

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



Институт Энергетический
 Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электропривода и электрооборудования

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение показателей качества управления процессом дозирования сыпучих веществ УДК 62-83-523:681.26:66.028.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Евгений Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭПЭО	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Фигурко А.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ЭБЖ	Романцов И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

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



Институт Энергетический
Направление подготовки Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривода и электрооборудования

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Казаков Е. П., гр. 5ГМ4А
(Ф.И.О. студента, № группы)

ТЕМА РАБОТЫ: Повышение показателей качества управления процессом дозирования сыпучих веществ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Разработать технологический процесс для высокоточного порционного дозирования сыпучих веществ.

Разработать алгоритмы управления асинхронным электроприводом шнекового питателя и ленточного конвейера.

Разработать систему управления электроприводом шнекового дозатора сыпучих веществ.

Разработать имитационную модель, позволяющую исследовать процесс дозирования сыпучих веществ.

Выбрать технические средства автоматизации, позволяющие оптимально управлять процессом дозирования.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ.

Документация по комплексной автоматизации технологического процесса дозирования и смешивания сыпучих материалов.

Дата выдачи задания на выполнение работы: _____

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭПЭО	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Е.П.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4А	Казакову Евгению Петровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Магистратура	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	В разработке участвовали руководитель и магистрант.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником составил 82 дня.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды у: руководителя составили 34407,68 руб., инженера составили 16342,92 руб.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений	
2. «Портрет» потребителя результатов НИИ	
3. FAST-анализ	
4. SWOT-анализ	
5. Оценка готовности проекта к коммерциализации	
6. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Таблицы оценки вариантов проведения исследования
2. Функционально-стоимостная диаграмма
3. Причинно-следственная диаграмма
4. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Фигурко А. А.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Евгений Петрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГМ4А	Казакову Евгению Петровичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (веществ 2. о, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Дозирующая установка сыпучих веществ с автоматической системой управления, располагаются на промышленной площадке. Возможный для дозирования материал: сахар, соль, пищевые добавки и т.д.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	К вредным факторам относятся: Повышенная запыленность воздуха в рабочей зоне Нормативные документы: ГОСТ 12.1.005-88. Содержание пыли в воздухе, подаваемом в помещения не должно превышать 0,3 ПДК. Меры устранения: применение противопыльной вентиляции. Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточное освещение рабочего места. Нормативные документы: СНиП 23-05-95. Рабочее освещение не менее 2 лк. Повышенный уровень шума на рабочем месте Нормативные документы: ГОСТ 12.1.003-83. Меры устранения: звукоизолирующие, звукопоглощающие материалы. К опасным факторам относятся: Движущееся оборудование и механизмы, подвижные части производственного оборудования Нормативные документы: ГОСТ 12.2.062-81 Меры устранения: установка ограждений и установка кожухов. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которое может пройти через тело человека Нормативные документы: ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Меры устранения: устройства защитного заземления и зануления, и т.д.
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране	Данный подраздел не рассматривается т.к. дозирующая установка не оказывает влияния на окружающую среду.

окружающей среды.	
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Перечень ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения: пожар и взрыв. Наиболее типичной ЧС: пожар Меры по предупреждению ЧС: организационные, технические, режимные, эксплуатационные. Действий при возникшей ЧС и меры для ликвидации ЧС: немедленно вызвать пожарную охрану по телефону 01, эвакуация персонала.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Все в соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» и ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ЭБЖ	Романцов И.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Евгений Петрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 132 с., 5 рис., 23 табл., 21 источник, 2 приложения.

Объектом исследования дозирующая установка сыпучих веществ.

Цель работы – повышение показателей качества управления процессом дозирования сыпучих веществ.

В процессе исследования проводились:

1. Разработать технологический процесс для высокоточного порционного дозирования сыпучих веществ;
2. Разработать алгоритмы управления асинхронным электроприводом шнекового питателя и ленточного конвейера;
3. Разработать систему управления электроприводом шнекового дозатора сыпучих веществ;
4. Разработать имитационную модель, позволяющую исследовать процесс дозирования сыпучих веществ.

В результате исследования был разработан технологический процесс для высокоточного двухступенчатого порционного дозирования сыпучих веществ. Разработаны системы управления электроприводом шнекового дозатора сыпучих веществ со скалярным, векторным и предиктивным управлением. Разработаны имитационные модели для скалярного и векторного управления.

