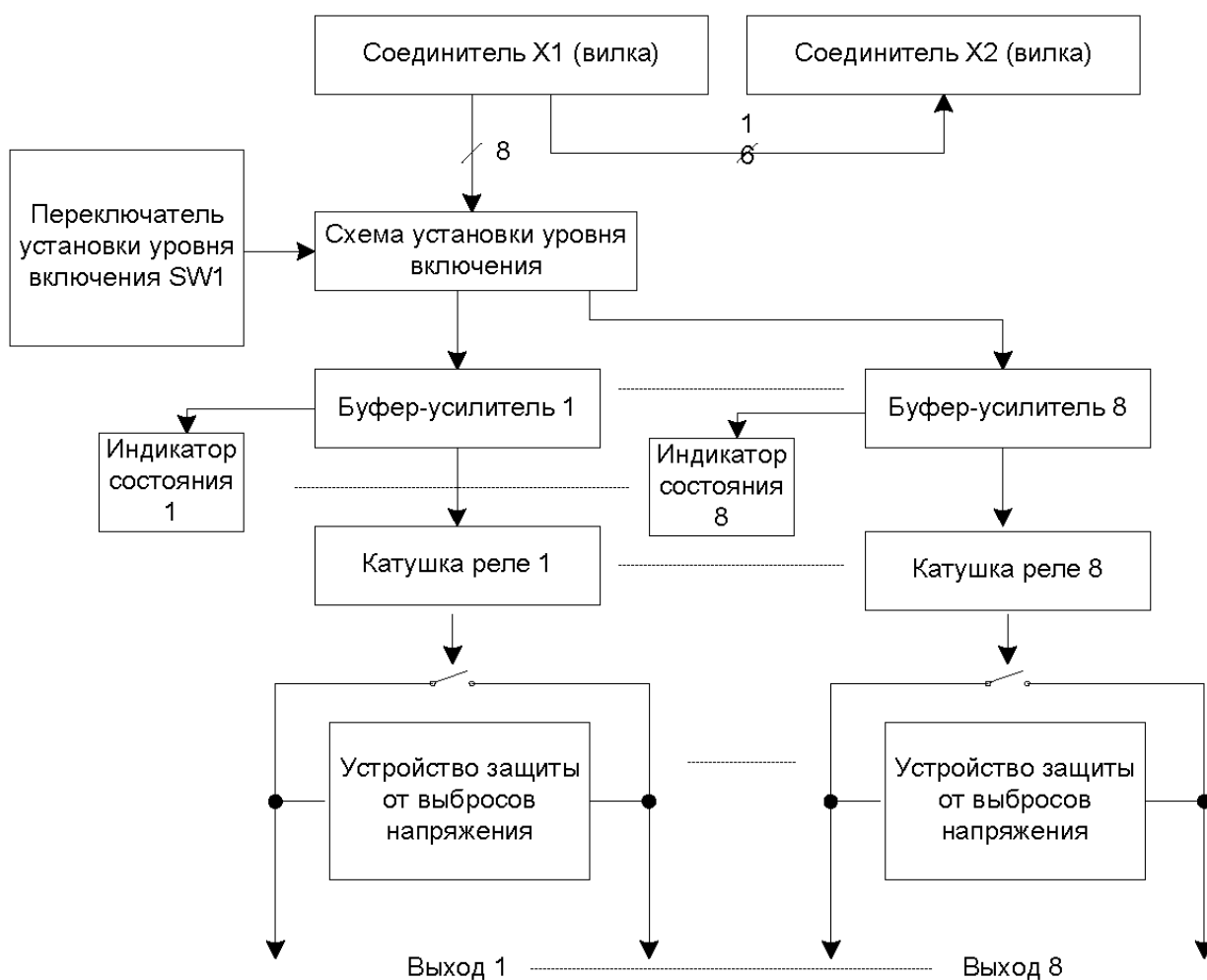


Рисунок 25 – Структурная схема платы TBR8

Подключение платы к 24-канальному порту дискретного ввода-вывода осуществляется через 26-контактный соединитель X1 кабелем соединительным FC-26.

Для управления 8-ю каналами релейной коммутации платы используется 8 каналов порта, настроенных на вывод. Остальные 16 каналов порта, которые не используются платой, выведены в 26-канальный соединитель X2. Если для управления платой применяется порт дискретного ввода-вывода, совместимый с адаптером параллельного интерфейса 82C55 (580BB55), то включение/выключение каналов релейной коммутации платы осуществляется линиями группы С порта дискретного ввода-вывода.

Сигналы управления каналами релейной коммутации, имеющие уровни ТТЛ, поступают на схему установки уровня включения, состоящую из 8-ми элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. Если при этом переключатель SW1 находится в замкнутом положении, то включение каналов релейной коммутации (замыкание контактных групп реле) осуществляется сигналом с уровнем логической 1. Если переключатель SW1 переведен в разомкнутое положение, то включение канала релейной коммутации производится уровнем логического 0.

Выходы схемы установки уровня включения соединены с буферами-усилителями, которые выполнены на базе полупроводниковых ключей с повышенной нагрузочной способностью в интегральном исполнении и предназначены для управления катушками реле.

Индикаторы состояния каналов релейной коммутации включены параллельно катушкам реле. При включении канала релейной коммутации происходит включение соответствующего светодиодного индикатора состояния.

Параллельно с контактной группой реле включено устройство защиты от кратковременных выбросов напряжения, которые происходят при коммутации контактной группой высокоиндуктивных нагрузок и снижают ресурс контактной группы.

Схема электрическая принципиальная одного канала релейной коммутации приведена на рисунке 26.

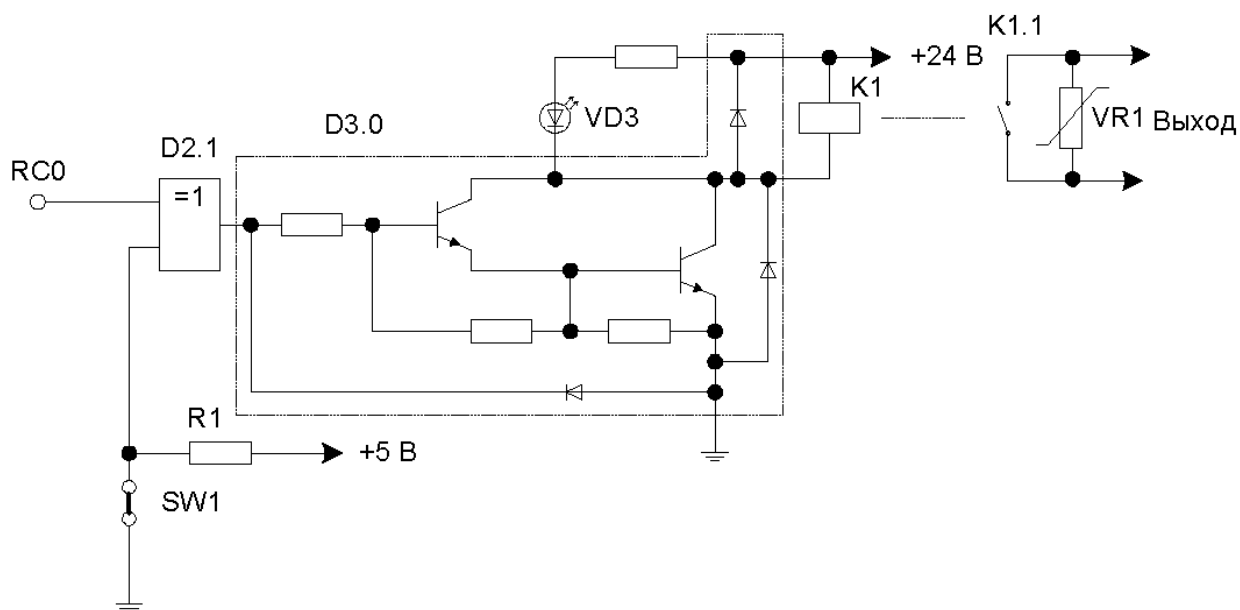


Рисунок 26 – Канал релейной коммутации. Схема электрическая принципиальная

Электрическое питание платы:

Электрическое питание логических цепей платы напряжением 5 В осуществляется от модуля дискретного ввода-вывода, управляющего платой, через 26-контактный соединитель X1. Наличие напряжения 5 В, поданного на плату, отражается свечением светодиодного индикатора "+5V". Ток, потребляемый платой по цепи 5 В, составляет не более 20 мА. Электрическое питание катушек реле осуществляется напряжением $(24,0 \pm 2,4)$ В внешнего источника питания. Присоединение положительного полюса внешнего источника питания 24 В производится к одному из клеммных соединителей "+24V". Присоединение общего провода производится к одному из клеммных соединителей "GND". Наличие напряжения 24 В, поданного на плату, отражается свечением светодиодного индикатора "+24V". Ток, потребляемый платой по цепи 24 В, составляет не более 300 мА. Допустимая площадь сечения провода не более $2,5 \text{ мм}^2$.

