

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

Институт – Энергетический
Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра – Электропривода и электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
«Автоматизированная система дозирования сыпучих материалов на базе микроконтроллера RTU 188 BS»

УДК 66.028.2.047.75

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Шенделёв М.А.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.	К.Э.Н., ДОЦЕНТ		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., К.Т.Н.		

Томск – 2016

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

Институт – Энергетический
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

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

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Шенделёву Михаилу Александровичу

Тема работы:

«Разработка и исследование автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов на базе микроконтроллера RTU 188 BS»
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (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.).</p>	<p>Объект исследования – система управления асинхронным электроприводом системы дозирования сыпучих материалов. Режим работы электропривода - периодический. Требование – обеспечить наименьшую ошибку дозирования сыпучих материалов Исходные данные к работе: - двигатель: мощность $P=0,75$ кВт, частота вращения двигателя $n=2810$ об/мин, $\eta=0,74$; $\cos \varphi_n = 0,78$;</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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;</p>	<p>Исследование технологического процесса автоматического дозирования сыпучих материалов; Описание различных систем дозирования и особенностей их работы; Выбор оборудования; Расчет параметров и характеристик АД; Система автоматического управления электроприводом; Получение результатов дозирования при</p>

наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	помощи имитационной модели дозирования;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Структурная схема автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов; Имитационная модель системы Результаты дозирования материала различной массы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ляпушкин С.В.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Шенделёв Михаил Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Шенделёв Михаил Александрович

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, а также нормативно-правовых документах.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Разработка технического задания и выбор направления исследований</i>
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<i>Теоретические и экспериментальные исследования</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	<i>Обобщение и оценка результатов, оформление отчета по НИР</i>

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Шенделёв Михаил Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Шенделёв Михаил Александрович

Институт	Энергетический	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	<p><i>1. Описание рабочего места на предмет: анализ вредных и опасных факторов, воздействие на окружающую среду, возможные ЧС и места их возникновения, организация работы отдела охраны труда.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	<p><i>1. Анализ вредных факторов, проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Воздух рабочей зоны; – Шум и вибрация; – Освещение рабочей зоны. <p><i>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Электробезопасность; – Составление правил работы с исследуемым оборудованием для предотвращения травматизма; – Защита от случайного прикосновения; – Зануление. <p><i>3. Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ объекта воздействия на атмосферу; – Выброс отходов. <p><i>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Наиболее вероятными ЧС при исследовании и проверке автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов являются КЗ и пожар на рабочем месте. <p><i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Перечень законодательных и нормативных документов в порядке их цитирования по пунктам раздела.
Перечень расч-го и граф-го материала:	<p><i>Расчет искусственного освещения для помещения.</i></p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Шенделёв Михаил Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 с., 32 рис., 11 табл., 17 источников.

Ключевые слова: дозирование, сыпучие материалы, преобразователь частоты, инвертор, шнековый питатель, выбор оборудования, асинхронный электродвигатель, структурная схема, ресурсоэффективность, ресурсосбережение, социальная ответственность.

Объектом исследования является автоматизированная система дозирования сыпучих материалов на базе микроконтроллера RTU 188BS.

Цель работы: Исследование системы дозирования сыпучих материалов.

В процессе исследования произведен расчет на основе исходных данных, поэтапный расчет параметров асинхронного двигателя, выбор оборудования, построение графиков, отражающих результаты дозирования материала.

В результате исследования была изучена имитационная модель дозирования сыпучих материалов, представлена ее экономическая целесообразность и безопасность для окружающей среды.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемая система состоит из асинхронного двигателя, регуляторов веса и скорости, бункера-дозатора, аппаратов управления и защиты.

Область применения: легкая промышленность с нормальной средой в производственных помещениях.

Введение.....	9
1.Объект и методы исследования.....	12
2.Расчеты и аналитика.....	15
2.1Определение параметров схемы замещения.....	15
2.2Построение механических и электромеханических характеристик.....	18
2.3Выбор дополнительного оборудования.....	20
2.4Расчет инвертора.....	20
2.5Расчет выпрямителя.....	23
2.6Расчет статических характеристик при частотном управлении.....	24
2.7Выбор защитных аппаратов для двигателя.....	29
2.8Выбор электромагнитного пускателя.....	29
2.9Модуль микроконтроллера RTU 188BS.....	31
2.10Модуль релейной коммутации.....	33
2.11Тензодатчик серии С.....	37
2.12Оптимизация контура скорости.....	37
2.13Синтез регулятора скорости.....	39
2.14Оптимизация контура веса.....	39
2.15Разработка имитационной модели.....	41
3.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность.....	49
4.Социальная активность.....	71
Заключение.....	79
Список литературы.....	80

Введение

Автоматическое дозирование сыпучих материалов всё шире внедряется в различные технологические процессы. Увеличение объема применения систем дозирования обуславливается рядом достоинств этого оборудования и прежде всего увеличением качества выпускаемой продукции и экономией сырья [17].

Дозаторы с автоматическим регулированием представляют собой механизмы, которые предназначены для выдачи потока материала с определенным значением расхода. В таких случаях, для компенсации возникающих в процессе дозирования отклонений расхода от требуемого значения применяются устройства, автоматически измеряющие интенсивность потока и корректирующие ее по величине в определённых пределах.

Дозатор непрерывного действия (рисунок 1) может обладать следующими функциональными элементами: 1) рабочие органы, которые обеспечивают движение материала и которые определяют величину расхода; 2) первичные преобразователи, которые измеряют расход и преобразуют измеренную величину в требуемые сигналы (электрические, пневматические и т.п.); 3) передаточные звенья, служащие для передачи и усиления сигналов; 4) устройства для выработки закона управления; 5) исполнительные механизмы; 6) контрольно-измерительные и регистрирующие приборы, наблюдающие за работой дозаторов и регистрации процесса дозирования; 7) вспомогательные конструктивные элементы (воронки, натяжные и очистные устройства).

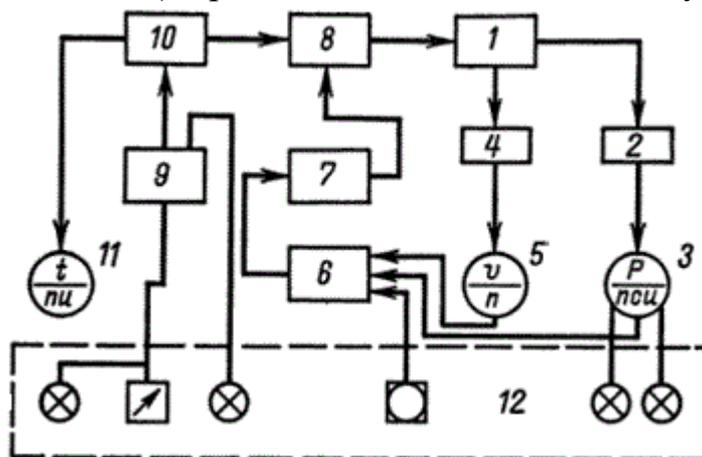


Рисунок 1- Функциональная схема дозатора непрерывного действия

Автоматизированная система дозирования компонентов строительных смесей

Система предназначена для автоматического, полуавтоматического и ручного управления процессом дозирования компонентов строительных смесей с выдачей на экран ПЭВМ оперативной информации о работе механизмов системы.

Состав системы

Механические компоненты

- **Дозатор цемента.** Подача цемента в дозатор осуществляется двумя шнековыми питателями, который обеспечивает режим «грубо-точно». Для стряхивания цемента со стенок накопительного бункера используются вибраторы. Выгрузка цемента из дозатора осуществляется через откидное днище с уплотнением.
- **Дозатор щебня.** Подача щебня в дозатор осуществляется через дозирующее устройство, имеющее в своем составе две секторные заслонки с пневмоприводом. Стенки бункера для предотвращения износа армированы броней. Выгрузка щебня из весового бункера осуществляется через секторную заслонку.
- **Дозатор песка.** Подача песка в дозатор осуществляется через дозирующее устройство, имеющее в своем составе две секторные заслонки с пневмоприводом. Для стряхивания песка со стенок загрузочного бункера используются пневматические вибраторы. Дополнительной мерой в случае, если выявлено зависание песка, являются повторные возвратные движения секторной заслонки. Днище весового бункера также совершает повторные движения при выявлении зависания песка в бункере.
- **Дозатор жидкости.** Подача воды и химдобавок в дозатор осуществляется через клапанные затворы, управляемые пневмоприводами. Выпуск жидкости из дозатора осуществляется через клапанный затвор, открываемый пневмоприводом.

Экран ПК

Электронные компоненты

- **Пост оператора.** Пост оператора состоит из ПЭВМ, Терминала дозирования компонентов смеси ТДКС, Пульта управления ПУ, Табло информационного ТИ в количестве от 3 до 6. Контроллера дискретных сигналов КДС, Блока релейного БР, Источника бесперебойного питания ИБП, Щитка защиты от перенапряжений с фильтром помех ЩЗПФ и принтера ПР
- **Пульт управления ПУ** предназначен для ручного управления процессом дозирования компонентов смеси. На пульте управления находятся переключатели, сигнальные лампочки и кнопки управления, обеспечивающие работу оператора в ручном режиме, а также цифровые табло, индицирующие текущий вес продукта в каждом из дозаторов.
- **Терминал дозирования компонентов смеси ТДКС** предназначен для полуавтоматического управления технологическим процессом дозирования компонентов смеси и отображения результатов на четырехстрочном символьном ЖКИ. Терминал имеет следующие характеристики
 - Количество каналов управления 2 – 6
 - Количество хранимых рецептов, не более 100
 - Количество хранимых отвесов, не более 9000

- **Табло информационное ТИ** предназначено для отображения текущего веса в бункере дозатора. Количество табло в системе равно количеству дозаторов

- **Контроллер дискретных сигналов КДС** предназначен для приема дискретных входных сигналов и передачи их по интерфейсу RS232 в ТДКС, а также для приема от ТДКС и передачи в БР команд управления

- **Блок усиления сигналов БУС** предназначен для усиления сигналов от ТДКС и коммутации силовых цепей по командам, поступающим от КДС

Дополнительное оборудование

При необходимости в состав поставляемого оборудования могут быть включены

- вибраторы электромеханические или пневматические – для стряхивания песка или цемента при их зависании или налипании на стенки надвесового бункера и/или дозатора

- одно и двухвинтовые шнековые питатели с двухскоростным приводом – для регулируемой подачи цемента в дозатор

- блоки подготовки воздуха - для дополнительной очистки воздуха перед подачей его в дозаторы.

Функции системы

- Ведение базы данных рецептов строительной смеси, автоматизация выбора рецепта.

- Ведение базы данных выполненных отвесов за весь период функционирования системы.

- Формирование отчетных документов о результатах работы системы за назначаемый период.

- Выполнение рецептов в автоматическом режиме:

- управление механизмами подачи компонентов смеси,

- взвешивание компонентов смеси,

- управление выпускными заслонками,

- выявление и ликвидация зависаний материала в бункерах.

- Обнаружение аварийных технологических ситуаций и сигнализация об этом оператору.

- Настройка дозаторов (тарирование и калибровка).

- Автоматическая диагностика механизмов и электронного оборудования

- Автоматический, полуавтоматический и ручной режимы управления дозаторами

Преимущества применения

- высокое качество бетона за счет точного соблюдения рецептуры смеси;

- высокая производительность за счет автоматизации процесса дозирования и назначения рецептов;

- автоматическое фискальное документирование процесса, предотвращающее хищения материалов и готового раствора;

- формирование, хранение и распечатка отчетов по компонентам смеси и готового раствора за различные периоды (смену, сутки, неделю, месяц);

- комфортные условия труда оператора

В качестве примера системы дозирования представлена схема установки для приготовления бетона (рисунок 2).

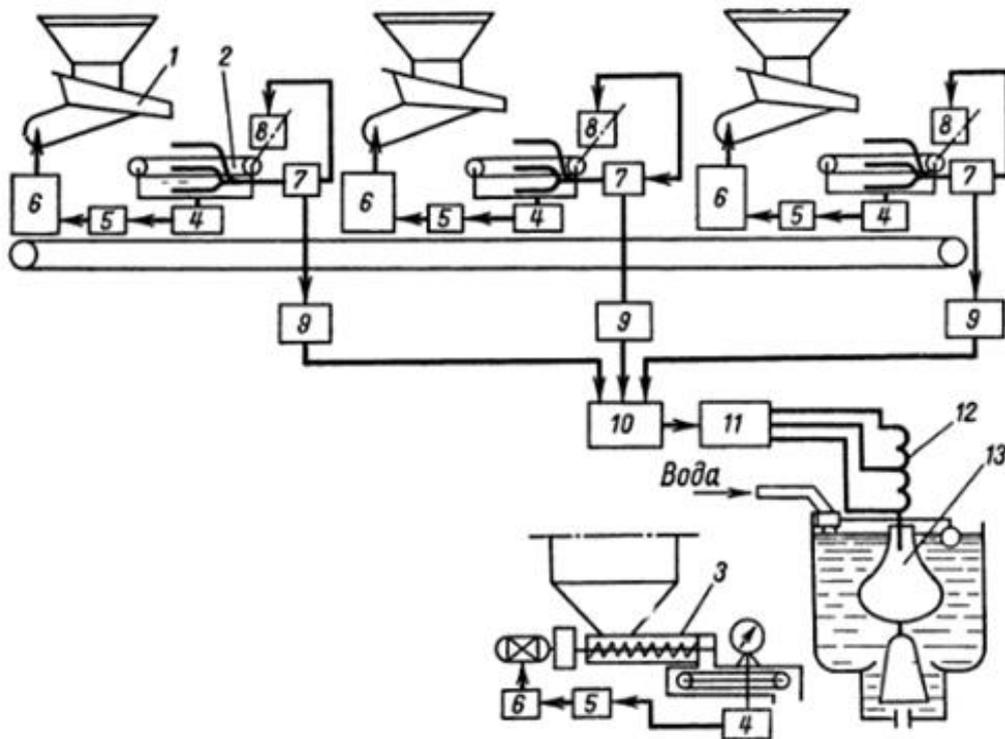


Рисунок 2- Схема установки для приготовления бетона

Обозначения, принятые на рисунке 2:

1- вибропитатель; 2- транспортер-массоизмеритель; 3- шнековый питатель; 4- преобразователь; 5,6- усилитель; 7- датчик влажности; 8- регулируемый привод; 9- блок задержки; 10- сумматор; 11- усилитель; 12- сервопривод; 13- дозатор.

Автоматизированная система дозирования сыпучих материалов в сельском хозяйстве

Функциональная схема автоматической системы дозирования сыпучих материалов показана ниже (рисунок 3). Основные составляющие схемы: 6 расходных бункеров(РБ), которые содержат дозируемые компоненты (пшеница, ячмень); 6 шнековых питателей(ШП), оборудованных асинхронными электродвигателями; бункер-дозатор грузоподъемностью до 1000 кг, которые установлен на 3-х тензодатчиках (ТДВ); бункер-смеситель, который оснащен АД смесителя и двигателем рыхлителя; бункер отгрузки готовой продукции с емкостным датчиком уровня; транспортная подсистема отгрузки готовой продукции[15].

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. В нем соответствии 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. После завершения процесса дозирования всех компонентов масса направляется в бункер-смеситель. Время смешивания колеблется 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(ПЧ) 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.