Основные технико-эксплуатационные характеристики:

1. Точность дозирования $\pm 3\%$;
2. Производительность (12 час) 36 тон.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	10
1 Обзор литературы.....	11
2 Разработка АСУ ТП для дозирующей установки.....	15
2.1 Описание технологического процесса и оборудования.....	15
2.2 Анализ и классификация технологических переменных, управляющих воздействий, точек измерения, контроля и управления.....	16
2.3 Составление перечня измеряемых технологических переменных и управляющих воздействий, а также среды и условий работы измерительных и регулирующих устройств.....	20
2.4 Анализ взаимосвязи между технологическими переменными, определение основных требований к ведению процессов, формулирование критериев качества и целей управления.....	22
2.5 Разработка комплекса технических средств АСУ ТП.....	23
2.5.1 Иерархия уровней АСУ.....	23
2.5.2 Блок – схема аппаратных средств автоматизации.....	25
2.5.3 Функциональная структура системы.....	26
2.6 Выбор аппаратных средств на всех уровнях управления.....	27
2.7 Программное обеспечение на всех уровнях АСУ ТП.....	30
2.8 Обмен информации между уровнями системы.....	30
2.9 Разработка общих алгоритмов функционирования АСУ технологическим процессом.....	31
3 Разработка и моделирование асинхронных электроприводов со скалярным управлением.....	32
3.1 Определение параметров Т – образной схемы замещения АД.....	33
3.2 Динамические характеристики скалярного асинхронного электропривода с автономным инвертором напряжения.....	40
3.3 Повышение критического момента асинхронного электропривода.....	41
3.4 Синтез регулятора веса на основе модульного оптимума	46
4 Разработка и моделирование асинхронных электроприводов с векторным управлением.....	48
4.1 Определение параметров электропривода.....	48
4.2 Выбор преобразователя частоты.....	51
4.3 Параметры элементов силового канала электропривода.....	51
4.4 Параметры механической системы электропривода.....	52
4.5 Проверка выбора асинхронного электропривода шнекового дозатора по моменту.....	52
4.6 Расчетные параметры модели двигателя.....	53
4.7 Естественные характеристики электродвигателя.....	54
4.8 Задание по моменту.....	55
4.9 Расчет параметров элементов силового канала.....	58
4.10 Расчет параметров настройки контура тока с ПИ регулятором и	

аналоговым датчиком.....	59
4.11 Расчет параметров настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика.....	60
4.12 Расчет параметров настройки контура скорости с ПИ-регулятором и аналоговым датчиком.....	61
4.13 Имитационная модель и исследование электропривода	63
5 Разработка системы управления асинхронных электроприводов с прогнозирующим управлением	74
5.1 Разработка прогнозирующего управления.....	75
5.2 Дозирующая установка и измерительные устройства.....	75
5.3 Регулятор	76
5.4 Определение квадратичной программы КИХ регулятора	77
5.5 Модель оценки	79
5.6 Разработка автоматизированной системы управления для дозировочной установки	79
6 Финансовый менеджмент.....	82
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	82
6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	82
6.3 FAST-анализ.....	84
6.3.1 Выбор объекта FAST-анализа.....	84
6.3.2 Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.....	84
6.3.3 Определение значимости выполняемых функций Объектом.....	85
6.3.4 Анализ стоимости функций выполняемых объектом Исследования.....	85
6.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.....	85
6.3.6 Оптимизация функций выполняемых объектом.....	86
6.4 Диаграмма Исикава.....	87
6.5 SWOT-анализ.....	87
6.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	88
6.7 Методы коммерциализации результатов научно- технического исследования.....	90
6.8 Управления научно-техническим проектом.....	90
6.9 Контрольные события проекта.....	91
6.10 План проекта.....	91
6.11 Заработная плата.....	91
6.12 Матрица ответственности.....	93
7 Социальная ответственность.....	95
7.1 Вредные и опасные производственные факторы.....	95
7.2 Микроклимат производственных помещений.....	100
7.3 Экологическая безопасность.....	101

7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
7.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения Безопасности.....	104
	Заключение	107
	Список публикаций	110
	Список используемых источников	111
	Приложение А 1 LITERATURE REVIEW	113
	Приложение Б 2 DEVELOPMENT OF ACS FOR DOSING DEVICE	117

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и исследование автоматической системы управления технологического комплекса порционного весового дозирования сыпучих материалов, гарантирующего высокую производительность при высокой точности дозирования, на сегодняшний день актуально.

Целью данной диссертации было поставлено повышение производительности вертикального порционного дозирования сыпучих материалов, с применением эффективного алгоритма управления для, асинхронного электропривода шнекового питателя.

Объектом исследования стал технологический процесс дозирования сыпучих веществ и способ его управления.

Предметом исследования стало построение алгоритма управления электроприводом шнекового питателя.

Новизной данной работы стала разработка двухступенчатого технологического процесса дозирования сыпучих веществ и разработка системы управления электроприводом шнека со скалярным, векторным и предиктивным управлением.

С практической точки зрения реализация данного проекта позволит повысить производительности дозирующих установок без потери точности.

Был проработан технологический процесс вертикального порционного дозирования сыпучих материалов. Введены конструктивные изменения в дозирующую установку и проработаны методы управления приводом шнекового питателя. Просчитаны алгоритмы управления асинхронным электроприводом шнекового питателя. Построены имитационные модели для скалярно и векторного управления и сняты экспериментальные исследования. По данной работе была написана статья в Пермский национальный исследовательский политехнический университет на всероссийскую научно-техническую конференцию «Автоматизированные системы управления и информационные технологии».