Местоположение соединителей показано на рисунке 27.

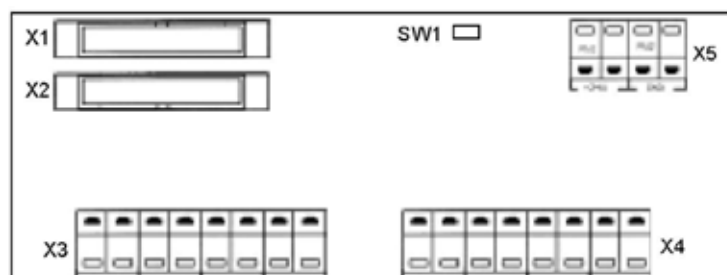


Рисунок 27 – Расположение соединителей на панели релейной коммутации TBR8

Настройка:

Переключателем W1 устанавливается уровень сигнала, при котором срабатывают реле. Если переключатель W1 находится в замкнутом положении, реле срабатывают при низком логическом уровне управляющего сигнала; если переключатель W1 разомкнут, то реле срабатывают при высоком логическом уровне управляющего сигнала.

Управление каналами релейной коммутации:

Входные сигналы управления состоянием реле подаются на контакты соединителя X1 платы. Входные сигналы управления должны иметь уровень ТТЛ или КМОП логики и иметь нагрузочную способность не менее 2 мА.

Назначение и нумерация контактов соединителя X1 платы соответствуют принятым в модулях ввода-вывода фирм Octagon Systems и Fastwel. Плата TBR8 использует 8 линий порта C адаптера параллельного интерфейса 82C55 (580BB55). Не используемые 16 линий портов В и А транслируются на линии портов С и В соответственно в соединителе X2.

Соединитель X2 используется для подключения дополнительных терминальных плат к неиспользуемым платой TBR8 каналам ввода-вывода.

Подключение нагрузки должно производиться к клеммам соединителей X3, X4. Допустимая площадь сечения провода не более 2,5 мм². Тип соединителей X3, X4 —пружинный контакт 256-502 фирмы WAGO.

8.6 Выбор датчиков и элементов измерительной системы

8.6.1 Датчик веса

Датчик веса должен быть пригоден по степени защиты для работы в пыльной и влажной среде, иметь предел измерений по массе выше 10 тонн. Бункер-дозатор подвешивается с помощью трех датчиков.

В качестве датчика веса выбираем тензодатчик типа SBA, ООО "ТОКВЕС", г. Екатеринбург. Технические параметры следующие:

Метрологические характеристики:

- предел измерения – 10000 кг;
- комбинированная ошибка – 0,03%;
- рабочий коэффициент передачи – 3.0.

Конструкция:

- материал корпуса – нержавеющая сталь.

Электрические характеристики:

- выходное сопротивление – 400 Ом;
- входное сопротивление – 352 Ом;
- номинальное напряжение питания – 10-12 В;
- максимальное напряжение питания – 15 В.
- сопротивление изоляции - >5000 МОм;

Параметры надежности:

- степень защиты – IP68.

Условия эксплуатации:

- диапазон рабочих температур – -30 °С ... +70 °С;
- предельно допустимая перегрузка –150 %;

Датчик состоит из упругого элемента «З»-образной формы, штуцера для ввода кабеля и тензорезисторов на клеевой основе, соединенных по мостовой схеме и элементов термокомпенсации и нормирования. Место наклейки тензорезисторов и расположения элементов термокомпенсации и нормирования загерметизировано и закрыто пластиной, крепящейся к упругому элементу двумя винтами для защиты от механических напряжений[20].

Измеряемое усилие, воздействуя через силовводящий узел на упругий элемент датчика, вызывает появление деформации в местах наклейки фольговых тензорезисторов. На диагональ питания подается питающее напряжение, с диагонали измерения снимается выходное напряжение. Деформация вызывает изменение сопротивлений тензорезисторов, преобразуемое мостовой электрической схемой в коэффициент передачи датчика (отношение изменения напряжения на диагонали измерения к напряжению питания), пропорциональный измеряемому усилию.

8.6.2 Нормализатор

Нормализатор должен иметь возможность принимать и суммировать сигналы как минимум трех тензодатчиков, осуществлять их питание напряжением 10 В. Преобразовывать выходной сигнал тензодатчиков в нормированный сигнал по напряжению. Обладать высокой пыле- и влагонепроницаемостью.

В качестве нормализатора выбираем нормирующий усилитель НУ весоизмерительной компании "ТЕНЗО-М" модели СНУ4-010.

Нормирующие усилители предназначены для преобразования выходного сигнала тензодатчиков в нормированный аналоговый сигнал по напряжению или току.

Технические характеристики СНУ4-010 представлены в таблице 2.

Таблица 2- Технические характеристики СНУ4-010

Наименование	СНУ4-010
Напряжение питания усилителя, В	18...36
Количество подключаемых датчиков	4
Сигнал на выходе усилителя, В	0...10
Максимальный потребляемый ток, мА	100
Напряжение питания датчика, В	10
Суммарная погрешность в рабочем диапазоне температур, %	0,05...0,08
Рабочий диапазон температур, °С	-30...+60
Степень защиты оболочкой по ГОСТ 14254-96	IP65

Нормирующий усилитель поставляется в комплекте с блоком питания типа БП220-24/12х2. Блок питания выполнен в пластмассовом корпусе с возможностью крепления на DIN-рейку.

8.7 Выбор конечных выключателей

Для остановки задвижек в положении «закрыто» -«открыто» бункера – дозатора и бункера –смесителя, необходимо использовать датчик положения. В качестве датчика положения выбираем концевой выключатель типа L5K13PUM211, кнопочный толкатель («EMAS», Турция).

Он предназначен для коммутации электрических цепей управления под воздействием управляющих упоров в определённых точках пути контролируемого объекта.

Технические характеристики:

- Степень защиты: IP65.
- Номинальное напряжение: 24 В.
- Номинальный ток: 10 А.
- Контактная группа: 1 замыкающийся + 1 размыкающийся контакты.
- Материал корпуса: пластик.
- Тип привода: кнопочный толкатель.
- Материал толкателя: металл.
- Количество кабельных вводов: 1.
- Габаритные размеры: 94,5×30,0×30,5 мм.

7.11 Выбор контакторов

Выбор контакторов осуществляется по номинальной мощности и/или номинальному току двигателей, а также напряжению питания катушки контактора, возможностью установки/наличию дополнительного нормально замкнутого контакта.

В соответствии с приведенными требованиями выбираем контакторы серии КМИ компании IEK.

Малогабаритные контакторы переменного тока общепромышленного применения КМИ на ток нагрузки от 9 до 95А предназначены для пуска, остановки и реверсирования асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором на напряжение до 660 В. Все исполнения на ток нагрузки до 40 А имеют одну группу замыкающих или размыкающих дополнительных контактов. Исполнения на ток нагрузки свыше 40А – две группы (замыкающую и размыкающую). Область применения малогабаритных контакторов серии КМИ – управление вентиляторами, насосами, тепловыми завесами, печами, кран-балками, станками, освещением, в системах автоматического ввода резерва (АВР).

Для двигателей шнековых питателей (1,5 кВт) выбираем контакторы КМИ-10910 9А 220В.

7.12 Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматического выключателя производится для защиты силовых цепей от перегрузок и токов короткого замыкания.

Выбор автоматических выключателей ВА 47-60 4Р 6А 6 кА производим для силовой цепи двигателей шнековых питателей на номинальный ток $I_H=6$ А.

Номинальное напряжение 230/400 В;

Номинальный ток 6 А;

Номинальная отключающая способность 6 кА.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Урманову Нурмухаммаду Абдуфатаевичу

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

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	"Положению об оплате труда ТПУ". Приказ 25.05.2016 №5994
2. Продолжительность выполнения ТП	По приблизительной оценке, продолжительность ТП составляет 100 рабочих дня.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	К.Э.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4А2	Урманов Нурмухаммад Абдуфатаевич		

9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- составление SWOT-анализа электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной эффективности проекта.