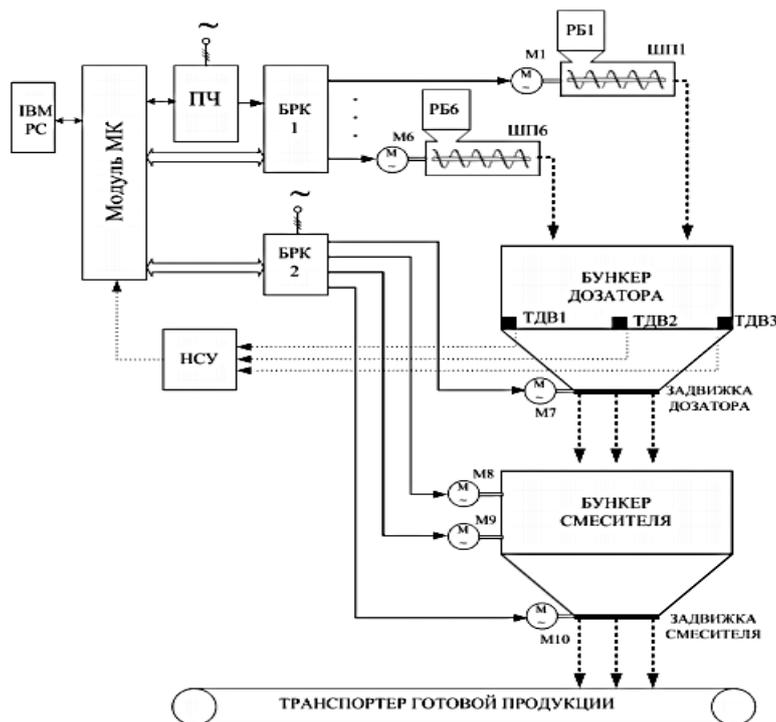


Рисунок 3- Функциональная схема автоматической системы дозирования сыпучих материалов, применяемая с/х

Именно эту систему рассмотрим более подробно, а именно: рассчитаем параметры схемы замещения асинхронного двигателя (АД), построим все необходимые характеристики, характеризующие работу АД, произведем выбор и расчет необходимого электрооборудования, рассмотрим

имитационную модель электропривода автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является автоматизированная система дозирования сыпучих материалов, изображенная на рисунке 3.

Чтобы достичь высокой надежности программно-аппаратный комплекс должен состоять не менее чем из трех уровней (рисунок 1.1). Нижний уровень состоит из датчиков и исполнительных механизмов[14] Средний уровень содержит в себе управляющий контроллер и модуль релейной коммутации. Верхний уровень имеет автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе ПК. Связь верхнего и среднего уровней осуществляется посредством интерфейса RS-485 на физическом уровне и протоколом обмена, специально разработанным для стенда. Скорость обмена информацией между контроллером и АРМ оператора составляет 9600 бод.

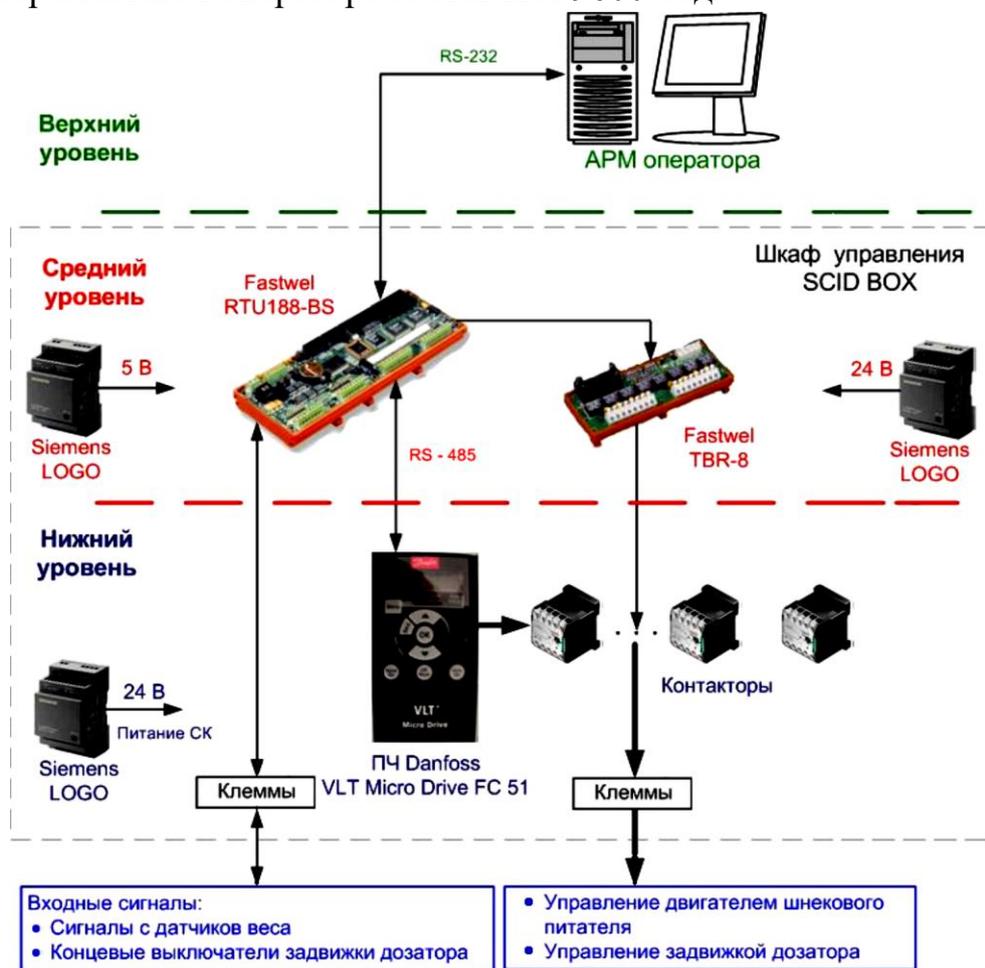


Рисунок 1.1 - Структурная схема автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Технологический процесс дозирования требует максимальную точность дозирования при заданной производительности. На рисунке 3 представлена

функциональная схема асинхронного электропривода шнекового питателя для автоматического дозирования сыпучих материалов.

2. Расчеты и аналитика

Для разработки автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов необходимо для начала произвести расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя VTB 71С паспортные данные которого отображены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Паспортные данные АД VTB 71С

Заданные величины	Условное обозначение	Единица измерения	Численное значение
Фазное напряжение	U_{ϕ}	<i>В</i>	220
Линейное напряжение	$U_{л}$	<i>В</i>	380
Мощность двигателя	$P_{\text{дв.}}$	<i>Вт</i>	750
КПД	η_n	%	74
Синхронная частота вращения	n_c	<i>об/мин</i>	2810
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_n$	<i>о.е.</i>	0,78
Номинальное скольжение	S_n	%	1,3
Кратность пускового тока	k_i	<i>о.е.</i>	6
Кратность пускового момента	k_n	<i>о.е.</i>	2,6
Кратность максимального момента	k_{max}	<i>о.е.</i>	2,7
Кратность минимального момента	k_{min}	<i>о.е.</i>	1,6
Коэффициент загрузки двигателя	$P_{\text{ж}}$	<i>о.е.</i>	0,75
Число пар полюсов	P	-	1
Частота питающей сети	f	<i>Гц</i>	50
Число фаз двигателя	m	-	3

2.1 Определение параметров схемы замещения АД

Синхронная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 2810}{30} = 294,263 \text{ рад / с}$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,013) \cdot 2810 = 2773 \text{ об / мин}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,013) \cdot 294,263 = 290,437 \text{ рад / с}$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{750}{290,437} = 2,582 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тогда номинальный фазный ток:

$$I_{\phi_n} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{750}{3 \cdot 220 \cdot 0,78 \cdot 0,74} = 1,969 \text{ A}$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рисунке 2.1.1.

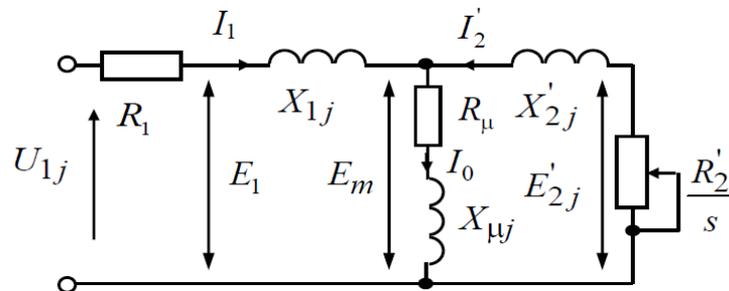


Рисунок 2.1.1 - Т-образная схема замещения асинхронного двигателя

АД проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рисунке 2.1.2.

Коэффициент мощности при частичной загрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,99 \cdot \cos \varphi_n = 0,99 \cdot 0,7 = 0,772$$

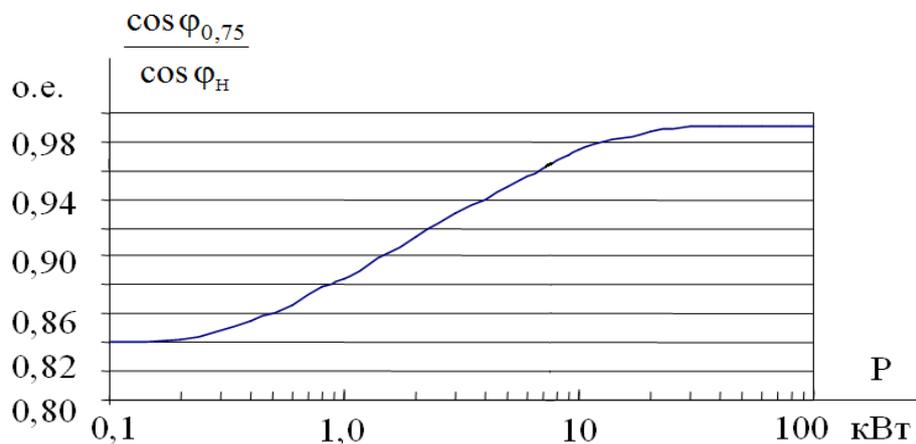


Рисунок 2.1.2 – Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя принимаем $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной загрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 750}{3 \cdot 220 \cdot 0,772 \cdot 0,74} = 1,688 \text{ A}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \frac{\sqrt{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \frac{\sqrt{1,688^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 1,969 \cdot (1 - 0,013)}{1 - 0,75 \cdot 0,013} \right)^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,013)}{1 - 0,75 \cdot 0,013} \right)^2}} = 1,245 \text{ A}$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,013 \cdot \frac{2,7 + \sqrt{2,7^2 - (1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,013 \cdot 1 \cdot (2,7 - 1)} = 0,071 \text{ o.e}$$

где в первом приближении коэффициент $\beta = 1$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{1,245}{2 \cdot 6 \cdot 1,969} = 1,053$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,013)}{2 \cdot 1,053 \cdot 2,7 \cdot 750} = 33,614$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{кр.}} \right) \cdot C_1} = \frac{33,614}{\left(1 + \frac{1}{0,071} \right) \cdot 1,053} = 2,116 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,053 \cdot 2,116 \cdot 1 = 2,227 \text{ Ом}$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр.}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,071^2} - 1^2} = 14,058$$

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 14,058 \cdot 1,015 \cdot 2,274 = 31,308 \text{ Ом}$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_\kappa}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{31,308}{1,053} = 17,25 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_\kappa = 0,42 \cdot 31,308 = 13,149 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания, которое определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$E_1 = \sqrt{(U_\phi \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_\phi \cdot \sin \varphi_n + X_1 \cdot I_{\phi n})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,78 - 2,227 \cdot 1,969)^2 + (220 \cdot 0,626 + 13,149 \cdot 1,969)^2} = 201,138 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{201,138}{1,245} = 161,544 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора обусловлена потоками рассеяния:

$$L_{1\delta} = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{13,149}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,042 \text{ Гн}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{17,25}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,055 \text{ Гн}$$

Результирующая индуктивность, которая обусловлена магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием полюсов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{161,544}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,514 \text{ Гн}$$

Рассчитанные параметры схемы замещения асинхронного двигателя сведены в таблице 1.1.1

Таблица 1.1.1 - Параметры схемы замещения электродвигателя ВТВ 71С

$R_1, \text{ Ом}$	$X_1, \text{ Ом}$	$L_{1\delta}, \text{ Гн}$	$X_m, \text{ Ом}$	$L_m, \text{ Гн}$	$R'_2, \text{ Ом}$	$X'_2, \text{ Ом}$	$L'_{2\delta}, \text{ Гн}$	$X_\kappa, \text{ Ом}$
2,27	13,149	0,042	161,544	0,514	2,116	17,25	0,055	31,308

2.2 Построение механических и электромеханических характеристик АД

Механическая характеристика

Рассчитываем механическую характеристику асинхронного электродвигателя по формуле (рисунок 2.2.1):

$$M = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R'_2}{\omega_n \cdot s \cdot \left[(R_1 + R'_2 \cdot s^{-1})^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2 \right]};$$

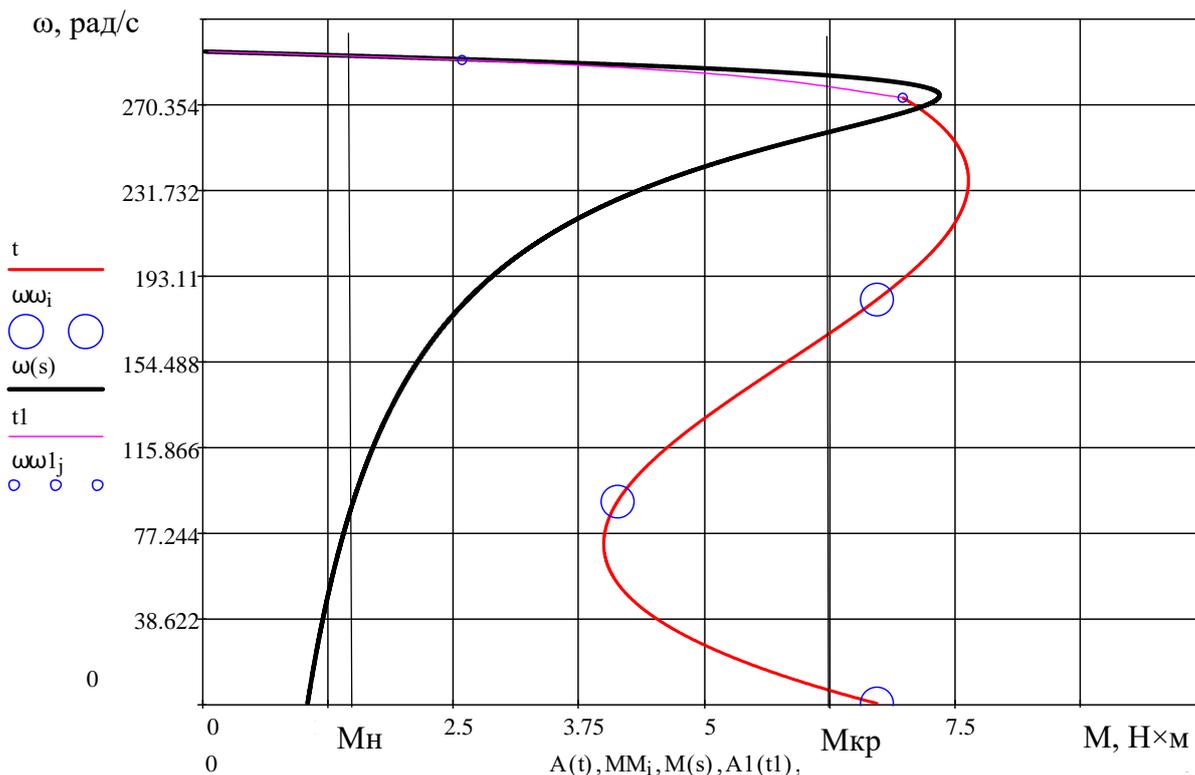


Рисунок 2.2.1 – Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Электромеханическая характеристика тока обмотки ротора

Момент критический двигательного режима:

$$\begin{aligned} M_{кр.} &= \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 294,263 \cdot 1,015 \cdot \left[2,309 + \sqrt{2,309^2 + 32,458^2} \right]} = 6,972 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Критическое скольжение:

$$S_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{2,274}{\sqrt{2,309^2 + 32,458^2}} = \pm 0,07$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n = 2,3 = 2,7 \cdot 2,582 = 6,972 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_n = 1,6 \cdot 2,582 = 4,132 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим зависимость тока ротора I'_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения S .