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Большинство современных производственных машин оснащается электрическими приводами, от которых требуется осуществление управляемых силовых перемещений рабочих органов отдельных механизмов машины. Электроприводом называется электромеханическая система, которая состоит из преобразователя электроэнергии, электромеханического и механического преобразователя, а так же управляющего и информационного устройства и устройства сопряжения с внешним электрическим, механическим, управляющим и информационным системами, направленная на приведение в движение исполнительного органа рабочих машин и управляя этими движениями для осуществления технологического процесса [1].

Дозирование является одним из немаловажных технологических процессов: металлургической, химической и пищевой промышленности. Точность дозирования и производительность существенно влияют на качество и себестоимость произведенной итоговой продукции [2].

При эксплуатации шнековых дозаторов часто возникают проблемы связанные с физико-механическими свойствами дозируемых продуктов. Данная проблема была рассмотрена в научном издании «Весовое дозирование зерновых материалов» авторами: С.В. Першина, А.В. Катылов, В.Г. Однолько, В.Ф. Першин издательство «Машиностроение» Москва 2009 г [2]. В данном издании рассматриваются проблемы дозирования связанные с физико-механическими свойствами вещества т.к. гранулированный состав, плотность сыпучего материала, сыпучесть зернистых материалов, углы и коэффициенты трения и т.д. В издании описывается, какое воздействие оказывает то или иное свойство вещества, приведены нормы для ряда пищевых продуктов и предложены пути решения тех проблем, которые возникают из-за ряда свойств, присущих тем или иным дозируемым веществам.

Так же в издании рассмотрены функциональные схемы дозаторов и их переменных т.к. питатели, измерительные системы, управляющие системы.

Проанализированы основные способы весового дозирования.

Проблемы, связанные с увеличением точности при дозировании сыпучих материалов были рассмотрены в диссертационной работе Ляпушкина С.В. старшего преподавателя кафедры ЭПЭО Томского политехнического университета. В своей работе он рассматривал проблему связанную со снижением точности дозирования из-за падающего столба. Данный вопрос решался для компании «Свинокомплекс «Томский». По итогам проведенной работы, была построена, экспериментальная дозаторная установка и проведен ряд опытов, позволивших разработать систему, которая учитывает падающий столб дозируемого вещества, что в свою очередь повышает точность и качество готового продукта [3].

Эту же проблему, связанную с обеспечением требуемой точности дозирования, рассматривал С.И. Поляков «ВГЛТА» г. Воронеж. Он предложил вариант решения проблемы связанной с достижения требуемой точности, который заключается в нахождении поправок на последующие циклы дозирования через усреднение погрешностей предыдущих взвешиваний. Рассматривается дискретное дозирование с динамической погрешностью. При этом образуется дискретный случайный ряд погрешностей предыдущих циклов дозирования. В проблеме прогнозирования погрешность в текущий цикл дозирования и предыдущие погрешности позволяют вычислить прогнозируемую погрешность путем их усреднения, то есть получить поправки на последующие n циклов дозирования. Эта процедура относится к классу моделей скользящего среднего. Часть этого подхода реализована в алгоритме подпрограммы взвешивания компонентов [4].

Г.А. Рогинский в своей работе рассматривал проблемы связанные с дозированием сыпучих материалов в химической промышленности, особое внимание уделяя явлению сводообразования и вопросам борьбы с ними; приведена классификация сводообразующих и стабилизирующих истечение устройств; описаны конструкции различных стимуляторов истечения; даны рекомендации по их выбору; рассмотрены автоматические весовые дозаторы,

бункера, питатели и схемы процесса дозирования [5].

А.Н. Цетович, А.П. Востоков, Е.А. Мандрыка, В.Ф. Першин, Н.М. Казанский в своей работе рассматривали проблему, связанную с устройствами для измерения углов откоса и обрушения [6].

Аоки, Р. В своей работе рассматривал трение порошковых материалов при дозировании сыпучих веществ [7].

Карноушенко, Л.И. занимался вопросом взаимосвязи напряжения в своде с основными параметрами сыпучих материалов [8].

Соколовский, В.В. занимался вопросом возникновением статки в сыпучей среде [9].

На основании проведенного анализа литературы был сделан вывод, что выбранная тема является актуальной и востребованной и своевременна для научных разработок. В свою очередь по этой теме имеется ряд не решенных вопросов, одним из которых является, повышение производительности высокоточного дозирования сыпучих веществ. Этому вопросу и посвящена данная работа.

Проведенный анализ технологических процессов дозирования сыпучих веществ показал, что повышение точности дозирования, существенно снижает производительность технологического процесса, а в свою очередь повышение производительности снижает точность технологического процесса дозирования.

Проведенные исследования показывают, что для достижения необходимой точности при незначительном уменьшении производительности технологического процесса дозирования, можно обеспечить достижение оптимального режима работы и внесением конструктивного изменения в конструктив дозирующей установки.

В данной работе проанализирован технологический процесс двухступенчатого дозирования, который теоретически способен повысить производительность дозатора, без потерь в точности, при сравнении с аналогами дозирования на одной ступени.