9.1 SWOT-анализ электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов

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

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

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Таблица 3 – Составление предварительной матрицы SWOT

	Сильные стороны проекта С1: Низкая цена элементов системы С2: Высокая надёжность электроснабжения потребителей С3: Высокая эргономичность С4: Низкая материалоемкость С5: Высокая ремонтпригодность	Слабые стороны проекта Сл1. Наличие постоянного источника переменного напряжения Сл2. Доступность токоведущих частей Сл3: Низкая безопасность Сл4: Низкая энергоэффективность
Возможности В1: Высокий уровень автоматизации В2: Снижение расходов на используемое оборудование В3: Повышение стоимости конкурентных разработок В4: Растущая заинтересованность инвесторов	 В1С2; С3; В2С1; С4; В3С1; В4С1;	 В1Сл1; Сл2; В4Сл3; Сл4;
Угрозы У1: Значительное увеличение стоимости схемы У2: Введение дополнительных гос. требований к стандартизации и сертификации продукции У3: Усовершенствования конкурентных технических решений У4: Снижение спроса	 У1С1 У2С1; С4; 	 У3Сл3; Сл4; У4Сл2; Сл3; Сл4;

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

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие) [21].

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4 и 5, показывает, что сильных сторон у проекта больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	-	+	+	-	-
B2	+	-	-	+	-
B3	+	-	-	-	-
B4	+	-	-	-	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
B1	+	+	-	-	
B2	-	-	-	-	
B3	-	-	-	-	
B4	-	-	+	+	

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	-	-	-
У2	+	-	-	+	-
У3	-	-	-	-	-
У4	-	-	-	-	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	-
У1	-	-	-	-	
У2	-	-	-	-	
У3	-	-	+	+	
У4	-	+	+	+	

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

Риск снижения спроса – одна из основных угроз проекта, которая коррелирует со всеми его слабыми сторонами;

Слабые стороны ликвидируемы за счет усовершенствования конструкции схемы и её расположения;

Для минимизации угроз необходимо обратить внимание на недостатки данной конфигурации сети электроснабжения системы, а именно доступность токоведущих частей, низкая энергоэффективность и ремонтпригодность;

Кроме того, необходимо акцентировать внимание на сильные стороны проекта, такие как экономичность, надёжность и эргономика;

Высокий уровень автоматизации – одно из наиболее весомых технических решений, относящихся к возможностям проекта, т.к. оно взаимосвязано с большинством сильных сторон;

За счёт модификации схемы, а именно использования такого способа прокладки кабелей, как прокладка в эстакадах, можно скомпенсировать такие слабости, как доступность токоведущих частей и низкая безопасность;

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

9.2 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;

- построение графика проведения проектирования системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов.

9.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования

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

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 6:

№1 – Составление и утверждение технического задания – включает в себя изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу, выдача ТЗ дипломнику;

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

№3 – Описание объекта автоматизации – нахождение и предоставление информации о системе, для которой требуется проектирование автоматизации;

№4 – Календарное планирование работ – составление плана работ, необходимых для выполнения технического проекта;

№5 – Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП – схема подключения всех элементов электропривода;

№6 – Расчет параметров двигателя и модели – проведение вычислений, необходимых для определения параметров статора и ротора двигателя и модели;

№7 – Выбор способа регулирования скорости – выбор оптимального способа регулирования для электропривода;

№8 – Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» - вычисление предельных значений системы, а также построение предельной характеристики;

№9 – Разработка математической модели системы АУ ЭП – построение имитационной модели системы в САПР;

№10 – Оптимизация САР электропривода – нахождение оптимальных значений параметров системы для получения оптимальных выходных характеристик;

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

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

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

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

Таблица 6 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Описание объекта автоматизации	Дипломник
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель
Расчеты и проектирование системы	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Научный руководитель, Дипломник
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Научный руководитель, Дипломник

	7	Выбор способа регулирования скорости	Научный руководитель, Дипломник
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Научный руководитель, Дипломник
	9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Научный руководитель, Дипломник
Расчеты и проектирование системы	10	Оптимизация САР электропривода	Научный руководитель, Дипломник
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник
Оформление отчета по техническому проектированию	12	Составление пояснительной записки	Дипломник
	13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	14	Подготовка к защите ВКР	Дипломник

В результате определения структуры работ в рамках технического проекта было выявлено шесть основных этапов (разработка технического задания, выбор направления технического проектирования электрооборудования, расчеты и проектирование системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов, обобщение и оценка результатов, оформление отчета по техническому проектированию, сдача выпускной квалификационной работы) и 14 работ.

9.2.2 Определение трудоемкости выполнения ТП

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества

трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожи}$ используется следующая формула [21]:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{мини} + 2t_{макси}}{5},$$

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

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

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

9.2.3 Разработка графика проведения технического проекта

В рамках планирования технического проекта необходимо построить ленточный график проекта.

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

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР. На основе таблицы 6 строим план-график проведения работа (таблица 8)

Продолжительность выполнения технического проекта заняла 11 декад, начиная со второй декады февраля и заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического в календарных днях заняла 106 дней. Из них:

103 дня – продолжительность выполнения работ дипломника;

12 дней – продолжительность выполнения работ научного руководителя;

9 дней – продолжительность совместного выполнения работ дипломника и научного руководителя

Таблица 7 – Расчёт продолжительность работ чел.-дн.

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной <i>i</i> -ой работы		Максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной <i>i</i> -ой работы		Ожидаемая трудоёмкость выполнения <i>i</i> -ой работы	
		Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник	Науч. рук-ль	Дипломник
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	7	-	10		9
3	Описание объекта автоматизации		3		5		4
4	Календарное планирование работ по теме	1		1		1	
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	1	7	1	14	1	10
6	Расчет параметров двигателя и модели	1	10	1	15	1	12
7	Выбор способа регулирования скорости	1	4	1	7	1	6
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	1	7	1	10	1	9
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	1	21	1	28	1	24
10	Оптимизация САР электропривода	1	7	1	14	1	10
11	Оценка эффективности полученных результатов	1	6	1	8	1	7
12	Составление пояснительной записки	-	7	-	10	-	9
13	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	-	1	-	1	-
14	Подготовка к защите ВКР	1	2	3	4	2	3

Таблица 8 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T _{pi} , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	9	■	■												
3	Описание объекта автоматизации	Дипломник	4		■												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	1		■												
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Руководитель	1		■												
		Дипломник	10		■	■											
6	Расчет параметров двигателя и модели	Руководитель	1			■											
		Дипломник	12			■	■										
7	Выбор способа регулирования скорости	Руководитель	1				■										
		Дипломник	6				■	■									
8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь– электродвигатель»	Руководитель	1					■									
		Дипломник	9					■	■								
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	1						■								
		Дипломник	24						■	■	■						
10	Оптимизация САР электропривода	Руководитель	1								■						
		Дипломник	10								■	■					
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	1									■					
		Дипломник	7									■	■				
12	Составление пояснительной записки	Дипломник	9									■	■				
13	Проверка ВКР руководителем	Руководитель	1											■			
14	Подготовка к защите ВКР	Руководитель	2												■		
		Дипломник	3												■		

9.3 Расчет затрат на осуществление технического проекта

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

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

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

9.3.1 Расчет материальных затрат на технический проект

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носитель и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле [21]:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расх\ i},$$

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

$N_{расх\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении технического проекта (шт., кг, м и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг. и т.д.);

Материальные затраты, необходимые для данной работы, указаны в таблице

9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Бумага	200	3	600
Ручка	2	65	130
Скоросшиватель	1	60	60
Степлер	1	150	110
Флеш-карта	1	300	300
Итого			1200

9.3.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле [21]:

$$З_{осн} = З_{дн} \times T_p,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m}{F_d},$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Исполнители	Оклад	Месячны й основной оклад работника руб.	Средняя зарботная плата работника руб.	Продолжитель ность работ, выполняемых работником ра б. дн.	Основная зарботная плата одного работника руб.
Руководитель	33664	43764	1683	12	20200
Инженер	12300	15990	615	103	63300
Итого $Z_{осн}$					83500

9.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.)

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [21]:

$$Z_{доп} = k_{доп} Z_{осн},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12–0,15) [21].

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной зарботной платы	Основная зарботная плата, руб.	Дополнительная зарботная плата, руб.	Полная зарботная плата, руб.
Руководитель	0,15	20200	3000	23200
Инженер	0,12	63300	7600	70900
Итого		83500	10600	94100

9.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [21]:

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

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

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

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,3 \times (83500 + 10600) = 28200 \text{ руб.}$$

9.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Их величина составляет 16% от общей суммы затрат на проектирование.

9.3.6 Формирование сметы затрат технического проекта

Рассчитанная величина затрат на технический проект является основой для формирования сметы затрат на ТП, который при формировании договора с

заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [21].

Формирование сметы затрат на технический проект приведено в таблице 12.

Таблица 12 – Смета затрат на ТП

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП(Z_m)	1,2	0,8
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы ($Z_{полн}$)	94,1	64,0
3. Отчисления во внебюджетные фонды ($Z_{внбф}$)	28,2	19,2
4. Накладные расходы($Z_{нр}$)	23,5	16,0
Итого	147,0	100

9.3.7 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности по формуле [21]:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к электрооборудованию:

1. Экономичность: оптимизация затрат на основные рабочие органы установки на стадии проектирования приводит к их увеличению на доли процентов, но в долгосрочной перспективе речь идет об экономии значительных средств.