График электромеханической характеристики $I'_2 = f(s)$ приведен на рисунке 2.2.2.

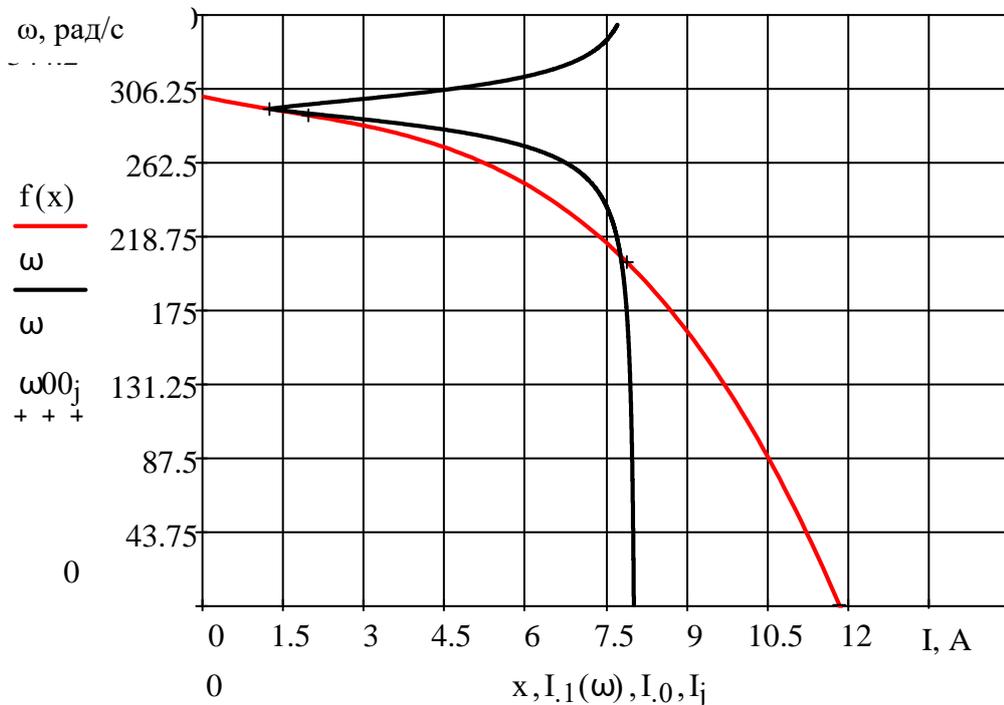


Рисунок 2.2.2 – График электромеханической характеристики тока обмотки ротора

2.3 Выбор дополнительного оборудования

Расчет преобразователя частоты

Выбран ПЧ «VLT Micro FC 51» 132F0020(рисунок 2.3.1) при условии, что

$$I_{н.пч} \geq 1,25 I_{н.дв.} \quad P_{н.пч.} \geq 1,25 P_{н.дв.}$$



Рисунок 2.3.1 - Преобразователь частоты Danfoss VLT Micro FC 51

Проверка адекватности выбора ПЧ из следующих условий:

- Рассчитывается полная пусковая мощность ПЧ:

$$\left[\frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot \left(M_{ст} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t_A} \right) \right] \leq 1,5 \cdot P_{н.ПЧ.}$$

$$\left[\frac{0,95 \cdot 2810}{9,55 \cdot 0,74 \cdot 0,78} \cdot \left(2,582 + \frac{0,0006}{9,55} \cdot \frac{2810}{10} \right) \right] = 1,266 \leq 1,5 \cdot 1,5$$

$$1,266 \text{ кВА} \leq 2,25 \text{ кВА}$$

где k – коэффициент искажения тока, который связан с алгоритмом формирования синусоиды тока с помощью ШИМ (широтно-импульсной модуляции напряжения на двигателе). Этот коэффициент может принимать значения от 0,95 до 1,05, и он не имеет размерности. В первом приближении можно принять его равным 1;

t_A – время, сек, в течение которого требуется разогнать двигатель до частоты вращения;

$M_{ст}$ – статический момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, в основном это номинальный момент двигателя, указанный в спецификации на двигатель.

- Рассчитывается ток $I_{Потр}$, который потребляет двигатель при работе от преобразователя частоты при напряжении U сети 220/380В:

$$I_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot n \cdot M_{\text{ст}}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,95 \cdot 2810 \cdot 2,582}{9,55 \cdot 0,74 \cdot 0,78 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 1,92 \text{ A} < 2,14 \text{ A},$$

где M – момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, в основном это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

U – линейное напряжение (действующее значение) на обмотках двигателя, В.

• Рассчитывается ток $I_{\text{ПОТР.Р.}}$, который потребляет двигатель при линейном разгоне:

$$I_{\text{ПОТР.Р.}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}})$$

$$I_{\text{ПОТР.Р.}} = \frac{0,95 \cdot 2810}{9,55 \cdot 0,74 \cdot 0,78 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (2,55 + 0,018) = 1,93 \text{ A} < 2,14 \text{ A},$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 9,55}{n} = \frac{750 \cdot 9,55}{2810} = 2,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дин}} = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t} = \frac{0,0006}{9,55} \cdot \frac{2810}{10} = 0,018 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $M_{\text{ст}}$ – статический момент нагрузки на валу двигателя, Н·м, чаще всего это номинальный момент двигателя, взятый из спецификации на двигатель;

$M_{\text{дин}}$ – динамический момент нагрузки, который возникает при разгоне инерционной нагрузки, Н·м.

• Рассчитывается полная потребляемая двигателем мощность в номинальном установившемся режиме

$$S_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot P}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{0,95 \cdot 750}{0,74 \cdot 0,78} = 1,23 \text{ кВА} < 3 \text{ кВА},$$

где P – номинальная мощность двигателя, кВт.

Из получившихся условий можно сделать вывод, что ПЧ выбран правильно.

2.4 Расчет инвертора

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{\text{сmax}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{H}} \cdot \cos \varphi_{\text{H}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{H}}} = \frac{750 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2}{0,74 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} = 8 \text{ A}$$

где P_{H} - номинальная мощность двигателя; Вт

$k_1 = 1.4$ - коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, обеспечивающий динамику электропривода;
 $k_2 = 1.2$ - коэффициент допустимой пульсации тока;
 η_H - номинальный КПД двигателя;
 $\cos\varphi_H$ - номинальный коэффициент мощности двигателя;
 U_{1H} -номинальное линейное напряжение двигателя.

Расчет потерь в инверторе при ШИМ – формировании синусоидального тока на выходе состоит в определении составляющих потерь IGBT – транзисторов в проводящем состоянии и при коммутации, а также потерь обратного диода.

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{SS} = I_{CP} \cdot U_{CE(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos\varphi_H \right) = 5,73 \cdot 2,2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,78 \right) = 2,57$$

$$\text{Где } I_{CP} = \frac{I_{cmax}}{k_1} = \frac{8}{1,4} = 5,73$$

$D = 0,95$ – максимальная скважность

$U_{CE(sat)} = 2,2$ В – прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{CP}

Потери IGBT при коммутации:

$$P_{SW} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{con} + t_{coff}) \cdot f_{sw}}{2} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{5,73 \cdot 297 \cdot (0,4 \cdot 10^{-6} + 0,7 \cdot 10^{-6}) \cdot 5000}{2} = 1,08$$

где $t_{con} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ с – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание транзистора;

$t_{coff} = 0,7 \cdot 10^{-6}$ с – продолжительность ПП по цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора;

$U_{cc} = 297$ В – напряжение на коллекторе IGBT (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока);

$f_{sw} = 5000$ Гц – частота коммутации ключей.

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{SS} + P_{SW} = 2,57 + 1,08 = 3,65$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos\varphi_H \right) = 5,73 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3\pi} \cdot 0,78 \right) = 2,34$$

где $I_{ep} = I_{cp}$ - максимальная амплитуда тока через обратный диод;

$U_{ec} = 2$ В- прямое падение напряжения на диоде при I_{cp} .

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{II} \cdot f_{sw} = \frac{1}{8} \cdot 5,73 \cdot 297 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 0,21$$

где $t_{II}=0,2$ мкс – продолжительность обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 2,34 + 0,21 = 2,55$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 3,65 + 2,55 = 6,2$$

Условие выбора ключей IGBT: постоянный ток коллектора $I_c \geq I_{cmax}$

Из этого условия выбираем Trench IGBT шестого поколения серии IRGB4060DPBF.

2.5 Расчет выпрямителя

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{cmax}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_H + n \cdot P_T}{U_d} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{8}{\sqrt{2}} \right) \cdot 220 \cdot 0,78 + 3 \cdot 6,2}{297} = 5,73$$

где $n=3$ - количество пар диодов и транзисторов в инверторе.

$U_d=U_{cc}$ - напряжение звена постоянного тока.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 5,73 = 6 \text{ A}$$

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

Максимальное обратное напряжение диода для мостовой схемы:

$$U_{vm} = k_{zn} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1n} \cdot k_{cn} \cdot k_c + \Delta U_n = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1,35 \cdot 1,5 + 150 = 872,4 \text{ B}$$

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

$k_c=1.5$ - коэффициент допустимого повышения напряжения;

$\Delta U_n=150$ - запасы на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Потери в выпрямителе при установившемся режиме работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{5,73}{1,4} = 14,2$$

где $k_{cs}=0,577$ - для мостовой трехфазной схемы;

$m_v=6$ - число полупроводниковых приборов в схеме.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока инвертора:

$$C = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_H}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{sw} \cdot q_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,81 \cdot \sin\left(\frac{0,45}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot 297 \cdot 5000 \cdot 0,06} = 0,03 \text{ мкФ}$$

где $\varphi_H=0,45$ - угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока;

I_{sm} - амплитудное значение тока в фазе двигателя;

q_1 - коэффициент пульсаций на входе фильтра.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm}/100$).

Опираясь на данные условия выбора, выбираем из каталога диод серии Д2Б.

2.6 Расчет статических характеристик привода при частотном управлении

При частотном регулировании скорости АД нужно учитывать, что реактивные сопротивления двигателя зависят от частоты питающего напряжения. При снижении частоты f_1 активное сопротивление R_1 становится соизмеримым с реактивными сопротивлениями машины. Для данной системы подходит регулирование класса $U_{1\phi}/f_{1j}=\text{const}$. На рисунке 2.6.1 изображены электромеханические характеристики с IR-компенсацией, определяющие зависимость тока статора от скольжения.

Зависимость тока статора от скольжения:

$$I_{111}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{211}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{211}(s) \cdot \sin \frac{X_{KH} \cdot f_{1\kappa 1}}{\sqrt{\left(R_{1\sigma KB_1} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1\kappa 1}^2}}}$$

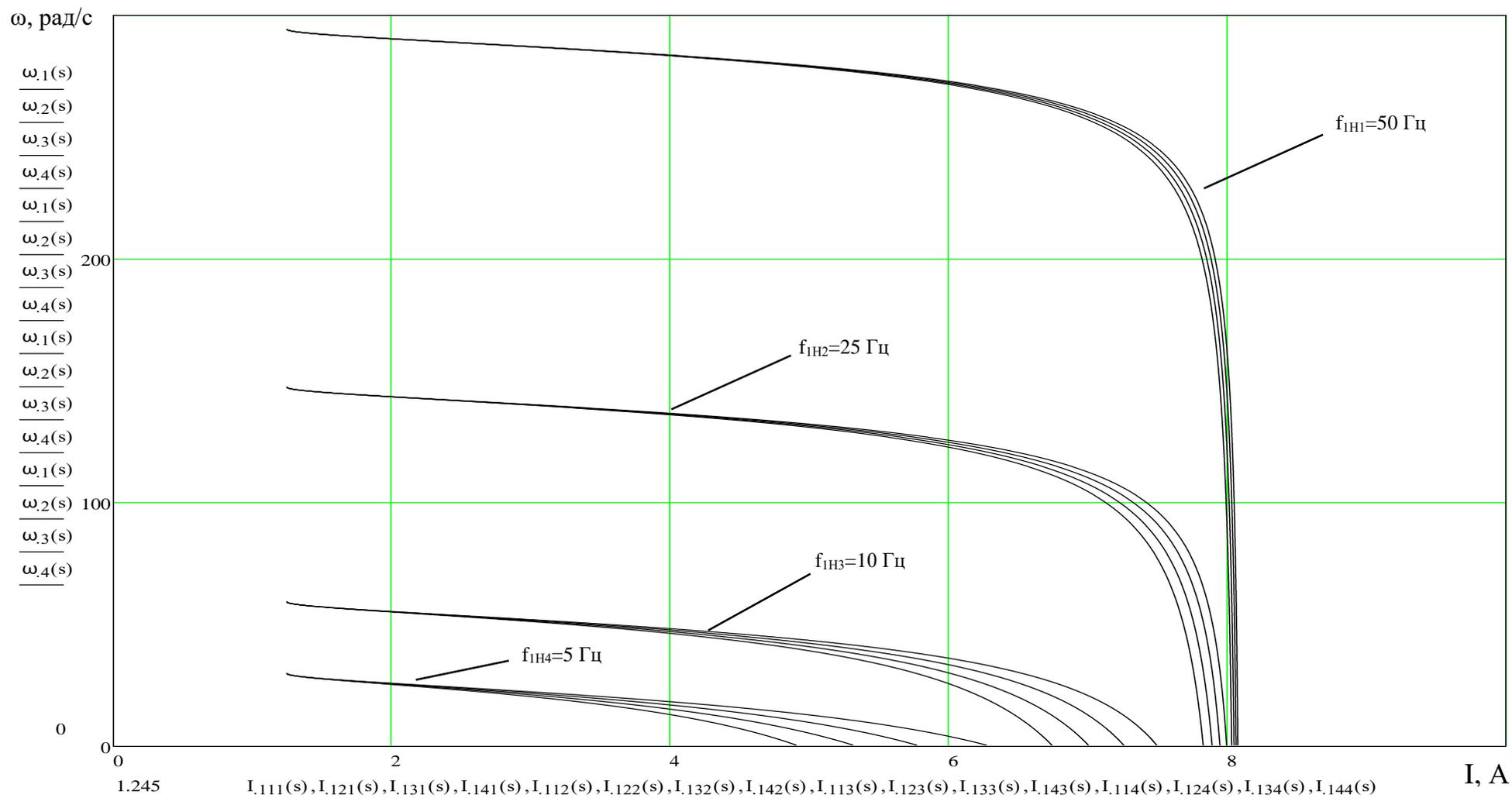


Рисунок 2.6.1 - Электромеханические характеристики асинхронного двигателя при переменных значениях величины частоты и напряжения питания

Также необходимо рассчитать и построить механические характеристики АД при переменных значениях величины и частоты напряжения питания. Строим аналогично той характеристике, что изображена на рисунке 2.6.1. На рисунке 2.6.2 изображены механические характеристики асинхронного двигателя с IR - компенсацией при переменных значениях величины и частоты напряжения питания.