Рассчитаны системы управления со скалярным, векторным управлением и рассмотрена система предиктивного управления применительно системы двухступенчатого дозирования. Построены имитационные модели для скалярно и векторного управления. Сняты экспериментальные данные показывают, что система с векторным управлением повышает показателя качества, управления электропривода шнекового питателя, что приводит к увеличению качества дозирующей установки. По данной работе была написана статья в Пермский национальный исследовательский политехнический университет на всероссийскую научно-техническую конференцию «Автоматизированные системы управления и информационные технологии» [Приложение А].

2 РАЗРАБОТКА АСУ ТП ДЛЯ ДОЗИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

2.1 Описание технологического процесса и оборудования

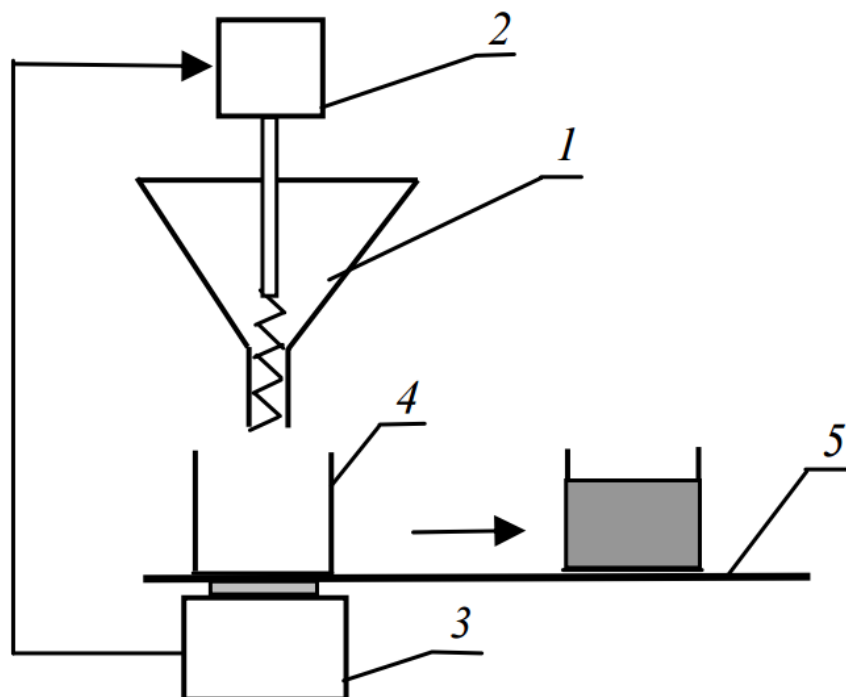


Рисунок 1 – Технологический процесс дозирования

На рисунке 1 представлена схема реализации порционного одностадийного весового дозатора вертикального типа.

В состав устройства входят: питатель 1 с электроприводом 2 и платформы для взвешивания 3. В автоматическом режиме работы весовой стакан 4 заезжает на платформу для взвешивания, перемещаясь с помощью ленточного конвейера 5. Как только весовой стакан установлен по центру платформы для взвешивания, с нее подается сигнал на выключение электропривода ленточного конвейера, после останова система подает сигнал на включение электропривода шнекового питателя. При заполнении весового стакана, на выставленную массу, с платформы для взвешивания подается сигнал управления на отключение электропривода шнекового питателя, после останова шнекового питателя система подает сигнал управления на ленточный конвейер для дальнейшего перемещения весового стакана.

Для снижения нагрузок (динамических) на платформу для взвешивания от падающего материала применяю несколько способов управления режимом работы шнекового питателя.

Первый способ снижения динамических нагрузок на платформу для взвешивания. С приближением действительной массы к выставленной массе по заданию угловая скорость вращения электропривода шнекового питателя уменьшается.

Вторым способ снижения динамических нагрузок на платформу для взвешивания является двухступенчатый режим работы электропривода шнекового питателя. На первой ступени электропривод шнекового питателя работает с максимальной возможной производительностью (номинальная угловая скорость вращения). При достижении 90% действительной массы от заданной, угловая скорость вращения электропривода шнекового питателя снижается, до минимальной возможной для данного технологического процесса. Данный способ существенно повышает точность дозирования, но понижает производительность технологического процесса дозирования [2].

2.2 Анализ и классификация технологических переменных, управляющих воздействий, точек измерения, контроля и управления

Дозирующие установки, использующие шнековый питатель для подачи сыпучего вещества, изготавливаются в разных вариантах для различного рода технологических процессов, отличаясь лишь различными задачами дозировки. Для определения производительности достаточно знать диаметр дозирующего отверстия в бункере и угловую скорость вращения шнекового питателя. Регулируя синхронную скорость вращения можно изменять производительность и точность дозирования. Для более точного анализа параметров необходимо знать характеристики самого дозируемого вещества (текучесть) [2].