2. Гибкость: возможность модернизации установки и использование её в различных сферах деятельности.

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

4. Обеспечение надлежащего уровня производительности: производительность, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 13109-97.

5. Надежность: бесперебойная работоспособность рабочего органа в пределах допустимых показателей его производительности и исключение ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

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

7. Энергоэффективность: использование меньшего количества энергии для обеспечения установленного уровня производительности в технологических процессах.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Оценка характеристик разработки

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Экономичность	0,15	4
2. Гибкость	0,10	4
3. Безопасность	0,15	5
4. Обеспечение надлежащего уровня производительности	0,20	5
5. Надежность	0,20	5
6. Простота и удобство в эксплуатации	0,05	5
7. Энергоэффективность	0,15	4
Итого	1,00	4,6

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности технического проекта составит:

$$I_{p-разр} = 4 \times 0,15 + 4 \times 0,1 + 5 \times 0,15 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 5 \times 0,05 + 4 \times 0,15 = 4,6$$

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

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

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

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

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

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4А2	Урманову Нурмухаммаду Абдуфатаевичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электрооборудование и система автоматизации системы дозирования сыпучих материалов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Разработка электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. 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.	1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности; 2) N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» 3) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» 4) ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ следующих вредных факторов: · отклонение параметров микроклимата от допустимых значений (повышенная интенсивность теплового излучения); · шум; · вибрация; · недостаточное освещение; · электромагнитное поле Анализ следующих опасных факторов: · поражение электрическим током; · механические травмы.
3. Экологическая безопасность:	<i>Анализ воздействия на атмосферу: выбросы загрязняющих веществ в</i>

	результате деятельности инструментального цеха. Анализ воздействия на литосферу: образования отходов в результате инструментального цеха
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Анализ типичной ЧС – пожара: · источники возгорания; · категория помещения по пожарной опасности; средства тушения пожара

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5Г4А2	Урманов Нурмухаммад Абдуфатаевич		

10 Социальная ответственность

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является исследование электрооборудования и системы автоматизации системы дозирования сыпучих материалов.

Анализ вредных и опасных факторов труда работников с электрооборудованием системы, разработка мер защиты от них, оценка условий труда и микроклимата рабочей среды. Кроме того, в разделе рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данной работе были использованы ГОСТы:

1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности:

Настоящий стандарт представляет руководство по принципам, лежащим в основе социальной ответственности, признанию социальной ответственности и взаимодействию с заинтересованными сторонами, основным темам и проблемам, касающимся социальной ответственности, способам интеграции социально ответственного поведения в организацию. Этот стандарт подчеркивает важность результатов и улучшения результативности в области социальной ответственности.

2) N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

Закон принимается в целях защиты жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров, определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, производственным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения.

3) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»:

Предметом регулирования комментируемого Закона являются отношения, возникающие в связи с проведением спецоценки условий труда, а также с реализацией обязанности работодателя по обеспечению безопасности работников в процессе их трудовой деятельности и прав работников на рабочие места, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда.

4) ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»:

Производственные факторы являются частным случаем факторов окружающей человека среды обитания и человеческой деятельности, связанных и (или) порождаемых производственной и трудовой деятельностью.

Электротехнологический персонал производственных цехов и участков не входящих в состав энергослужбы потребителя, осуществляющих эксплуатацию электротехнологических установок и имеющий группу по электробезопасности II и выше, в своих правах и обязанностях приравнивается к электротехническому

К самостоятельной работе допускается лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучение по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе, в объеме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает ежеквартально

После первичного инструктажа в течение первых двух-пяти смен должны выполнить работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

Требования безопасности во время работы согласно Н 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

Общие требования безопасности:

- не допускать присутствия посторонних лиц при электромонтажных и других работах;
- не привлекать к работе лиц, не имеющих необходимой группы допуска по электробезопасности;
- работать только в диэлектрических перчатках;
- при использовании лестницы привлекать подсобного рабочего;
- пользоваться постоянными и предупредительными плакатами: предостерегающими «Под напряжением расчет – опасно для жизни», запрещающими «Не включать прибор вращения – работают люди» и т.д.;
- не допускать полного замасливания кабелей, от попадания на них искр, воздействия высокой рабочей температуры и падения тяжёлых предметов.

На предприятии все работники проходят проверки на выполнение всех вышеуказанных требований безопасности. Также перед допуском к оборудованию каждый работник проходит соответствующие инструктажи.

10.2 Производственная безопасность

10.2.1 Характеристика помещения

Производственная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленных на повышение защищенности рабочего персонала от вредных воздействий технологических процессов, и других факторов, возникающих в рабочей зоне.

Опасные и вредные производственные факторы, возникающие при работе с электрооборудованием системы на заводе сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1) ГОСТ Р ИСО 26000-2012. <i>Руководство по социальной ответственности:</i> 2) N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» 3) N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» 4) ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Нервно-психические перегрузки	+	+	+	

В процессе работы человек вступает во взаимодействие с предметами труда, орудиями труда, другими людьми. Также на него воздействуют параметры окружающей среды рабочей обстановки. От условий труда зависит отношение человека к труду и, естественно, результаты труда. При плохих условиях труда резко снижается работоспособность, соответственно повышается процент профессиональных заболеваний и травм. Под условиями труда подразумевается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и производительность труда человека в процессе труда.

Рабочее помещение должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Общие рабочие компоненты должны иметь естественное освещение, в сочетании с искусственным освещением в темное время суток. Окраска помещений существенно влияет на нервную систему человека, его настроение. Поэтому

необходимо окрашивать помещение в соответствие с цветом технических средств. Кроме этого выбор цвета определяется освещенностью помещения, чем выше отражение света стенами и оборудованием, тем выше освещенностью.

Элементы труда, выступающих в роли опасных и вредных производственных факторов, можно разделить на четыре группы:

- Физические;
- Химические;
- Биологические;
- Психофизиологические.

На здоровье персонала, работающего с электрооборудованием системы дозирования, оказывают два вида факторов:

Физический и психофизиологический.

- К группе физических опасных факторов производства относится опасность поражения электрическим током.
- К группе физических вредных факторов относятся: отклонения параметров микроклимата от допустимых значений, шум и вибрация, электромагнитное поле, освещенность, возможная загазованность.
- К вредным психофизиологическим производственным факторам относятся: статические, динамические и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, утомление, эмоциональные перегрузки).

10.2.2 Анализ опасных и вредных факторов

Рабочим местом является зона приложения труда определенного работника или группы работников. При организации рабочего места необходимо учитывать требования общему безопасности, промышленной санитарии, эргономики, технической эстетики. Невыполнение этих требований может привести к получению работником производственной рисунок травмы. При планировании промышленных помещений необходимо соблюдать нормы полезной площади для работающих, а также объем промышленного помещения. Воздух рабочей зоны

(микроклимат) производственных помещений учетом определяют следующие параметры: температура воздуха в помещении, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Эти параметры в комплексе и по отдельности влияют на организм человека. В цехе во все периоды года поддерживается одна температура группы и относительная влажность.

Параметры микроклимата – оптимальная и допустимая температура, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии требованиями, исходя из категорий тяжести выполняемой работы избытков явного тепла и периода года.

По степени физической тяжести работа персонала относится к категории тяжелых работ. Основные нагрузки на организм – физические, нервно-психологические, а также зрительные. В основном все параметры микроклимата цеха удовлетворяют требуемым нормам.

Содержание пыли в воздухе рабочего помещения ниже установленной нормы, установку по которой предельно-допустимая концентрация составляет более 10мг/м³.

Одновременно в рабочем помещении находится в среднем 3 человека, вентиляция в помещении искусственная: приточно-вытяжная.

Для поддержания в рабочем помещении в холодное время года температуры воздуха 19 – 21°С используют систему отопления на трубчатых, самоварных регистрах.

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающим ухудшение зрения. Неудовлетворительное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма. Неправильная эксплуатация, так же как и ошибки, допущенные при проектировании и устройстве осветительных установок, могут привести к пожару, несчастным случаям. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок.

Основные требования, которые предъявляются к освещению, заключаются в том, чтобы с его помощью создать наиболее благоприятные условия для работы зрительного аппарата человека. Кроме того, оно должно удовлетворять вопросам экономичности, надежности и безопасности.

В помещении с электрооборудованием системы дозирования используется комбинированное освещение (общее и местное), искусственное и естественное. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственной освещенности.

Искусственное освещение устраивается во всех основных и вспомогательных помещениях производственных зданий в соответствии с [16]. Согласно санитарно – гигиеническим требованиям рабочее место должно освещаться естественным и искусственным освещением. Персонал, работающий с системой дозирования, следит за контролируемыми параметрами с местного пульта управления, напрягая при этом зрение. По нормам освещения и отраслевым нормам освещения рекомендуется 300-500 лк при общем освещении.