Зависимость приведенного тока ротора от скольжения:

$$\Gamma'_{211}(s) := \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_{1\text{экв}1} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж1}^2 + \left(\frac{R_{1\text{экв}1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж1}}\right)^2}}$$

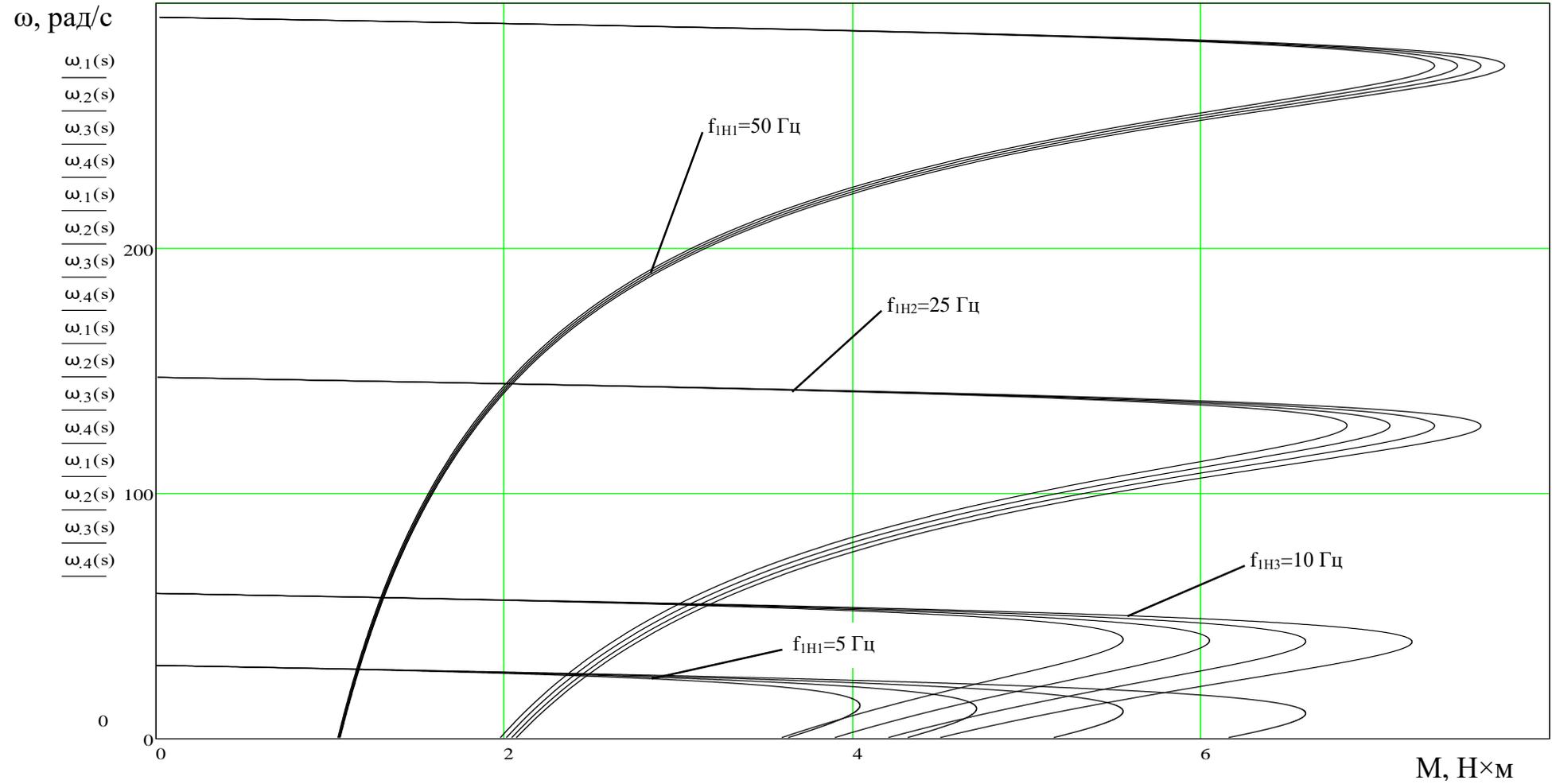


Рисунок 2.6.2 - Механические характеристики АД с ИР-компенсацией при переменных значениях величины частоты и питающего напряжения

2.7 Выбор защитных аппаратов для двигателя

Для того, чтобы двигатели не подвергались воздействию токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выполнить выбор автоматического выключателя(АВВ). Произведем выбор АВВ по следующим параметрам:

5.1. Определим пусковой ток при помощи номинального тока двигателя:

$$I_{ПВСК} = 5 \cdot I_H = 5 \cdot 1,74 = 8,7 \text{ А}$$

5.2. Рассчитаем кратковременный ток:

$$I_{КР} = 1,25 \cdot I_{ПВСК} = 1,25 \cdot 8,7 = 10,875 \text{ А}$$

5.3 Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{ЭМ} \geq I_{КР}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, т.е.

$$I_{ЭМ} = 8 \cdot I_H$$

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{КЗ} \geq I_{ЭМ}$$

$$I_{КЗ} = 10 \cdot I_H = 10 \cdot 1,74 = 17,4 \text{ А}$$

По рассчитанным параметрам выбираем АВВ S203, трехфазный, 16 А, тип С (рисунок 2.7.1)



Рисунок 2.7.1 - Автоматический воздушный выключатель S203

2.8 Выбор электромагнитного пускателя

Выбор пускового устройства будем осуществлять по паспортным и расчетным данным двигателя:

$$I_{НОМ} = 1,74 \text{ А}$$

$$I_{ПУСК} = 10,44 \text{ А}$$

$$i_{уд} = (1,2 \div 1,4) \cdot I_{ПУСК} \cdot \sqrt{2} = 17,54 \text{ А}$$

Следовательно, из каталога выбираем магнитный пускатель ПМЛ-1100 (рисунок 2.8.1), $I_{НОМ}=10\text{А}$, категории АС-3 для АД с короткозамкнутым ротором.



Рисунок 2.8.1 - Магнитный пускатель ПМЛ-1100

2.9 Модуль микроконтроллера RTU 188BS

Модуль микроконтроллера CPB900 (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, CPB900 (RTU188) может быть подключен к сетям RS-232/422/485, что делает возможным использование микроконтроллера в распределенных системах.

Ниже представлен внешний вид данного модуля (рисунок 2.9.1)



Рисунок 2.9.1 - Внешний вид модуля микроконтроллера RTU 188BS

Характеристики

- Процессор 188ES, 40 МГц
- Статическое ОЗУ (SRAM) 512 кбайт
- Флэш-диск 512 кбайт на плате
- 2 последовательных порта: COM1 – RS-232, COM2 – RS-232/422/485 с гальванической изоляцией
- Сторожевой таймер
- 8 каналов АЦП с разрешением 12 бит и гальванической изоляцией
- 16 каналов ввода дискретных сигналов до 24 В с поканальной гальванической изоляцией
- 16 каналов дискретного ввода-вывода ТТЛ, из них 7 — с возможностью коммутации до 24 В/300 мА
- Дополнительно 24 или 48 универсальных программируемых каналов типа UNIO-xx-5 с возможностью подключения внешних аналоговых или дискретных модулей гальванической развязки и нормализации
- Fastwel™ Software BIOS и DOS с быстрой загрузкой (1 с)
- Диапазон рабочих температур от –40 до +85°C
- Среднее время безотказной работы (MTBF) не менее 413000 часов

Составные части модуля RTU188-BS

Процессор Am188ES, частота 40 МГц, супервизор и сторожевой таймер. Модуль процессора, который имеет супервизор (микросхема, отслеживающая сбои 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 в качестве устройства для исключения программных зависаний. Отклик таймера происходит при отсутствии программных подтверждений в течение примерно 1,6 с.

Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Модуль состоит из внутренней статической оперативной памяти размером 512 Кбайт.

Перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (FDD). Для того, чтобы хранить коды программ и долговременную информацию в модуле имеется микросхема электрически перепрограммируемой памяти (далее FFD – Fastwel Flash Disk) размером 512 Кбайт с поддержкой файловой системы.

Часы реального времени RTC. RTU188-BS имеет часы реального времени, реализованные на микросхеме DS1307. Эта микросхема состоит из 56 доступных пользователю байт энергонезависимой статической памяти. Для питания микросхемы DS1307 предусмотрена встроенная литиевая батарея.

Последовательные порты. Микроконтроллер имеет 2 асинхронных последовательных порта.

Порт изолированного дискретного ввода. Микроконтроллер имеет 16 каналов оптоизолированного дискретного ввода. У всех каналов общая земля.

Порт изолированного аналогового ввода. Модуль RTU188-BS имеющий изолированный порт аналогового ввода и позволяющий измерять 8 аналоговых входов с точностью 12 бит в диапазонах 0...5, 0...10, +5, +10 В (диапазон устанавливается программно по любому каналу) или 0...20 мА.

Универсальный порт дискретного ввода-вывода RTU188-BS содержит 16 неизолированных каналов дискретного ввода-вывода. Уровни сигналов любого канала соответствуют уровням транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Нагрузочная способность каждого канала 12 мА.

Порт расширения минимальной конфигурации UNIO48. Универсальный порт ввода-вывода UNIO48 совместим по выходным контактам и управлению с модулем UNIO48-5 фирмы Fastwel. Порт собран на программируемых логических микросхемах FPGA и служит для ввода-вывода 48 логических сигналов. Схема порта может меняться непосредственно в системе без отключения питания.

2.10 Модуль релейной коммутации TBR8

Назначение модуля релейной коммутации TBR8. Плата предназначена для коммутации силовых цепей переменного и постоянного тока с помощью

электромагнитных реле. Она применяется в составе устройств и функциональных блоков, выполненных на базе микроконтроллеров, процессорных и периферийных модулей фирм Octagon Systems и Fastwel. Плата имеет восемь нормально разомкнутых однополюсных (SPST) каналов, которые обеспечивают 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, выполненных 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 модуля релейной коммутации TBR8
Количество каналов релейной коммутации – 8. Тип контактных групп реле – нормально разомкнутые однополюсные (SPST-NO).

Параметры коммутируемой нагрузки:

- 1) 270 В при 10 А переменного тока частотой 50 Гц.
- 2) 30 В при 10 А постоянного тока.
- 3) Номинальное время срабатывания реле 8 мс.
- 4) Номинальное время отпускания реле 5 мс.
- 5) Сопротивление замкнутых контактов реле не более 50 мОм.
- 6) Напряжение пробоя изоляции между катушкой управления и коммутируемыми цепями не менее 2500 В.

Параметры варисторной защиты выходных цепей от перенапряжения:

- максимальное рабочее напряжение варистора – 400 В переменного тока;
- классификационное напряжение варистора – 610 В при постоянном токе 1 мА;
- 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:

1. Напряжение питания цепей управления реле – 24 В постоянного тока с допустимым отклонением $\pm 10\%$ при потребляемом токе не более 300 мА;
2. Напряжение питания логических цепей платы – 5 В постоянного

тока с допустимым отклонением $\pm 5\%$ при потребляемом токе не более 20 мА.

Устройство и работа платы

Структурная схема платы TBR8 приведена на рисунке 2.10.1

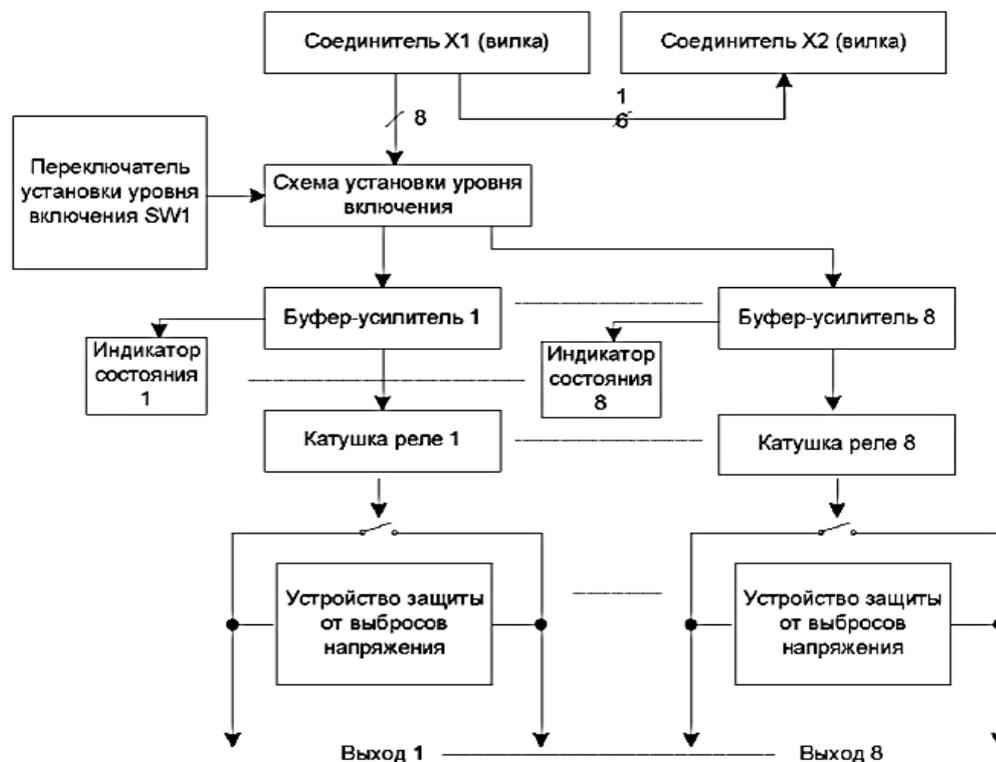


Рисунок 2.10.1 - Структурная схема платы TBR8

Соединение платы с 24-канальным портом дискретного ввода-вывода реализуется через 26-контактный соединитель X1 соединительным кабелем FC-26. Для того, чтобы управлять 8 каналами релейной коммутации платы используются 8 каналов порта, которые настроены на вывод. Остальные 16 каналов порта выведены в 26-канальный соединитель X2. Если для управления платой применяется порт дискретного ввода-вывода, который совместим 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, которые имеют уровни ТТЛ, приходят на схему установки уровня включения, которая состоит из восьми элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. Если при этом переключатель SW1 находится в закрытом состоянии, то включение каналов релейной коммутации (замыкание контактных групп реле) осуществляется сигналом с уровнем логической 1. Если переключатель SW1 в разомкнутом положении, то включение канала релейной коммутации сопровождается уровнем логического 0.

Выходы схемы установки уровня включения соединены с буферами-усилителями, выполненные на основе полупроводниковых ключей с повышенной нагрузочной способностью в интегральном исполнении и предназначенные для управления катушками реле.

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

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

Электрическое питание платы

Электрическое питание логических цепей платы напряжением 5 В осуществляется от модуля дискретного ввода-вывода, который управляет платой, через 26-контактный соединитель X1.

Если напряжение 5 В подано на плату то это сопровождается 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». Общий провод присоединяется к одному из клеммных соединителей «GND». Наличие напряжения 24 В, которое подано на плату, отражается свечением светодиодного индикатора «+24V».

Ток, который потребляет плата по цепи 24 В, получается не более 300 мА. Допустимая площадь сечения провода не более 2,5 мм².