Так как представленные выше способ вертикального дозирования сыпучих материалов снижает производительность технологического процесса дозирования, необходимо изменить или проработать конструкцию дозирующей установки.

На рисунке 2 изображена схема вертикальной шнековой установки для дозирования сыпучих материалов порционным способом с предварительным взвешиванием весового стакана.

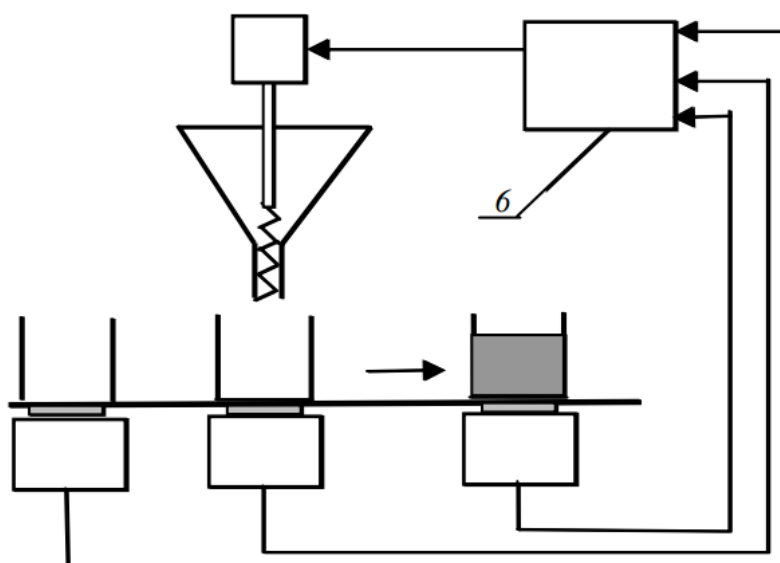


Рисунок 2 – Шнековый питатель с предварительным взвешиванием тары

Так как вес измерительного стакана за время эксплуатации изменяется из-за налипания продукции, нужно применять предварительное взвешивание весового стакана, как показано на рисунке 2. Таким образом, мы имеем данные о массе измерительного стакана в статическом состоянии. Все показания с платформ для взвешивания поступают на контроллер 6, который в свою очередь подает управляющие сигналы на электропривод шнекового питателя.

Дозирующие установки сыпучих материалов, использующие для дозирования два и более шнековых питателя, при повышении точности дозирования не значительно теряют производительность технологического процесса.

На рисунке 3 представлена схема вертикального порционного дозирования сыпучих материалов, осуществляющее дозирование в двухступенчатом режиме работы.

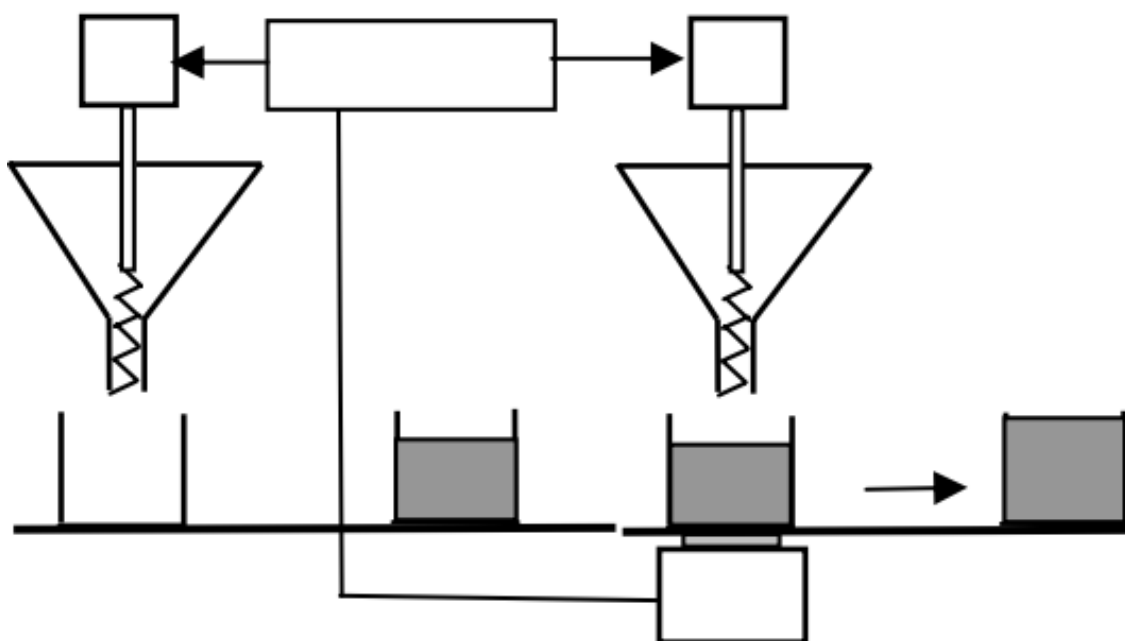


Рисунок 3 – Схема порционного дозирования в два этапа

На первой ступени электропривод шнекового питателя загружает весовой стакан на 90% действительной массы, от заданной массы. На второй ступени осуществляется контролируемая догрузка сыпучего материала [2].