10.2.3 Производственная санитария

Неблагоприятные условия окружающей среды вредно воздействуют на организм работающего, снижают реакцию, повышают утомляемость. К производственным вредностям относятся неблагоприятный микроклимат, производственная пыль, вредные газы и пары недостаточная освещенность.

Категория работ по энергозатратам, связанная с производством нагревательных ТЭНов, IIa (физической средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч).

Система отопления цеха – водяная, со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами.

Работа выполняется в спецодежде. Вспомогательные помещения имеют гардеробное оборудование и душевые комнаты. Производство относится к третьей категории вибрации, производственные шумы не значительны

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Основная задача освещения на производстве – создание наилучших условий для зрения трудящихся. Эту задачу можно решить только осветительной системой. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характер зрительной работы. В данном случае работа на электрооборудовании системы дозирования сыпучих материалов относится к категории зрительной работы IV Г (СНиП23-05-95). Требуемая норма освещения ЕНОР=200 ЛК. Для создания ЕНОР применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное освещение.

Для создания рациональных условий освещения важное значение имеет тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения. Необходимо следить за исправностью схем включения, регулярно заменять перегоревшие лампы. На предприятиях должно быть специально выделенное лицо, заведующее эксплуатацией освещения.

На производстве для защиты органов зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучения и слепящей яркости видимого света применяет защитные очки.

Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши. На предприятиях необходимо регулярно проводить организационные мероприятия по обеспечению безопасности труда.

10.3 Экологическая безопасность

Проблема окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов земного шара, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнений существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Загрязняющими веществами, выбрасываемыми в атмосферу в результате работы электрооборудования системы дозирования сыпучих материалов,

являются: пыль металлическая, пыль абразивная, оксиды цинка, вода (используемая для вспомогательных целей).

Охлаждение исходных материалов и продукции предприятия, охлаждения деталей и узлов технологического оборудования, промывки и очистки продукции, что приводит к загрязнению воды растворимыми и нерастворимыми примесями; хозяйственно – бытового обслуживания работников предприятия.

Работа сопровождается образованием производственных отходов, а также отходов, приравненных к твердым коммунальным. В рабочем помещении с электрооборудованием осуществляется ремонт инструментов, оснастка и производство специального инструмента, в результате этих процессов образуются отходы: лом цветных и черных металлов (втулки, катушки, провода, шестерни и т.д.) Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению ресурсо- и энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять электрооборудование с малым энергопотреблением.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 понятие пожарная безопасность работ означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность является одним из важнейших разделов охраны труда на производстве. Существенную роль в профилактике и предотвращении пожаров играет правильный выбор режима работы электрооборудования с учётом класса по пожароопасности.

Все производственные помещения по пожароопасности разделяются на пять основных категорий. В процессе получения изделия на линии видимые признаки, обуславливающие возникновения пожарам, отсутствуют.

Следовательно, данное производство можно отнести к категории «Д» (Категория пожароопасности Д предназначена для производств, в которых используются, в холодном состоянии, негорючие вещества и материалы). Помещение по пожарной опасности относится к классу П-1 (ПУЭ). Однако, в данном технологическом процессе пожар может возникнуть из-за токов короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к их выплавлению из изоляционного материала. В этом отношении опасны недопустимые электрические перегрузки проводов и обмоток электрических машин. В местах плохого контакта соединения проводников вследствие большого переходного сопротивления выделяется большое количество тепла. Это приводит к повышению температуры и воспламенения изоляции. Были установлены общие требования пожарной безопасности к объектам различного назначения всех отраслей народного хозяйства при строительстве и эксплуатации. Пожарная безопасность должна обеспечиваться:

- Системой предотвращения пожара;
- Системой противопожарной защиты
- Организационно –техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и противопожарной защиты обеспечивающих сохранность материальных ценностей, следует применять при наличии экономической эффективности от их внедрения. Экономическая эффективность должна рассчитываться с учетом вероятности возникновения пожара и возможного ущерба от него. Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды. Это должно обеспечиваться минимально возможным применением горючих материалов.

Автоматические установки пожаротушения и установки пожарной сигнализации, введенные в объект, должны удовлетворять требованиям проектной документации и отраслевыми стандартам.

Огнетушители различных видов относятся к классу переносных средств пожаротушения. Огнетушители, годные к эксплуатации, должны иметь бирку и маркировку и должны быть окрашены в красный цвет. Огнетушители должны

располагаться в заметных и легко доступных местах, где исключено попадание солнечных лучей. Количество первичных средств пожаротушения определяется по [17]:

Таблица 15 – Количество первичных средств пожаротушения

Объект	S цеха, м ²	Огнетушители		Ящик с песком, м ²	Пожарный рукав + пожарный гидрант
		ОУ-5	ОП-10(з)		
Рабочее помещение завода (цех)	300	2	2	2	1

Пожарный ручной инструмент и инвентарь, размещенный на объекте, подлежит периодическому обслуживанию, включающему следующее:

- Очистка от пыли, грязи и коррозии;
- Восстановление соответствующей окраски.

Заключение по разделу «Социальная ответственность»

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные фактора, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

Полученные результаты в данном разделе полностью отражают все возможные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы в нефтегазовой отрасли. В разделе приведены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность и документация, регламентирующая действия рабочих, которые её обеспечивают, вопросы, связанные с экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Все рассмотренные вопросы имеют определенные правила для рабочих и имеют возможность их внедрения непосредственно на производственном участке.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы являлась проектирование АСУ ТП дозирования и смешивания компонентов комбикормов на базе микроконтроллера Fastwel RTU188. Был спроектирован электропривод переменного тока по системе асинхронный двигателя с короткозамкнутым ротором – преобразователь частоты. То есть регулирование частоты вращения двигателя осуществляется изменением частоты питающей сети, которая подводится к обмоткам статора с помощью преобразователя частоты фирмы «Веспер».

Важность проектирования данной тематики обусловлена тем, что сегодня микропроцессорные системы управления частотно-регулируемых приводов поднимается выше приводов постоянного тока и зачастую, при выборе привода, упор делается на экономические показатели и показатели качества, что дает приводу переменного тока больше преимуществ.

В работе был проведен анализ способа скалярного управления асинхронным электроприводом – закон $U/f = \text{const}$. А также определены параметры схемы замещения, рассчитаны и построены естественные механические и электромеханические характеристики асинхронного двигателя, характеристики разомкнутой системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель». В программной среде *MATLAB* смоделированы переходные процессы электропривода с математической моделью асинхронного двигателя.

При анализе переходных процессов, динамических и статических характеристик было выявлено, что при скалярном управлении преобразователем частоты на входе системы для улучшения процессов работы двигателя и электропривода в целом необходимо использовать задатчик интенсивности. В таком случае качество переходных процессов лучше – колебания момента в первые моменты времени значительно меньше, но разгона двигателя немного дольше, что допустимо для электропривода дозирования сыпучих материалов.

Анализ переходных характеристик показал, что дозирование материала большую часть переходного процесса по весу идет с максимальной скоростью шнекового питателя, чем обеспечивается максимальная производительность системы. Остановка двигателя шнекового питателя осуществляется плавно и на пониженной скорости, что обеспечивает оптимальную точность дозирования. Также анализируя переходные процессы при дозировании 10 и 100 кг при переменной нагрузке (т.е. при попадании в шнековый питатель камней и тому подобных инородных материалов, вызывающих изменение нагрузки во время дозирования) можно сказать, что в целом время дозирования увеличивается незначительно (на 3-5%). Также относительно незначительно уменьшается точность дозирования (на 1%) .

Спроектированный привод полностью удовлетворяет требованиям:

- точность дозирования материала $\pm 3\%$;
- диапазон регулирования $D = 10$.