Местоположение соединителей показано на рисунке 2.10.2

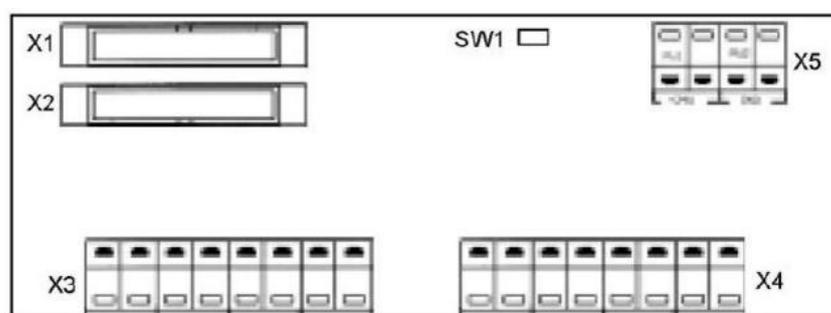


Рисунок 2.10.2 - Расположение соединителей на панели релейной коммутации TBR8

Настройка модуля релейной коммутации

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 разомкнут, то реле срабатывают при высоком логическом уровне управляющего сигнала.

Входные сигналы управления состоянием реле подаются на контакты соединителя X1 платы. Сигналы управления имеют уровень ТТЛ или КМОП-логики, и обладать нагрузочной способностью 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 С адаптера параллельного интерфейса

82C55 (580BB55). Неиспользуемые 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 неиспользуемой 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 256502 фирмы WAGO.

2.11 Тензодатчик серии С

Датчик состоит из упругого элемента Z-образной формы, штуцера для ввода кабеля, 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.

Измеряемое усилие, действуя 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

2.12 Оптимизация контура скорости

Линеаризованная структурная схема системы преобразователь частоты - асинхронный двигатель (ПЧ-АД), приведена на рисунке 2.12.1.

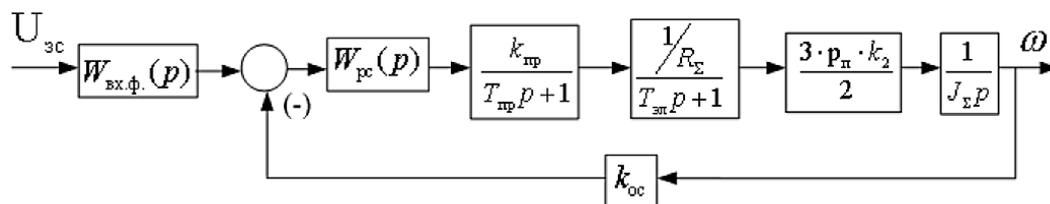


Рисунок 2.12.1 - Линеаризованная структура системы ПЧ-АД

На рисунке 2.12.1 приняты следующие обозначения:

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

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

$T_{пр}$ – постоянная времени преобразователя частоты

$$T_{пр} = \frac{1}{f_{пр}} = \frac{1}{5000} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ с} ;$$

$$T_{эл} = \frac{L_{1\delta} + L_m - \frac{L_m^2}{L_{2\delta} + L_m}}{R_{\Sigma}}$$

$p_{п}=1$ – число пар полюсов;

k_2 – коэффициент электромагнитной связи ротора $k_2 = \frac{L_m}{L_2}$;

$$R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \cdot k_2 ;$$

$k_{ос}$ – коэффициент обратной связи по скорости $k_{ос} = \frac{U_{р\text{макс}} \cdot 9.55}{n_H}$;

J_{Σ} - суммарный момент инерции

$$J_{\Sigma} = J_{ДВ} + J_M = J_{ДВ} + \frac{1.5 \cdot J_{ДВ}}{i^2}$$

2.13 Синтез регулятора скорости на модульный оптимум

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

$$W_{co}(\rho) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot \rho \cdot (T_{\mu c} \cdot \rho + 1)}$$

где $T_{\mu c} = T_{np}$

Передаточную функцию разомкнутого контура скорости приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора скорости.

$$W_{pc}(p) = \frac{(T_{эл} \cdot p + 1) \cdot R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma}}{k_{np} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC} \cdot 2 \cdot T_{\mu c}}$$

В данном случае получается пропорциональный регулятор с коэффициентом усиления

$$K_{pc} = \frac{R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma}}{k_{np} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC} \cdot 2 \cdot T_{\mu c}} = \frac{22 \cdot 2 \cdot 0,003}{40 \cdot 3 \cdot 1,9,35 \cdot 0,34 \cdot 2 \cdot 0,0005} = 0,35$$

и фильтром на входе $(T_{эл} \cdot p + 1)$.

2.14. Оптимизация контура веса

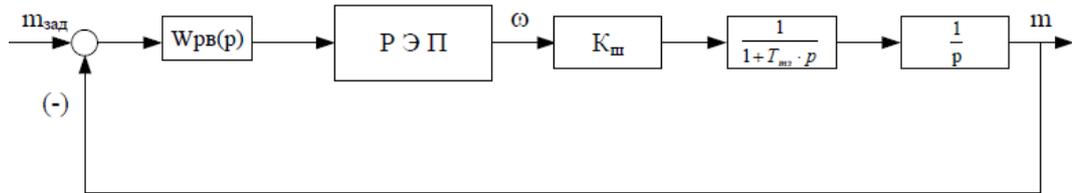


Рисунок 2.14.1 - Структурная схема линеаризованного контура веса

На структурной схеме, изображенной на рисунке 2.14.1 приняты следующие обозначения:

$W_{рв}(p)$ – передаточная функция регулятора веса;

$K_{ш}$ – коэффициент передачи шнека;

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

Синтез регулятора веса на модульный оптимум

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

$$W_{MO}(\rho) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu B} \cdot \rho (T_{\mu B} \cdot \rho + 1)}$$

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

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равную величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\mu B} = T_{T3} = 0,33$ с.

Протекание процессов по контуру веса имеет медленный характер по сравнению с процессами регулируемого электропривода. Поэтому в данной автоматизированной системе регулируемый привод (частотный преобразователь) можно представить, как пропорциональное звено.

$$K_{PЭП} = \frac{\omega_{МАКС}}{U_{рв.макс}} = \frac{15,6}{10} = 1,56$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы определяется следующим образом:

$$W_{разкв}(\rho) = W_{рв}(\rho) \cdot K_{PЭП} \cdot \frac{k_{ш}}{\rho} \cdot \frac{1}{1 + T_{T3} \cdot \rho}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура веса приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора веса.

Приравняем $T_{T3} = T_{\mu B}$ и получаем:

$$W_{PВ}(\rho) = \frac{(T_{T3} \cdot \rho + 1)}{k_{ш} \cdot k_{PЭП} \cdot 4 \cdot T_{\mu B} \cdot (T_{\mu B} \cdot \rho + 1)} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{PЭП} \cdot 4 \cdot T_{\mu B}}$$

$$\text{Где } k_{PВ} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{PЭП} \cdot 4 \cdot T_{\mu B}} = \frac{1}{0,0019 \cdot 1,56 \cdot 4 \cdot 0,33} = 255,1$$

Т.е., при настройке контура веса на модульный оптимум, получаем регулятор веса пропорционального типа с коэффициентом $k_{PВ}$.

Синтез регулятора веса на симметричный оптимум

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

$$W_{ТО}(\rho) = \frac{4 \cdot T_{\mu B} \cdot \rho + 1}{8 \cdot T_{\mu B} \cdot \rho^2 (T_{\mu B} \cdot \rho + 1)}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура веса приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора веса.

$$W_{TO}(\rho) = \frac{4 \cdot T_{\mu B} \cdot \rho + 1}{4 \cdot T_{\mu B} \cdot \rho} = \frac{1 \cdot (T_{T3} \cdot \rho + 1)}{k_{Ш} \cdot k_{PЭП} \cdot 2 \cdot T_{\mu B} \cdot (T_{\mu B} \cdot \rho + 1)}$$

Где

$$k_{PB} = \frac{1}{k_{Ш} \cdot k_{PЭП} \cdot 2 \cdot T_{\mu B}} = \frac{1}{0,0019 \cdot 1,56 \cdot 2 \cdot 0,33} = 510,2 - \text{коэффициент усиления регулятора веса}$$

$$T_{PB} = 4T_{\mu B} = 4 \cdot 0,33 = 1,32 - \text{постоянная времени регулятора веса}$$

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

2.15 Разработка имитационной модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Имитационная модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов представлена на рисунке 2.15.1

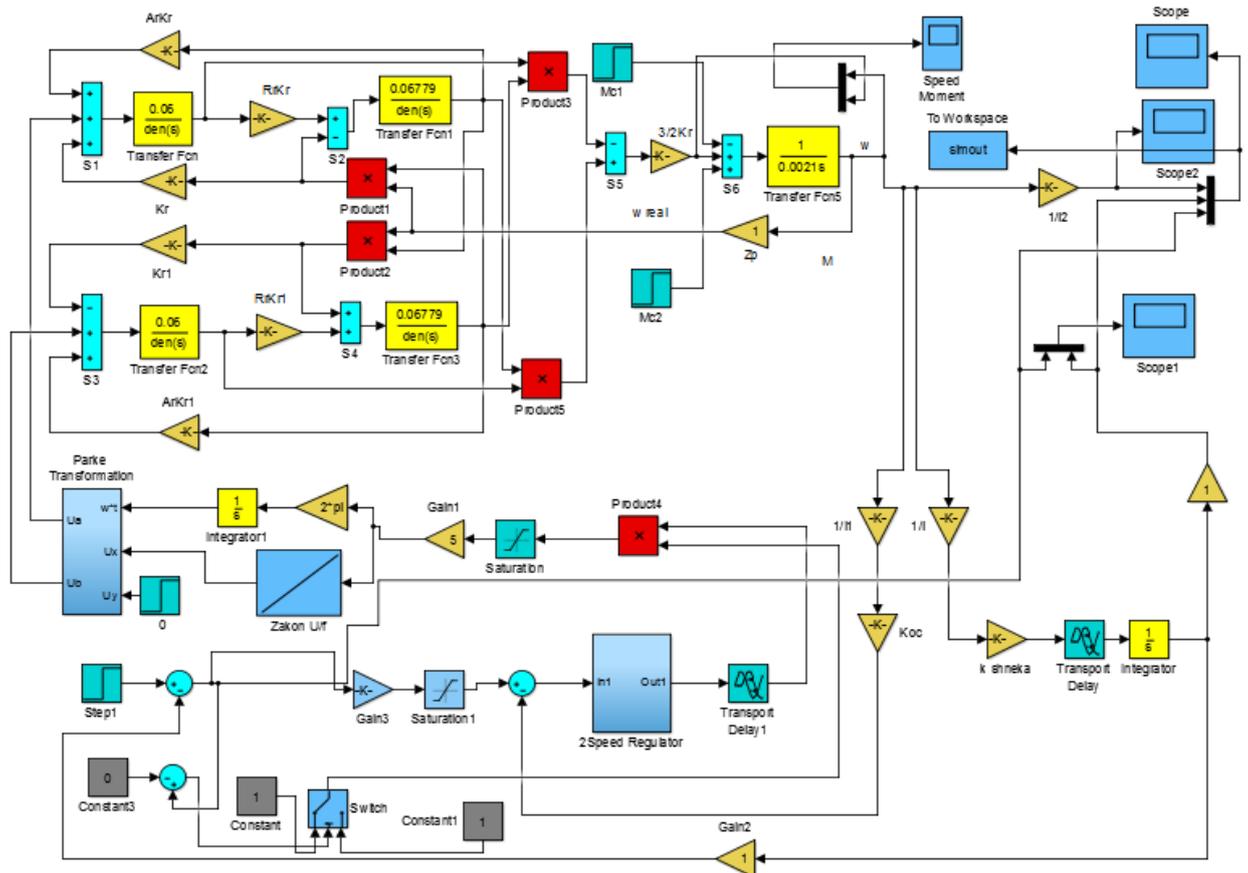


Рисунок 2.15.1 - Имитационная модель автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов

Блок *ПКП* представляет собой прямой преобразователь координат из вращающихся в неподвижные (*Parke Transform*). Содержимое блока видно на рисунке 2.15.2. На вход идет подача напряжения во вращающейся системе координат UX , UY , которые представляют собой постоянные величины, а также ωt . На выходе блока происходит формирование синусоидальных напряжений, управляющих моделью асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат.

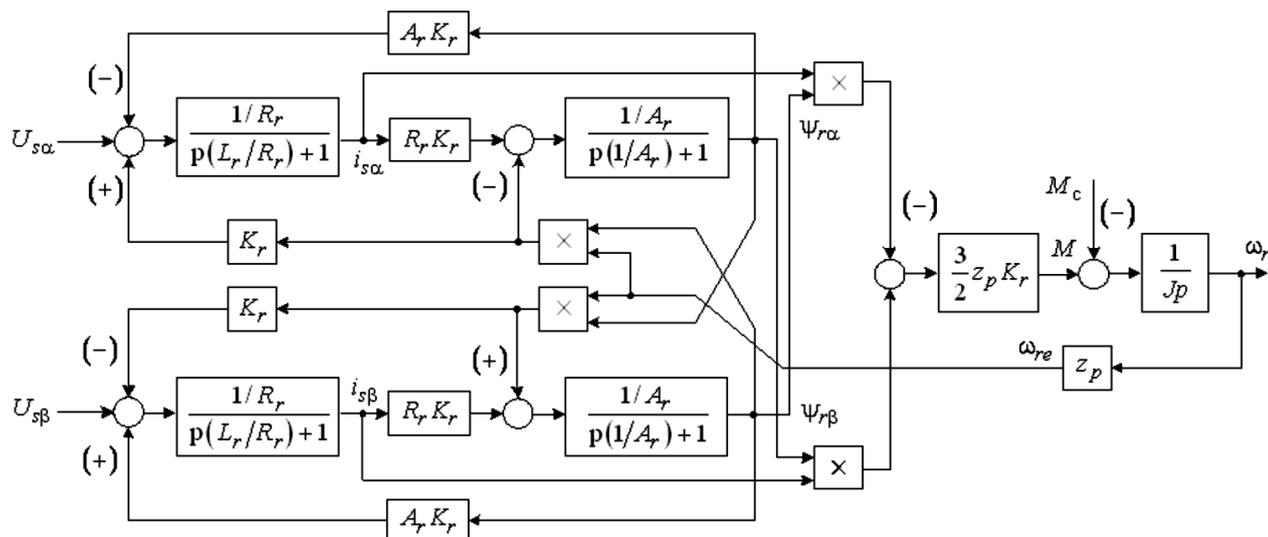


Рисунок 2.15.2 - Структурная схема имитационной модели АД при использовании неподвижной системы координат

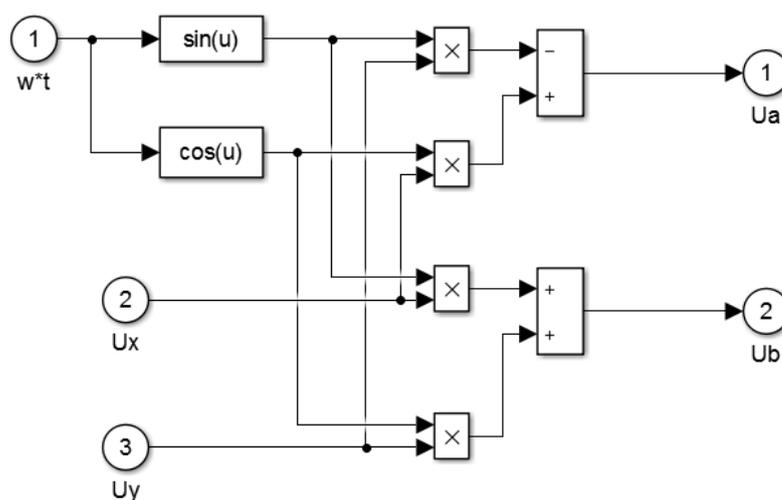


Рисунок 2.15.3- Прямой координатный преобразователь (*Parke Transform*)

Закон управления преобразователем частоты $U/f = \text{const}$ реализуется с помощью блока *Lookup Table*, где в окошке “Input values” задаются значения частоты, а в “Output values” значения напряжения. Нужно задавать линейную зависимость для соблюдения пропорции $U/f = \text{const}$.