Гораздо производительнее и точнее порционное дозирование осуществляется по схеме, показанной на рисунке 4.

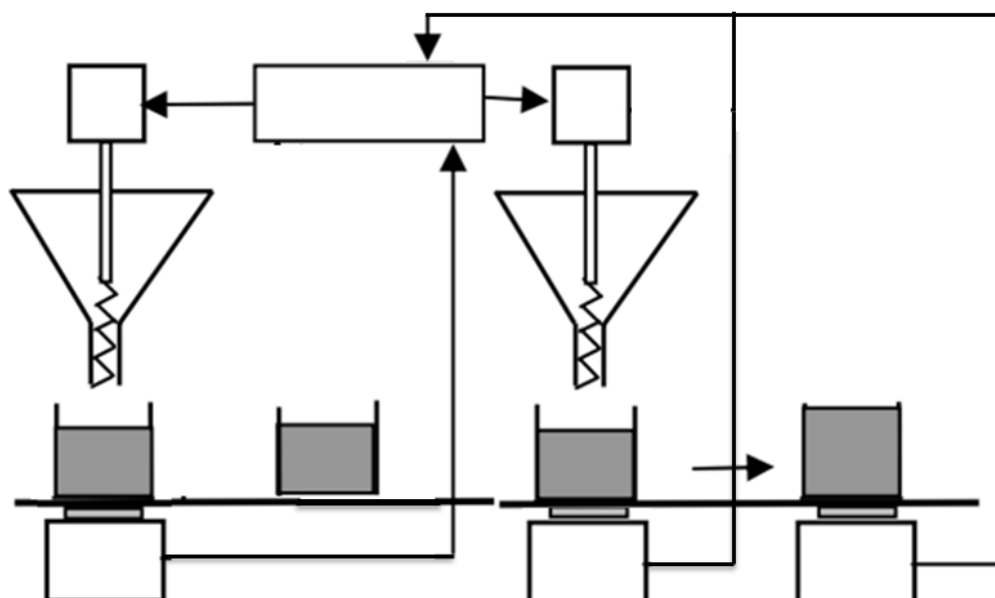


Рисунок 4 – Схема двухстадийного дозирования с корректировкой догрузки

После того как весовой стакан установлен на весовую платформу на контроллер подается сигнал. Контроллер после получения и обработки сигнала, подает управляющий сигнал на включение электропривода шнекового питателя. На первой ступени шнековый питатель загружает в весовой стакан 90% от установленной массы и с весовой платформы подается сигнал на контроллер для отключения привода шнекового питателя на первой ступени.

После останова шнека, контроллер подает сигнал на включение электропривода ленточного конвейера. Со второй весовой платформы подается сигнал о том, что на нем стоит тара с загруженным материалом. Система пересчитывает разницу между заданным значение массы с уже загруженной в весовой стакан. После система делает перерасчет на время и скорость загрузки контрольной массы сыпучего материала. Время дозирования на второй ступени приравнивается к времени дозирования на первой ступени, т.е. 10% контрольной массы загружаются одновременно с загрузкой на первой ступени следующей порции. После загрузки контрольной массы система проводит контрольное взвешивание. Данный способ дозирования позволяет существенно увеличить производительность технологического процесса без потери точности.

Дозирующие установки со шнековым питателем могут дозировать в основном неклеякие порошковые материалы. Для клейкой продукции необходимо разрабатывать специальные модели дозаторов с самоочищающимися шнеками. Для улучшения наполнения расходного бункера сыпучим материалом можно достичь, применяя разрыхляющий вал в бункере. Для продуктов легко поддающихся смятию или содержащие ломкие части, шнековые питатели не применяются или применяются в очень редких случаях.

2.3 Составление перечня измеряемых технологических переменных и управляющих воздействий, а также среды и условий работы измерительных и регулирующих устройств

Процесс дозирования напрямую зависит от свойств сыпучего материала, поэтому их особенности имеют решающее значение при выборе всего комплекса дозирующих устройств [2].

Возмущающие воздействия

- Физико-механические свойства многих сыпучих материалов под влиянием различных факторов (влажности, температуры окружающей среды, а также вследствие уплотнения) подвержены существенным изменениям. Для правильного осуществления процесса дозирования необходимо знать характеристики и физико-механические свойства дозируемого материала. Рассмотрим физико-механические свойства дозируемого материала, которые влияют на процесс дозирования. Фракционный состав материала в ряду характеристик, определяющих точность дозирования, занимает особое место. С увеличением неоднородности дозируемого материала возрастает значение мгновенного отклонения производительности питателей от среднего значения, увеличивается погрешность дозирования. Силы сцепления между частицами в значительной степени зависят от гранулометрического состава. Гранулометрическим составом определяются также некоторые параметры дозирующих устройств и особенно питающих и транспортирующих механизмов.