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

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;
- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя;
- составление сметы затрат на ТП позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта;
- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены опасные и вредные фактора, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

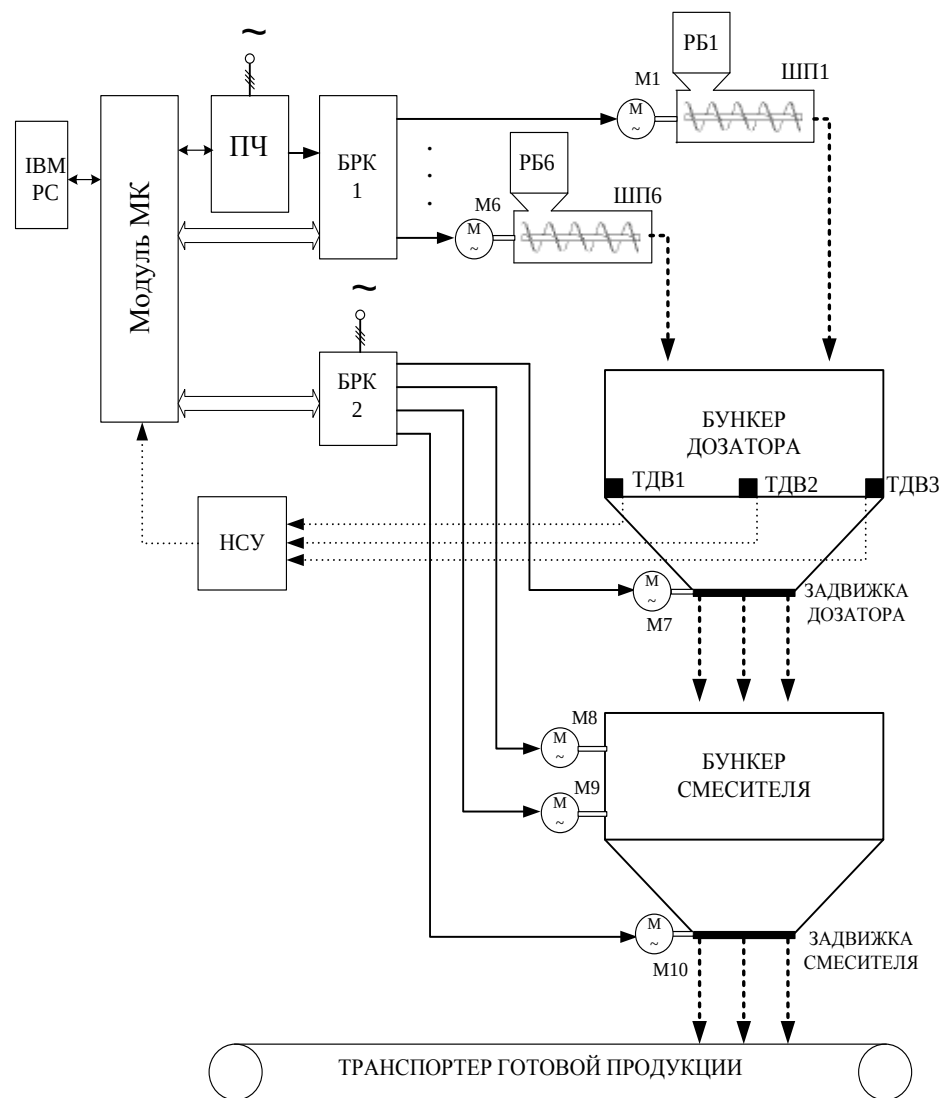
Список источников

1. А.В. Катылымов, В.А. Любартович Дозирование сыпучих и вязких материалов, Ленинград, ХИМИЯ, 1990 г.
2. А.М. Григорьев «Винтовые конвейеры», Изд. МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1992 г.
3. С.П. Орлов Дозирующие устройства, Изд. МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1980 г.
4. Ю.Д. Видинеев Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов, Москва, Изд. Энергия, 1995 г.
5. А.В. Пугачев Контроль и автоматизация переработки сыпучих материалов, Москва, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1998 г.
6. А.Ю. Чернышев, С.В. Ланграф Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель», Методические указания, Томск, ТПУ, 2003 г.
7. Журнал «Современные Технологии Автоматизации» изд.2000 г. №1.
8. А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев Расчет характеристик электроприводов переменного тока, Часть 1 – Асинхронный двигатель, Томск, 2005 г.
9. Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов, Учебное пособие, часть 1 и 2, Томск, 2000 г.
10. А.В. Башарин Управление электроприводами, Ленинград, ЭНЕРГОИЗДАТ, 1989 г.
11. С.Г. Герман-Галкин Компьютерное моделирование полупроводниковых систем, Санкт-Петербург, 2001 г.
12. Сайт www.prosoft.ru
13. Конвейер бесстержневой типа СТ-55/0,5. Руководство по эксплуатации.
14. Сайт www.siti.ru
15. Преобразователь частоты серии VLT Micro Drive FC 51. Руководство по эксплуатации.
16. Электротехнический справочник в 4-х томах, Т.4 – Использование электрической энергии, под ред. Герасимова, 2002 г.

17. Электротехнический справочник в 4-х томах, Т.2 – Электротехнические изделия и устройства, под ред. Герасимова, 2002г.
18. Модуль микроконтроллера Fastwel RTU188. Руководство по эксплуатации.
19. Модуль релейной коммутации Fastwel TBR8. Руководство по эксплуатации.
20. Тензодатчик серии С. Руководство по эксплуатации.
21. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
22. Булатов А.С. Экономика. Учебник. - М.: Юристь, 1999.- 896с.
23. Сибаров Ю.Г., Сколотнев Н.Н. Охрана труда в вычислительных центрах. - М: Машиностроение, 1985.
24. Расчёт защитного заземления. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 14 с.

Приложение А.
Графический материал.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОЗИРОВАНИЯ И СМЕШИВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМОВ