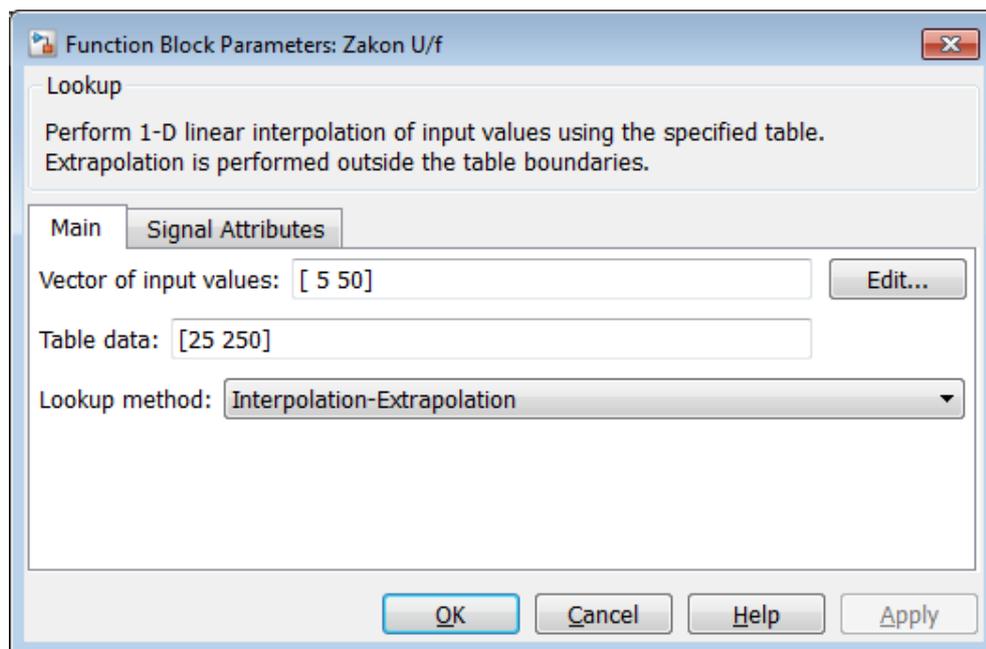


Рисунок 2.15.4 - Реализация закона $U/f = \text{const}$

При моделировании пропорционально - интегрального регулятора используется функция Subsystem, с содержимым, показанным на рисунке 2.15.5. Здесь индивидуально задаются значение коэффициента регулятора и $1/T_{рег}$.

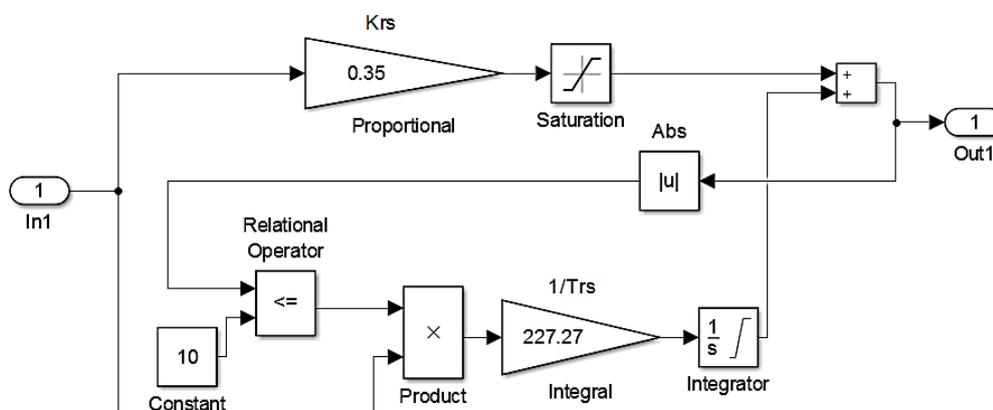


Рисунок 2.15.5 - Пропорционально-интегральный регулятор

При помощи имитационной модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов (рисунок 2.15.1) изображены результаты дозирования 50, 10, 5, 1 кг материала.

Регулятор веса настроен на модульный оптимум.

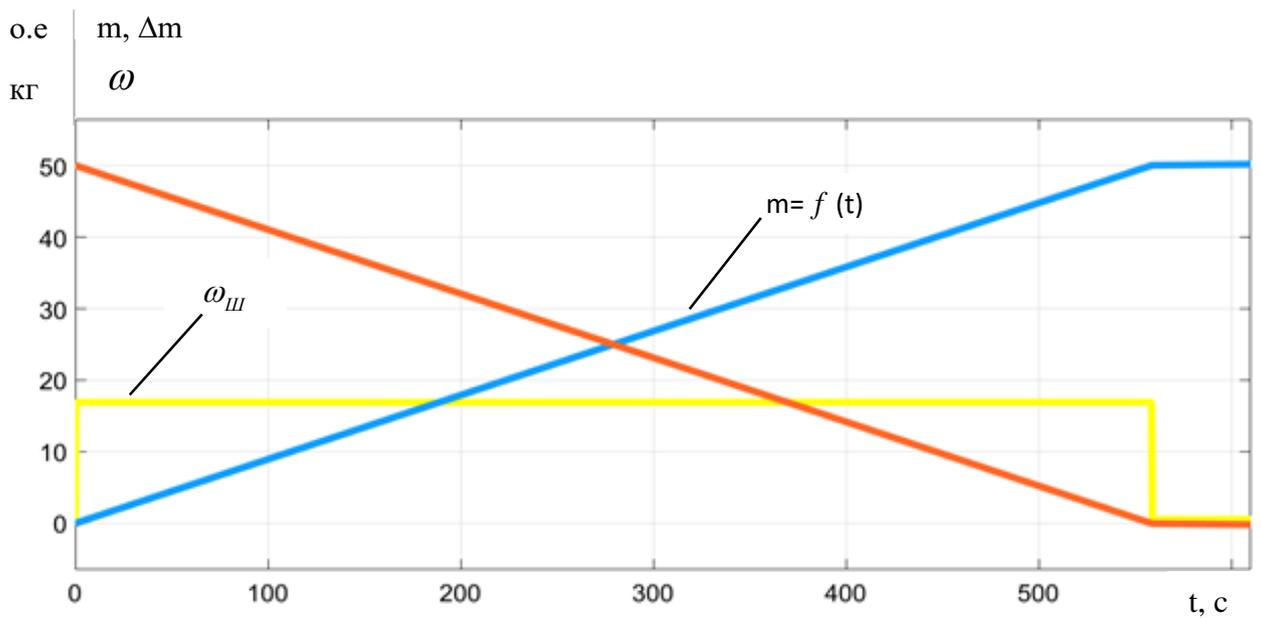


Рисунок 2.15.6- Результаты дозирования 50 кг материала с П- регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

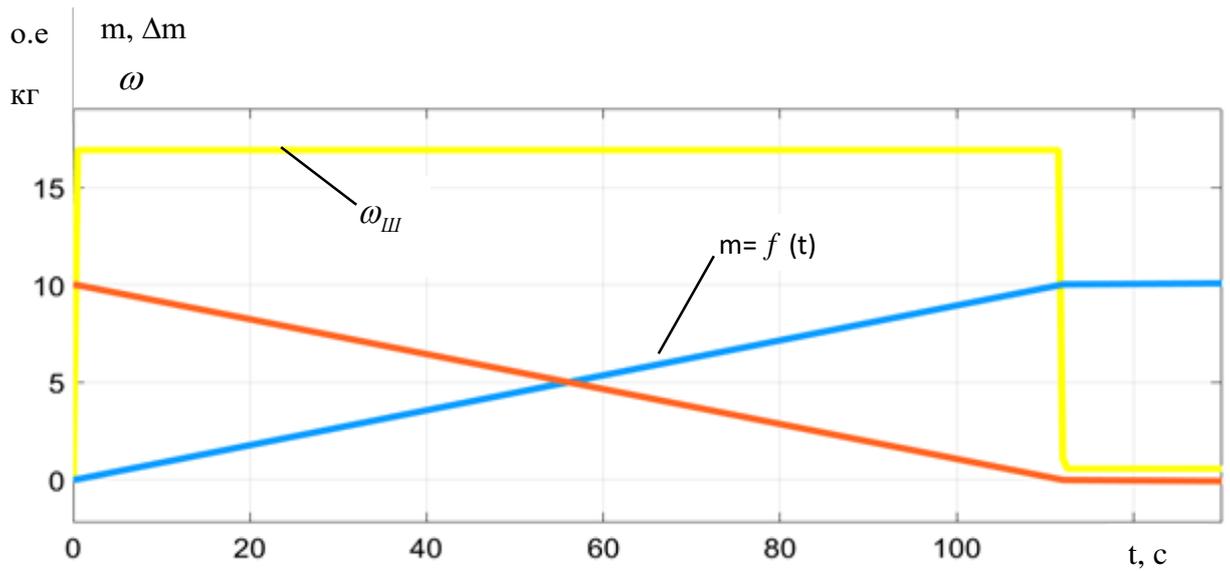


Рисунок 2.15.7- Результаты дозирования 10 кг материала с П- регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

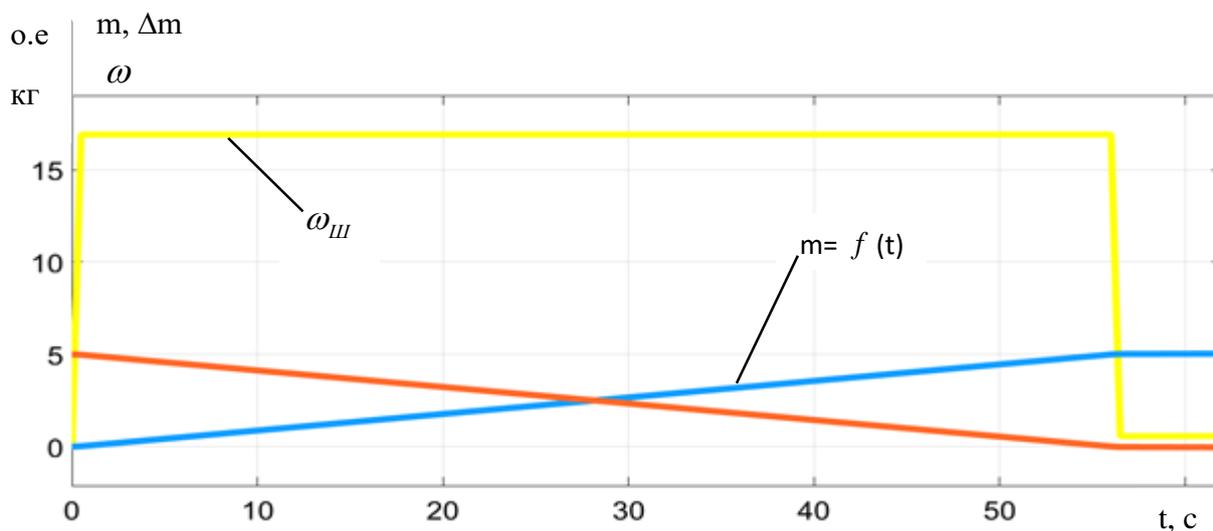


Рисунок 2.15.8- Результаты дозирования 5 кг материала с П- регулятором веса и ПИ- регулятором скорости

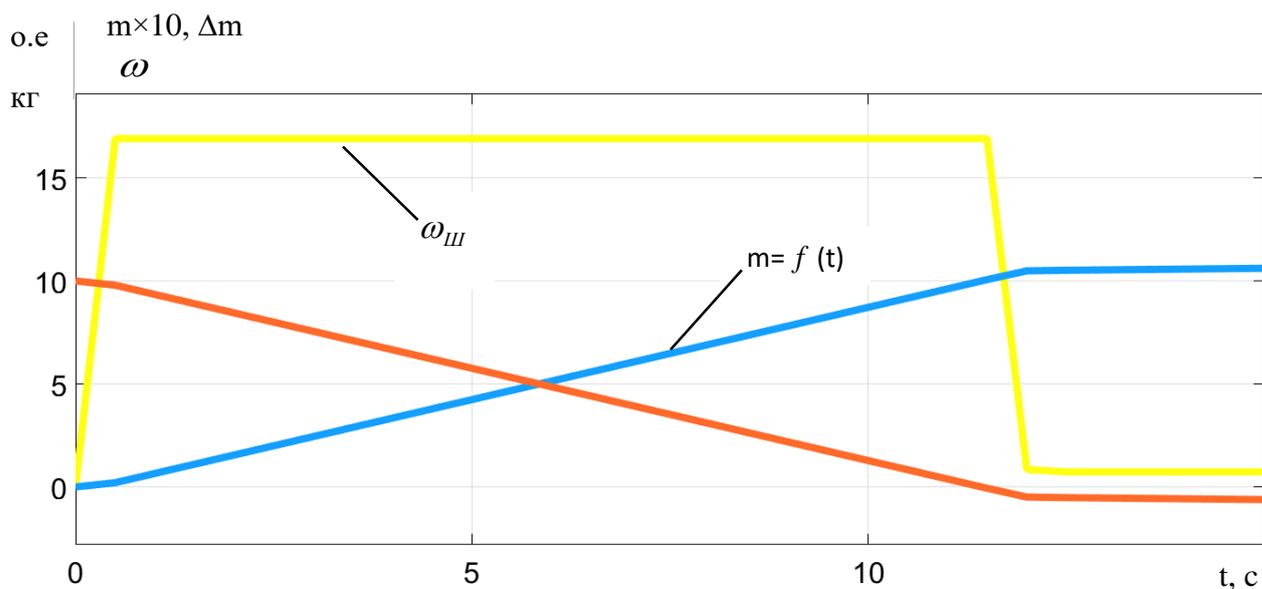


Рисунок 2.15.9- Результаты дозирования 1 кг материала с П- регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

Далее настроим регулятор веса на симметричный оптимум и построим графики, отображающие результаты дозирования.