- Насыпная плотность определенного сыпучего материала непостоянна. В зависимости от фракционного состава, формы частиц, степени заполнения пор влагой, уплотнения значения насыпной плотности одного и того же материала могут отклоняться на 200—250%.

- Влажность материала это отношение массы испарившейся воды (после просушивания) к массе всего материала (в весовых процентах). Влажностью определяет подвижность его частиц. Высокая влажность, ухудшает характеристику дозирования сыпучего материала. Такой

материал слипается, что способствует образованию комьев в бункере. Дозирование такого материала крайне затруднено.

- Угол откоса необходимо учитывать при определении поперечного полезной емкости бункера.
- Подвижность частиц принято оценивать величиной начального сопротивления сдвигу, которая характеризует связность сыпучего материала, определяя силу сцепления частиц.
- Сопротивление сыпучего материала сдвигу по поверхности соприкосновения его со стенками бункера подчиняется примерно тем же закономерностям, что и внутреннее сопротивление сдвигу.
- Коэффициент внешнего трения сыпучего материала о твердые поверхности. Коэффициент трения сыпучего материала равен тангенсу угла, образованного прямой с осью абсцисс спокойного материала.
- Предельный диаметр сводообразующего отверстия. Наибольшее отверстие, при котором наблюдается сводообразование, называется сводообразующим отверстием. Чем больше диаметр сводообразующего отверстия, тем более связным оказывается материал. При хорошо сыпучих материалах на размер сводообразующего отверстия является гранулометрический состав.
- Коэффициент уплотнения сыпучего материала. На величину объемной массы сыпучего материала существенного влияют особенности ее формирования, состояния поверхности частиц, условия движения и др. Условия формирования материала определяют начальный коэффициент уплотнения и могут менять его довольно значительно. На уплотнение сухих и влажных сыпучих материалов наибольшее влияние оказывают динамические нагрузки и вибрация, т.е. мелкие частицы начинают укладываться в поры между более крупными.

Управляющая координата

При процессе дозирования принимаем угловую скорость вращения шнека, как управляющую координату. Вариатором скорости, которого служит асинхронный двигатель, регулируя подачу дозатора, изменяя скорость вращения шнека.

Выходной (измеряемой величиной) координатой

При процессе дозирования принимаем выходную массу дозируемого сыпучего материала, поступившего в емкость, установленную на весоизмерительной платформе.

2.4 Анализ взаимосвязи между технологическими переменными, определение основных требований к ведению процессов, формулирование критериев качества и целей управления

Основные требования, к АСУ ТП при дозировании сыпучих материалов (сахар, соль):

- Точность дозирования $\pm 3\%$;
- Производительность (12 час) 36 тон;
- Возможность установки дополнительного расходного бункера и шнекового питателя с целью расширения базы;
- Исполнение интерфейса управления – доступное для неквалифицированного персонала.

Основные требования к характеристикам питателей:

- Возможность управлять расходом дозируемого вещества по заданию;
- Формирование расхода с заданной точностью;
- Минимизация затрат на перемещение;
- Выходной сигнал расхода материала должен быть линейным;
- Невосприимчивость выходного расхода к возмущениям (внешние и внутренние);
- Обеспечение высокого уровня надежности за счет уменьшения конструктивных и движущихся частей установки;

- Не восприимчивость к влиянию внешней среды на состояние дозируемого вещества;

- Возможность работы с пожароопасными и взрывоопасными дозируемыми веществами.

В настоящее время в весовых дозаторах в качестве управляющей системы используют контроллеры.

Контроллер отвечает за выполнение ряда функций:

- Усиливает сигнал, поступающий из системы отвечающей с измерительных датчиков;

- Преобразует полученный сигнал в весовую составляющую каждой порции;

- Следит и сохраняет вес каждой порции или производительность системы;

- Проводит сравнение полученных данных с заданными параметрами;

- Подает управляющие сигналы на питатель.

Контроллер должен обеспечивать:

- Автоматически проводить настройку выставленных параметров для заданного технологического процесса;

- Следит за производительностью технологического процесса;

- Отслеживание угловой скорости вращения шнекового питателя;

- Отслеживание текущей массы в весовом стакане.

2.5 Разработка комплекса технических средств АСУ ТП

2.5.1 Иерархия уровней АСУ

Для обеспечения высокой надежности комплекс управления должен осуществляется по классической иерархии уровней [2]:

Первый (нижний) уровень включает: датчики и электропривод шнекового питателя (D_B , D_ω).

Второй (средний) уровень включает: устройства управления (в нашем случае микропроцессорный контроллер управления (МКУ)).

Третий (верхний) уровень включает: сетевое оборудование, операторские и диспетчерские станции.

Иерархия уровней АСУ при дозировании сыпучих материалов представлена на рисунке 5. На верхнем уровне располагается удаленное автоматизированное рабочее место оператора. Оператор производит мониторинг и управление перемещением конвейера и скоростью вращения ЭП шнека, по датчикам в системе. Связь между верхним и средним уровнем осуществляется по последовательному интерфейсу передачи данных RS-485. Блок управления занимает сразу 2 уровня. В блоке расположена микроконтроллерная плата, а на ней микропроцессор, который обрабатывает аналоговые сигналы токов и напряжений и сигналы с датчиков: скорости, положения и массы, поступающие с датчиков нижнего уровня. Микропроцессор формирует заложенный в него алгоритм управления движения конвейера и шнека.