Структура автоматической системы управления технологическим процессом

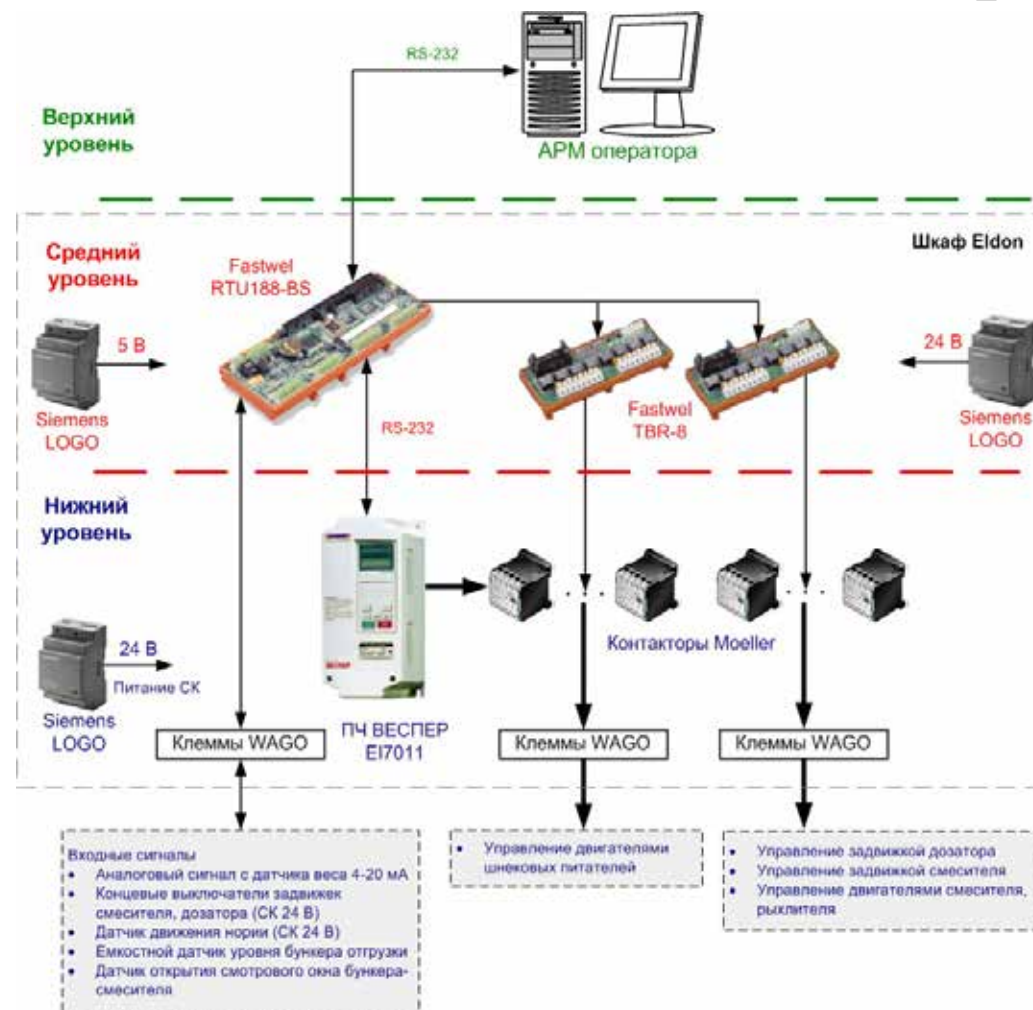
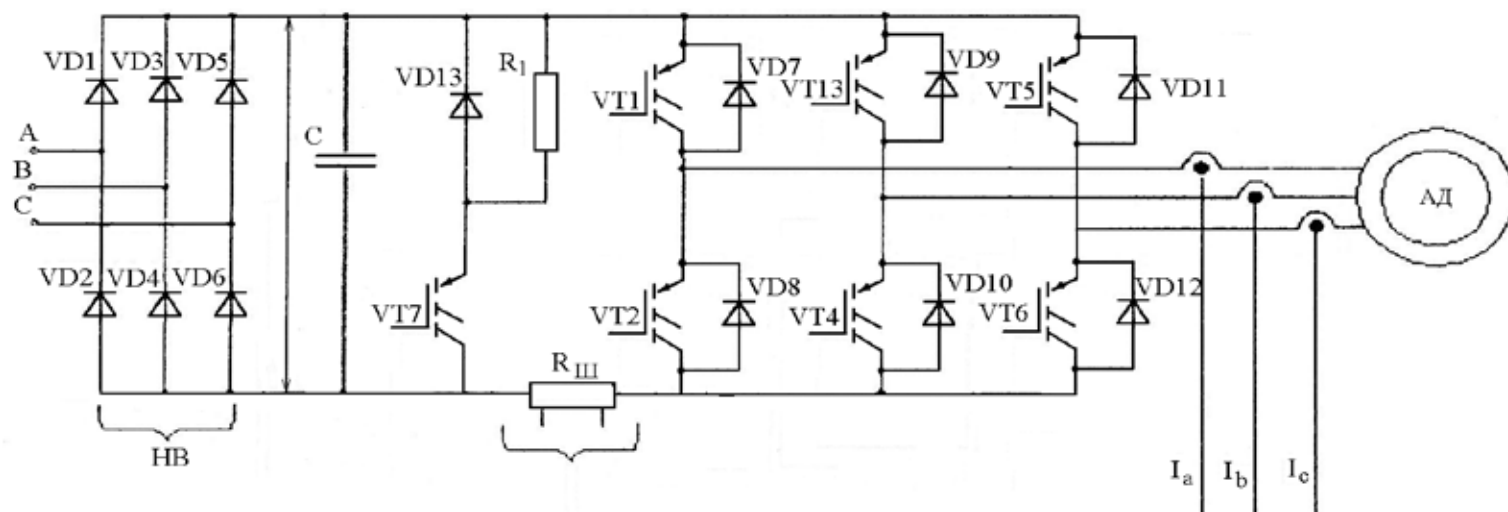
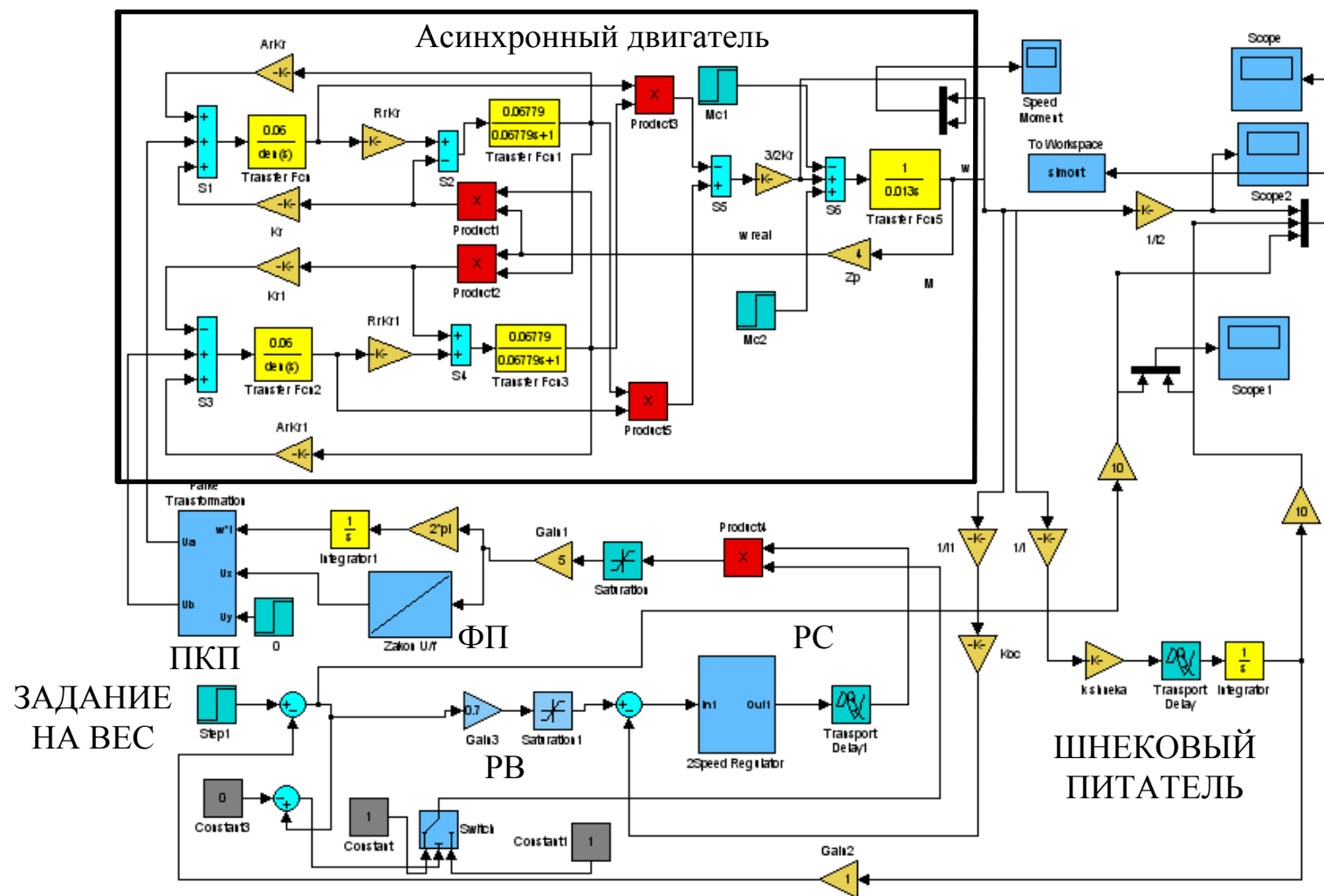