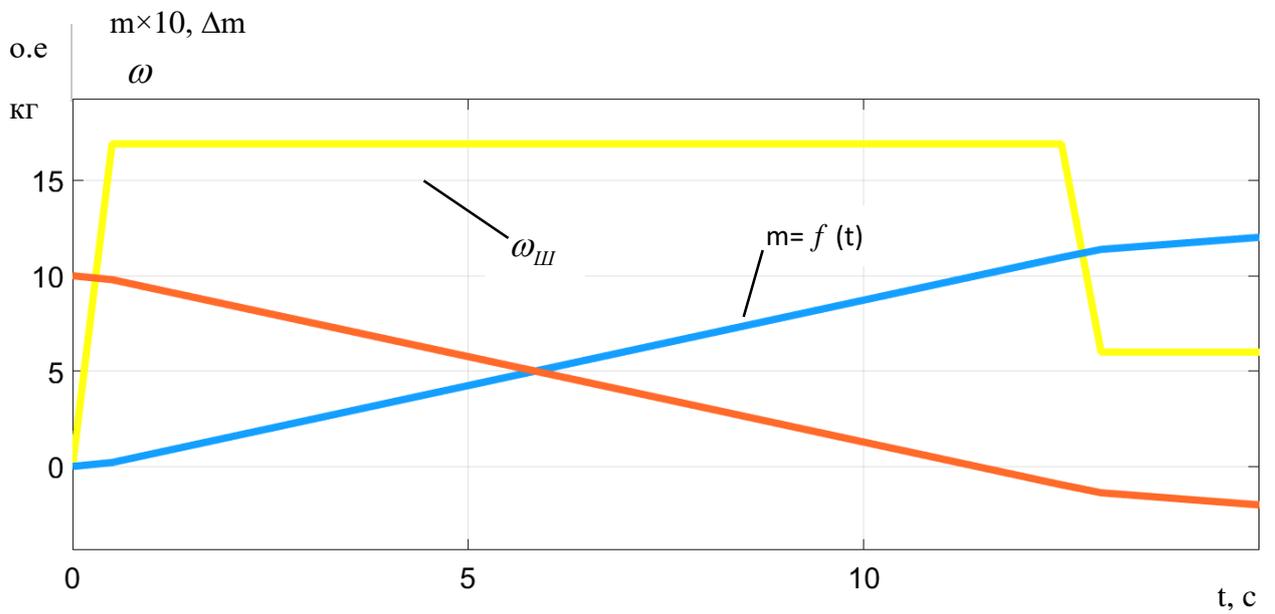


Рисунок 2.15.10- Результаты дозирования 1 кг материала с ПИ-регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

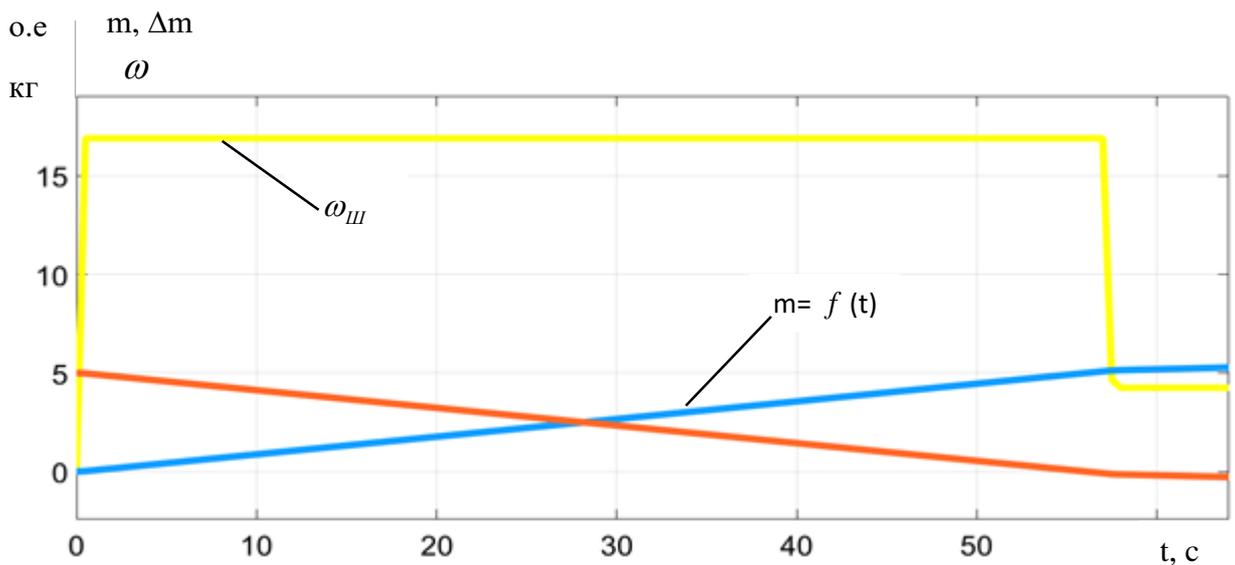


Рисунок 2.15.11- Результаты дозирования 5 кг материала с ПИ- регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

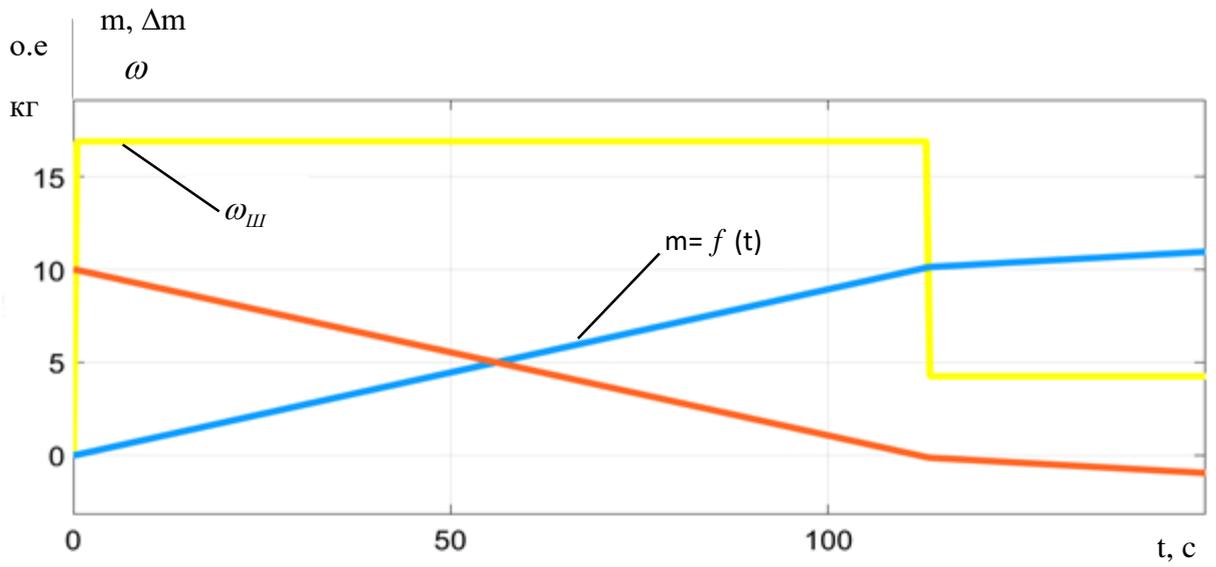


Рисунок 2.15.12- Результаты дозирования 10 кг материала с ПИ-регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

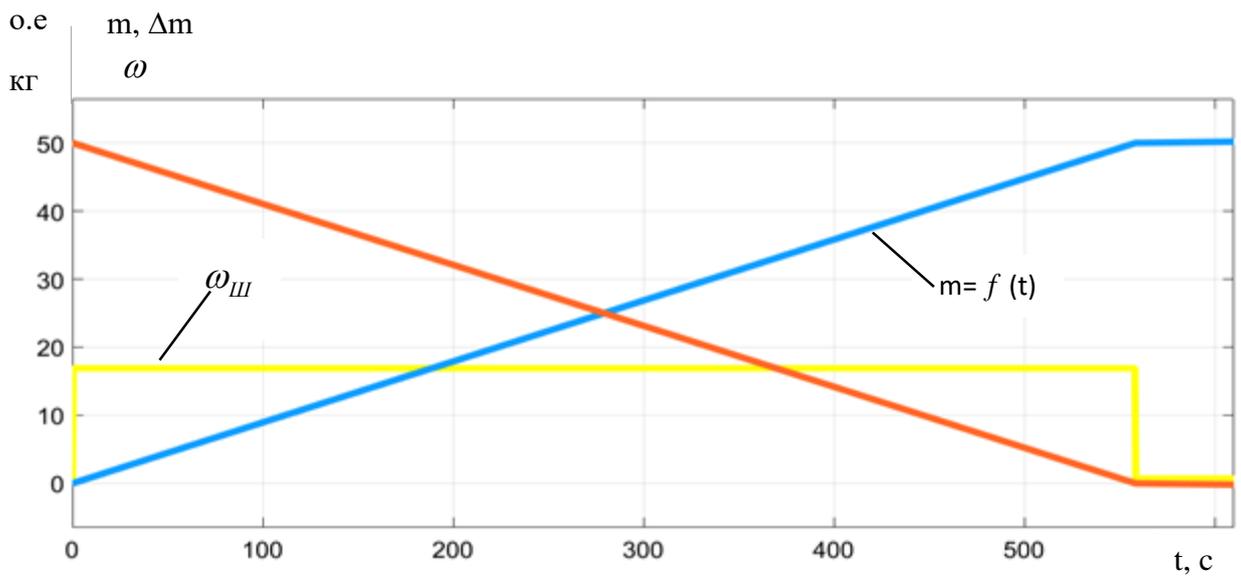


Рисунок 2.15.13- Результаты дозирования 50 кг материала с ПИ- регулятором веса и ПИ-регулятором скорости

3. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

3.1. Потенциальные потребители результатов исследования

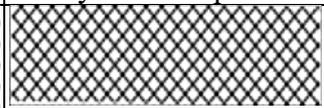
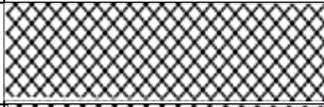
Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. В данном случае сегментирование целесообразно провести по критерию точности, т.к. как для разных типов режимов работы, требуется разная величина подачи материала в установку соответствующей мощности.

А также следует выделить сегменты рынка:

- по разработке, проектированию и производству;
- по установке и пуско-наладке;
- по дальнейшему обслуживанию и ремонту.

Исходя из сегмента рынка, будет произведено сегментирование коммерческих организаций по отраслям. Сегментирование приведено в таблице 3.1.1

Таблица 3.1.1- Карта сегментирования рынка разработок для ЭП

	Автоматизированная система дозирования сыпучих материалов	Автоматическая система дозирования сыпучих материалов	Ручная система дозирования сыпучих материалов
Проектирование и производство			
Установка и пуско-наладка			
Обслуживание и ремонт			

Фирма А



Фирма В



Результаты сегментирования:

- Основными сегментами рынка являются все виды деятельности для автоматической и автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов
- Наиболее сильно предприятие должно быть ориентировано на сегменты рынка связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой автоматизированной системой дозирования сыпучих материалов;

- Наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с проектированием и производством, установкой и пуско-наладкой автоматизированной системой дозирования сыпучих материалов;

3.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

1) *Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:*

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность.
- правовая защищенность и др.

2) *Показатели оценки качества разработки:*

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;
- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки и др.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD оценка проводится в табличной форме (таблица 3.2.1).

Таблица 3.2.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)x100
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,07	95	100	0,95	6,65
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,12	87	100	0,87	10,44
3. Помехоустойчивость	0,03	90	100	0,9	2,7
4. Энергоэкономичность	0,11	90	100	0,9	9,9
5. Надежность	0,06	97	100	0,97	5,82
6. Уровень шума	0,03	80	100	0,8	2,4
7. Безопасность	0,01	80	100	0,8	2,4
8. Потребность в ресурсах памяти	0,02	75	100	0,75	1,5
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	85	100	0,85	3,4
10. Простота эксплуатации	0,04	98	100	0,98	3,92
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	96	100	0,96	4,8
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,06	100	100	1	6
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	90	100	0,9	3,6
2. Уровень	0,04	70	100	0,7	2,8

проникновения на рынок					
3. Цена	0,1	65	100	0,65	6,5
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	95	100	0,95	6,65
5. Послепродажное обслуживание	0,03	90	100	0,9	2,7
6. Финансирование научной разработки	0,05	78	100	0,78	3,9
7. Срок выхода на рынок	0,03	71	100	0,71	2,13
8. Наличие сертификации разработки	0,04	80	100	0,8	3,2
Итого	1				91,41

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 0,07 \cdot 95 + 0,12 \cdot 87 + \dots + 0,04 \cdot 80 = 91,41$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} получилось равным 91,41, что говорит о том, что данная разработка является перспективной.

3.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?
- Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы:

- Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;
- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?
- Какие интересные тенденции отмечены?
- Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. *Угроза* представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

- Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш научно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?
- Что делают конкуренты?
- Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?
- Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?
- Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?
- Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Результаты первого этапа SWOT-анализа представляем в табличной форме (таблица 3.2.1).

Таблица 3.3.1 Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3.Повышение производительности труда. С4. Квалифицированный персонал. ...	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость основного электрооборудования
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследований В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	B2B3B4C1C6C7C9 B1C2C4C6C7C8 B4C1C4C5C6C7C8 B5C1C2C3C4C5C6C7C8	B5Сл1
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У1С4 У3С1С2С3С5 У2С8 У5С4	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученная интерактивная матрицы проекта представлена в таблице 3.2.2.

Таблица 3.3.2 Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	0	+	0	0	+	0	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+	+
	B3	+	-	+	+	-	+	+	0
	B4	+	-	-	0	+	+	+	+
	B5	+	0	+	+	+	+	+	+

Результаты анализа таблицы:

B2B3B4C1C5C6C8

B1C2C4C6C7C8

B4C1C4C5C6C7C8

B5C1C3C4C5C6C7C8

Продолжение таблицы 3.3.2.

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-
	B4	-	-	0
	B5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

Продолжение таблицы 3.3.2.

Сильные стороны проекта									
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7	С8
	У1	-	-	-	+	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-	-	-	-	+
	У3	+	0	+	-	+	0	0	0
	У4	-	-	0	-	-	-	-	-
	У5	0	-	-	+	-	-	-	-

Результаты анализа таблицы:

У3С1С3С5

У2С8

У5С4

Окончание таблицы 3.3.2.

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	0	0
	У2	-	0	+
	У3	+	+	+
	У4	+	-	+
	У5	+	0	+

Результаты анализа таблицы:

У1Сл1

У2Сл3

У3Сл1Сл2Сл3

У4У5Сл1Сл3

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 3.2.3).

Таблица 3.3.3 Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3.Повышение</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
--	---	--

	производительности труда. С4. Квалифицированный персонал. ...	Сл2. Большой срок выхода на рынок Сл3. Высокая стоимость основного электрооборудования
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Снижение стоимости на электроэнергию и материалы, используемые при научных исследованиях В4. Повышение стоимости конкурентных разработок В5. Развитие технологий в данной отрасли	B2B3B4C1C6C7C9 B1C2C4C6C7C8 B4C1C4C5C6C7C8 B5C1C2C3C4C5C6C7C8	B5Сл1
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4.Экономическая ситуация в стране, влияющая на спрос. У5. Появление новых конкурентных разработок.	У1С4 У3С1С2С3С5 У2С8 У5С4	У1Сл1 У2Сл3 У3Сл1Сл2Сл3 У4У5Сл1Сл3

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

3.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

В предыдущем разделе были описаны методы, которые позволяют выявить и предложить возможные альтернативы проведения исследования и доработки результатов. К их числу относятся технология QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ. К ним можно добавить ФСА-анализ, метод Канона. Однако, в большей степени все приведенные методы ориентированы на совершенствование результатов научного исследования, находящегося на стадии создания макета, модели системы,

прототипа, конечного продукта. Если разработка находится на перечисленных стадиях жизненного цикла нового продукта, можно предложить не менее трех основных вариантов совершенствования разработки или основных направлений научного исследования.

Разработка относится к вышеописанным стадиям, поэтому нет необходимости использовать морфологический подход.

3.5 Планирование научно-исследовательских работ

3.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Результат представлен в таблице 3.5.1.

Таблица 3.5.1 Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер совместно с руководителем
	6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер
	7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер совместно с руководителем
	8	Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»	Инженер
	9	Разработка математической модели	Инженер

3		системы АУ ЭП	совместно с руководителем
	10	Оптимизация САР электропривода	Инженер
	11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель

О

пределение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.7 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сводим в таблицу (таблица 3.6.1).

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ожс} = \frac{3 \cdot t_{\text{min}} + 2 \cdot t_{\text{max}}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \approx 2 \text{ чел} - \text{дней};$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{Ч} = \frac{2}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 3.7.1 Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	1		2		2		2		4	
Подбор и изучение материалов по теме		5		8		7		7		11
Описание объекта автоматизации (модернизации)		3		4		4		4		7
Календарное планирование работ по теме	3		5		4		4		7	
Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП		4		9		6		6		10
Расчет параметров двигателя и модели		4		6		5		5		8
Выбор способа регулирования скорости		2		4		8		8		12
Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель»		2		4		3		3		5
Разработка математической модели системы АУ ЭП	3		6		5		5		8	
Оптимизация САП электропривода		4		8		6		6		10
Разработка программы имитационного		5		8		7		7		11

моделирования										
Оценка эффективности полученных результатов	2		3		3		3		5	
Технико-экономические расчеты		3		7		5		5		8
Вопросы безопасности и экологичности проекта		3		7		5		5		8
Составление пояснительной записки		1		3		2		2		4

Опираясь на данные таблицы 3.6.2, строим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.7.2 Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				фев.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11														
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7														
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7														
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10														
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8														
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12														
8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5														

Все необходимое оборудование и материалы имеются в лаборатории, поэтому расчет материальных затрат проводить не будем.

3.9 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 3.7.1.

Таблица 3.9.1 Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	2351	9404
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	11	1523	16753
3	Описание объекта автоматизации (модернизации)	Инженер	7	1523	10661
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7	2351	16457
5	Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП	Инженер	10	1523	15230
6	Расчет параметров двигателя и модели	Инженер	8	1523	12184
7	Выбор способа регулирования скорости	Инженер	12	1523	18276

8	Расчет предельных характ. системы «преобр.– электродвиг.»	Инженер	5	1523	7615
9	Разработка математической модели системы АУ ЭП	Руководитель	3	2351	7053
10	Оптимизация САР электропривода	Инженер	10	1523	15230
11	Разработка программы имитационного моделирования	Инженер	11	1523	16753
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	2351	4702
13	Технико-экономические расчеты	Инженер	8	1523	12184
14	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	8	1523	12184
15	Составление пояснительной записки	Инженер	4	1523	6092
Итого:					180778

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53594 \cdot 10,4}{237} = 2351 \text{ руб}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.9.2).

Таблица 3.9.2 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	237	237

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 27484 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 53594 \text{ руб}$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{TC});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата Z_{TC} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{ci} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_T и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в табл.11.

Таблица 3.9.3 Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	27484	0,3	0,2	1,3	53594	2351	16	37616
Инженер	17808	0,3	0,2	1,3	34725	1523	95	144685
Итого $Z_{осн}$								182301

3.10 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 37616 = 4514 \text{ руб}$$

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

3.10.1 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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (37616 + 4514) = 11417 \text{ руб}$$

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

На 2015 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих

образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представляем в табличной форме (таблица 3.10.1).

Таблица 3.10.1. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	37616	4514
Инженер	144685	17362
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Руководитель	11417	
Инженер	43914	

3.11 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} = (Z_{осн} + Z_{доп} + Z_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (182301 + 21876 + 55331) = 41521$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

3.12 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.12.1.

Таблица 3.12.1 Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	%
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	182301	Пункт
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21876	Пункт
3. Отчисления во внебюджетные фонды	55631	Пункт
4. Накладные расходы	41521	16 % от суммы ст.
5. Бюджет затрат НТИ	301329	Сумма ст.

деление ресурсоэффективности проекта

Финансовую эффективность проекта можно оценить при помощи интегрального финансового показателя:

$$I_{фин}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где:

$I_{фин}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Расчёт интегрального финансового показателя проводим в виде табличной формы.

Таблица 3.12.1 – Расчёт интегрального финансового показателя конкурентных технических решений

Вариант схемы	Φ_{max} , руб.	Φ_{pi} , руб.	$I_{фин}^{исп.i}$, о.е.
1	43115,6	43115,6	1
2		32850	0,76
3		30600	0,709

Величина интегрального финансового показателя разработки схемы 3 (Ручная система дозирования сыпучих материалов) отражает соответствующее численное удешевление стоимости системы при одинаковой мощности. Схема 3 имеет наименьший интегральный показатель среди трёх конкурентных технических решений, и,

следовательно, вариант схемы является наиболее финансово эффективным, что является определяющим критерием.

Определение ресурсоэффективности проекта схемы 3 можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

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

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности схем проводим в виде табличной формы.

Таблица 3.12.2 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Ручная система дозирования сыпучих материалов	Автоматическая система дозирования сыпучих материалов	Автоматизированная система дозирования сыпучих материалов
1. Безопасность	0,25	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	3	5	5
3.Помехоустойчивость	0,10	4	4	4
4. Энергосбережение	0,15	4	4	5
5. Надёжность	0,25	5	5	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	4	5
Итого:	1,00	4,1	4,5	4,65

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,65.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Таким образом, применение автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов является эффективным.

4. Социальная ответственность

В данном разделе рассматриваются безопасность и экологичность лаборатории по исследованию и проверке автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов. Здесь будет рассмотрено необходимое обеспечение условий труда в лаборатории (санитарно-гигиенические условия, защита от негативных производственных факторов, обеспечение пожарной безопасности) в соответствии с действующими нормативными документами, а также вопросы экологической безопасности.

Безопасность включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики.

4.1 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Часть технологического процесса исследования и проверки автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [7]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Также имеются и другие способы решения данной проблемы. Можно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума. Возможно также закрытие звукоизолирующими кожухами всей установки, но это может вызвать затруднения при работе с оборудованием.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [1], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями.

Однако недостаток освещенности рабочей зоны и помещения в целом плохо сказывается на здоровье работника [1,8]. Для улучшения ситуации, необходимо установить светильники на основании следующего расчета:

Данные, необходимые для расчета искусственного освещения:

- длина помещения $A_{\text{пом}} = 8 \text{ м};$
- ширина $B_{\text{пом}} = 4 \text{ м};$
- высота $H_{\text{пом}} = 3 \text{ м};$
- коэффициент отражения стен $R_c = 30\%;$
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,75 \text{ м};$
- коэффициент отражения потолка $R_n = 50\%;$
- коэффициент запаса $k = 1,5;$
- коэффициент неравномерности $Z = 1,1.$

Требуется создать освещенность $E = 300 \text{ Лк};$

Рассчитаем систему общего освещения (люминесцентного).

Выбором являются светильники типа ОД с интегральным критерием оптимальности расположения светильников $\lambda = 1,4.$

Расстояние светильников от перекрытия принимаем $h_c = 0,1 \text{ м}$ и получаем:

$$h = H - h_c - h_p = 3 - 0,1 - 0,75 = 2,15 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,15 = 3,01 \text{ м};$$

$$\frac{L}{3} = \frac{3,01}{3} = 1 \text{ м};$$

Светильники размещаем в два ряда. В каждом из рядов будет установлено 5 светильников типа ОД. Мощность светильника 30 Вт, длина 0,9 м. Разрывы между светильниками, которых будет 4 в ряду, составят 27 см. План размещения светильников представлен на рисунке 4.1.1. В каждом светильнике установлено по две лампы, соответственно общее число ламп в помещении $n = 20.$

Найдем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{2,15 \cdot (8 + 4)} = 1,2$$

Тогда, коэффициент использования светового потока равен:

$$\eta = 0,43.$$

Рассчитаем световой поток:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 32 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 1841,8 \text{ Лм}$$

Определим потребный световой поток ламп в ряду. Для этого выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛДД 40 Вт со световым потоком 2100 Лм.

Делаем проверку условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% = \frac{2100 - 1841,8}{2100} \cdot 100 \leq 20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 13,7\% \leq +20\% \text{ – условие выполнено.}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 20 \cdot 30 = 600 \text{ Вт}$$

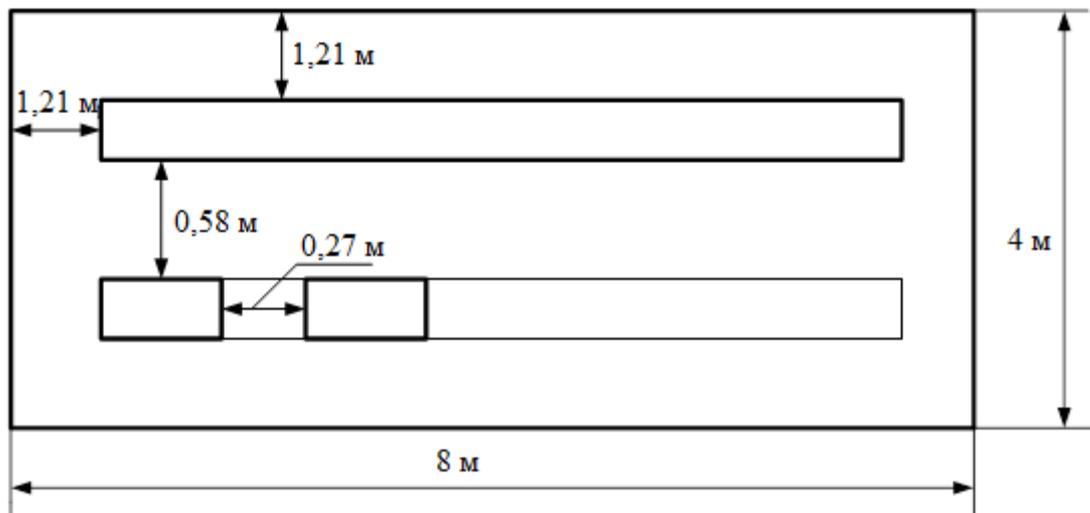


Рисунок 4.1.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [1].

Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видимые цвета.

Другим вредным фактором является пониженная подвижность воздуха [9], связанная с плохой вентилируемостью лаборатории, в связи с отсутствием вентиляционной системой.

Следствием предыдущего вредного фактора и наличием теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны [9], которая пагубно влияет на состояние человека. Для решения этой проблемы нужно установить вентиляционную систему и систему кондиционирования.

4.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Проведем анализ опасных производственных факторов при исследовании и проверке автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов.

Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [1-5].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливаются кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей. Также имеется опасность во время работы установки и заключается она в том, что во время вращения шнека можно получить травму. Поэтому нельзя

отвлекаться от процесса загрузки бункера материалом и быть крайне внимательным.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [6], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

4.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Технологический процесс исследования и проверки разработки системы автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов, а также её использование не представляет угрозы для окружающей среды. Это связано с тем, что процесс является безотходным, и в течении работы нет выделения опасных для экологического состояния элементов. Показатели выделяемого тепла, электромагнитных излучений также не выше допустимых значений. Данная система может применяться на любых предприятиях, которые нуждаются в ней.

Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с [13]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и относятся к 1 классу опасности. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки.

При разработке системы приточной вентиляции используется ПЭВМ. В ПЭВМ содержится множество компонентов, которые содержат токсичные вещества. Например:

1. Свинец (накапливается в организме, может поражать нервную систему и почки);
2. Никель и цинк (могут вызывать дерматит);

3. Щелочи (опасность для кожных покровов и слизистых);

Поэтому ПЭВМ требует особых способов утилизации:

1. Отделение неметаллических и металлических частей;

2. Неметаллические части должны быть подвержены специальное переработке

3. Металлические части должны быть переплавлены и использованы для последующего производства

Данные мероприятия позволяют обеспечить максимально эффективную утилизацию отходов и максимально уменьшить их неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

4.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Наиболее вероятным чрезвычайными ситуациями при исследовании и проверке автоматизированной системы дозирования сыпучих материалов являются пожар или взрыв на рабочем месте [9,10,11]. Потенциальное возникновение пожара связано с возможным накоплением токоведущей пыли внутри компьютера, что может привести к короткому замыканию, возгоранию пыли и, если не будет принято никаких мер, то это приведет к распространению пожара. К воспламенению материалов может привести также наличие нагреваемых элементов в ходе работы установки. Достаточно следить за тем, чтобы вблизи установки во время её работы не находились легко воспламеняемые материалы и вещества.

В связи с возможной угрозой возникновения пожара был разработан план действий:

- в случае обнаружения возгорания необходимо сообщить руководителю и попытаться потушить очаг возгорания своими силами с помощью средств первичного пожаротушения такими как: огнетушитель (порошковый, углекислотный);

- в случае если потушить очаг возгорания не удастся, привести в действие ручной пожарный извещатель;
- немедленно сообщить о чрезвычайной ситуации в пожарную охрану по телефону 01 (сотовый 010), назвать адрес объекта, место и причины возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей, материальных ценностей;
- приступить к тушению пожара, отключив электроэнергию;
- встретить подразделения пожарной охраны и, при необходимости, оказать помощь при выборе наилучшего пути для подхода к очагу пожара.

Возникновение других видов ЧС маловероятно, соответственно рассмотрению не подлежат.

4.5 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

С целью обеспечения контроля за выполнением требований охраны труда в каждой организации численностью более 100 сотрудников должна быть создана служба, которая будет осуществлять данный контроль. Также имеется возможность заключить договор со специалистами, которые подчиняются непосредственно руководству предприятия. Специалистом по охране труда может быть назначен человек, прошедший специальное обучение и имеющий квалификацию инженера по охране труда.

На производстве с меньшей численностью сотрудников, но больше десяти должны создаваться комитеты по охране труда, в состав которых входят представители профсоюзов и работодателей. Задачами комитета являются: организация по обеспечению выполнения работниками требований по охране труда, контроль за соблюдением охраны труда, информация о состоянии охраны труда. Комитет по охране труда ведет учет и анализ производственного травматизма и профессиональных заболеваний, измерение величин опасных и вредных факторов, оценку травмобезопасности, аттестацию рабочих мест, приемку в эксплуатацию производственных объектов, согласование

документации в области охраны труда, участие в расследовании несчастных случаев, обучение по охране труда в соответствии со следующими документами:

- СНиП П-12-77;
- ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03;
- СНиП 2.04. 05-91;
- ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ;
- ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ;
- ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ.

Заключение

В результате исследования данной системы были выполнены все необходимые задачи.

В процессе расчета параметров двигателя были определены следующие значения: номинальный момент двигателя $M_{дв.н} = 2,582 \text{ Н} \cdot \text{м}$, номинальный фазный ток $I_{фн} = 1,969 \text{ А}$. Были построены различные характеристики, отражающие работу двигателя и характеристики системы преобразователь частоты-асинхронный двигатель при различных значения напряжения и частоты питающей сети.

Произведен выбор и расчет всего необходимого оборудования: преобразователя частоты, инвертора, выпрямителя, а также защитных аппаратов: автоматического воздушного выключателя, магнитного пускателя.

Рассматриваемая система построена на базе микроконтроллера RTU 188BS, которая в свою очередь была изучена и рассмотрена в данной работе.

Данная система дозирования была испытана при помощи имитационной модели в Matlab Simulink. Были построены характеристики, доказывающие адекватность построенной модели при различных значениях массы дозируемого материала.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
3. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда
4. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
6. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
7. СНиП П-12-77. Защита от шума
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
9. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование
- 10.ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92)
- 11.ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
- 12.ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003
- 13.Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 “Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств.”

14. Гусев Н.В., С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности. учебное пособие по курсовому проектированию/ Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 186 с..

15. Ляпушкин, Сергей Викторович. Повышение эффективности управления электроприводом автоматизированного комплекса дозирования сыпучих материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.09.03 / С. В. Ляпушкин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. В. Г. Букреев. — Защищена 16.12.2015 г. — Томск: 2015. — 146 л.: ил.. — Библиогр.: с. 123-130.

16. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК Пресс; СПб: Питер, 2008. — 288 с.

17. Видинеев Юрий Дмитриевич. Автоматическое непрерывное дозирование материалов. Москва - Ленинград, издательство „Энергия“, 1965. Библиотека по автоматике, выпуск 145.