Схема подключения преобразователя частоты

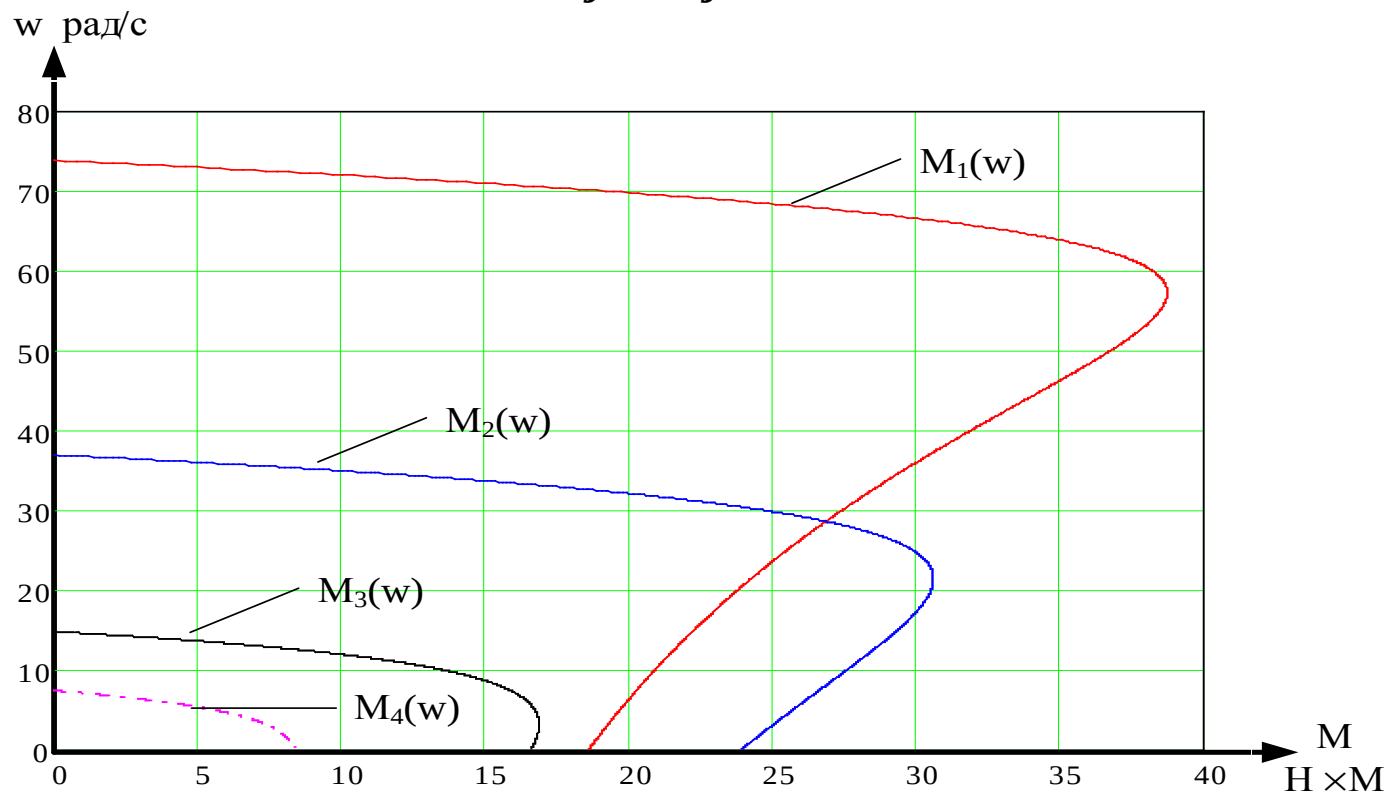


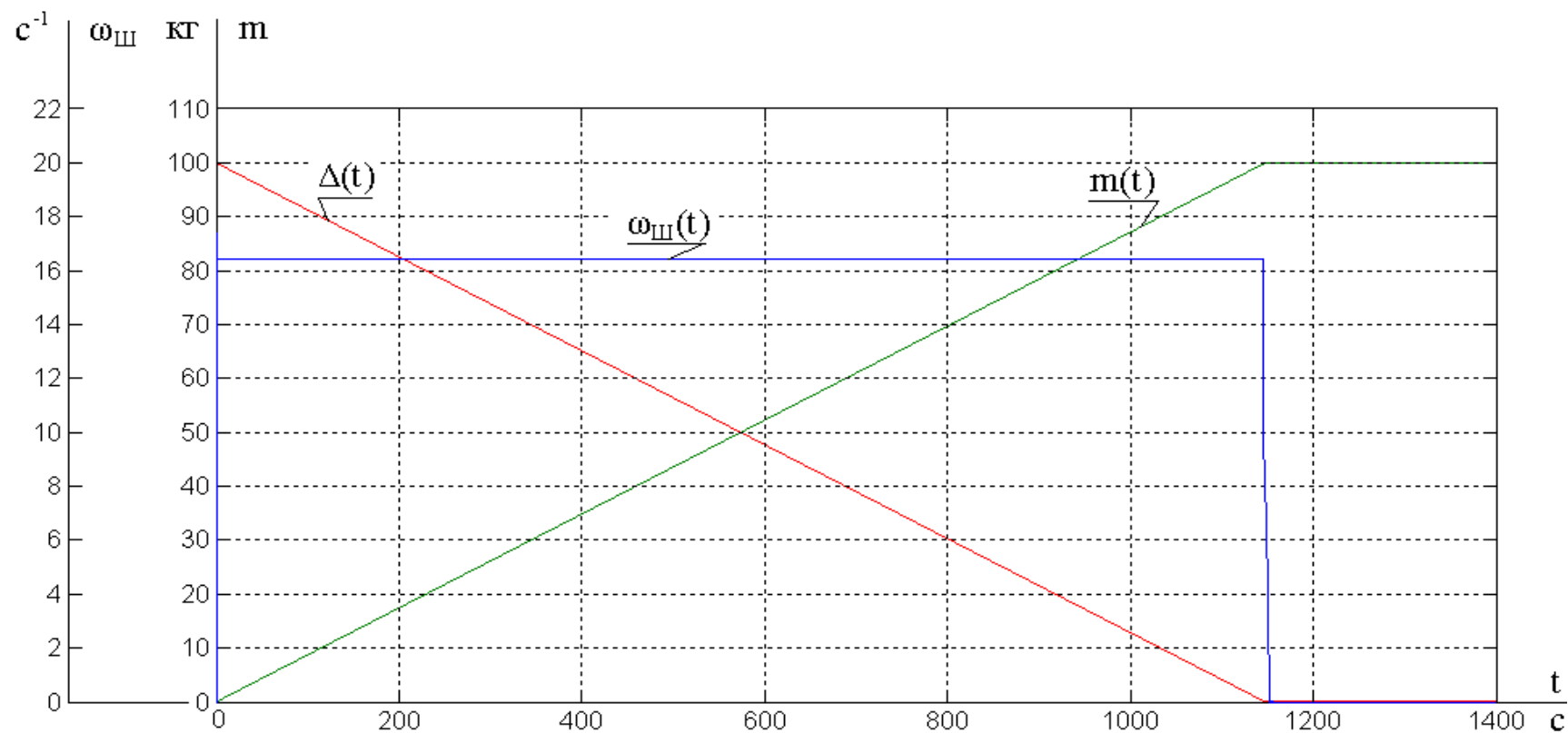


Имитационная модель АСУ ТП дозирования в приложении *Simulink* из пакета *MATLAB*

Механические характеристики синхронного двигателя при законе управления

$$U_{1j} / f_{1j} = \text{const}$$





Переходные процессы $\omega_{III} = f(t)$, $m = f(t)$, $Dm = f(t)$
при дозировании 100 кг

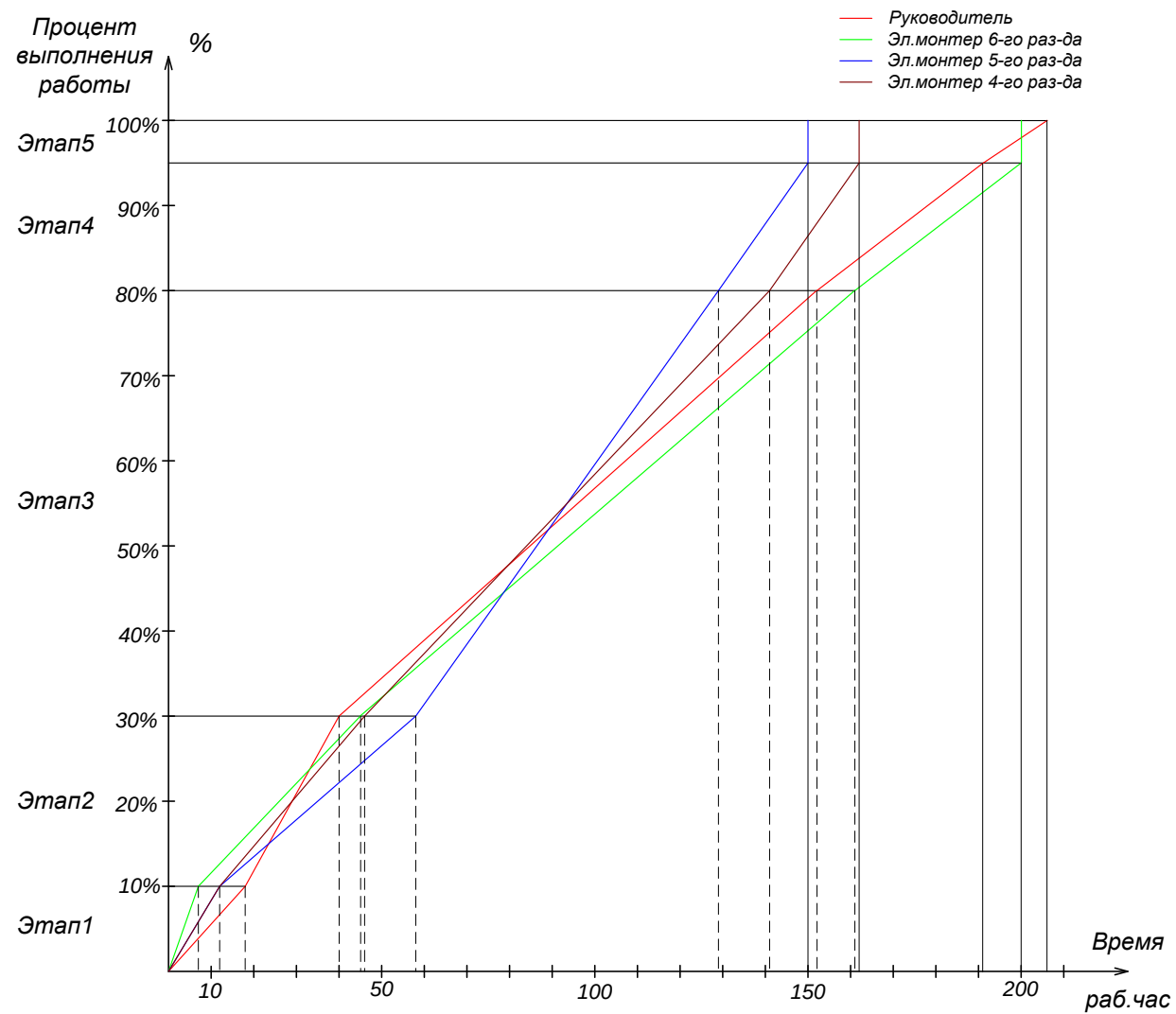


График проведения работ в бригаде.