В блоке управления расположен силовой модуль, который относится к нижнему уровню. Силовой модуль состоит из выпрямителя и транзисторного инвертора напряжения. Силовые ключи – IGBT-транзисторы управляются посредством ШИМ-модуляции, чей алгоритм подачи импульсов формирует микропроцессор.

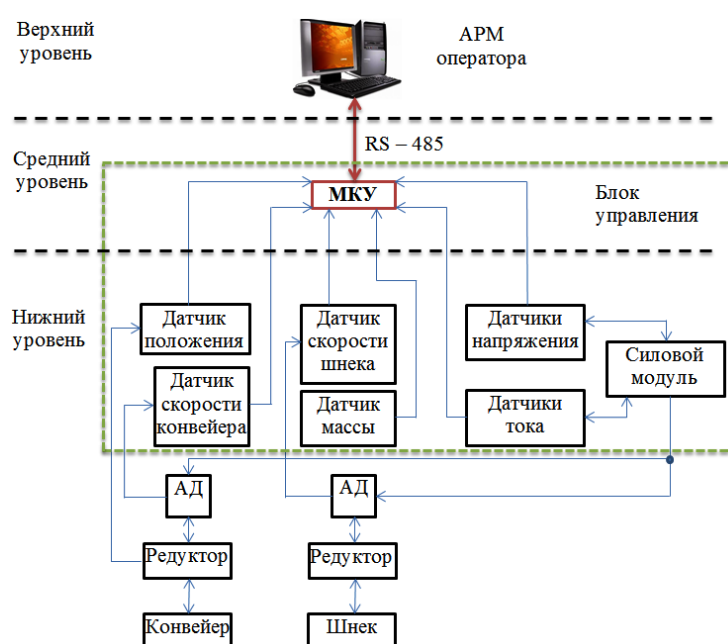


Рисунок 5 – Иерархия уровней АСУ при дозировании

2.5.2 Блок – схема аппаратных средств автоматизации

С персонального компьютера отправляют сигнал, поступающий на вход регулятора веса. В микроконтроллере программно записываются сигналы задания по весу дозируемого материала. Выход сигнала по весу будет заданием на частоту преобразователя, т.е. на скорость вращения шнека. После того как весовой стакан установлен на весовую платформу на контроллер подается сигнал. Контроллер после получения и обработки сигнала, подает управляющий сигнал на включение электропривода шнекового питателя. На первой ступени шнековый питатель загружает в весовой стакан 90% от установленной массы и с весовой платформы подается сигнал на контроллер для отключения привода шнекового питателя на первой ступени [2].

После останова шнека, контроллер подает сигнал на включение электропривода ленточного конвейера. Со второй весовой платформы подается сигнал о том, что на нем стоит тара с загруженным материалом. Система пересчитывает разницу между заданным значение массы с уже загруженной в весовой стакан. После система делает перерасчет на время и скорость загрузки контрольной массы сыпучего материала. Время дозирования на второй ступени приравнивается к времени дозирования на первой ступени, т.е. 10% контрольной массы загружаются одновременно с загрузкой на первой ступени следующей порции. После загрузки контрольной массы система проводит контрольное взвешивание. Данный способ дозирования позволяет существенно увеличить производительность технологического процесса без потери точности.

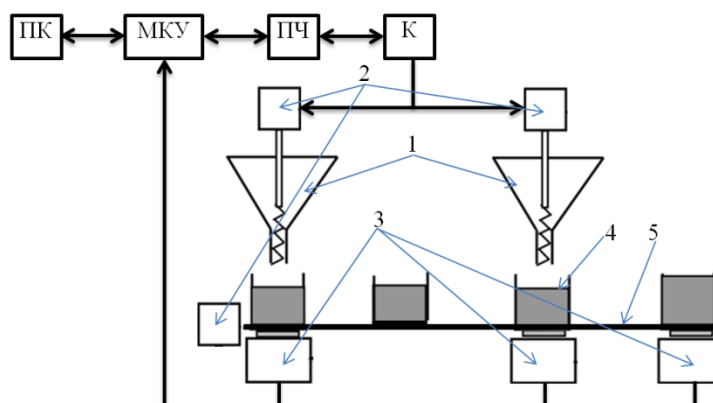


Рисунок 6 – Блок – схема аппаратных средств автоматизации

Обозначения:

1 – питатель;

2 – электропривод;

3 – весовая платформа;

4 – тара;

5 – конвейер;

ПК – персональный компьютер;

МКУ – микропроцессорный контроллер управления;

ПЧ – преобразователь частоты;

К – контакторы.

2.5.3 Функциональная структура системы

На рисунке 7 показана функциональная структура системы дозирования.

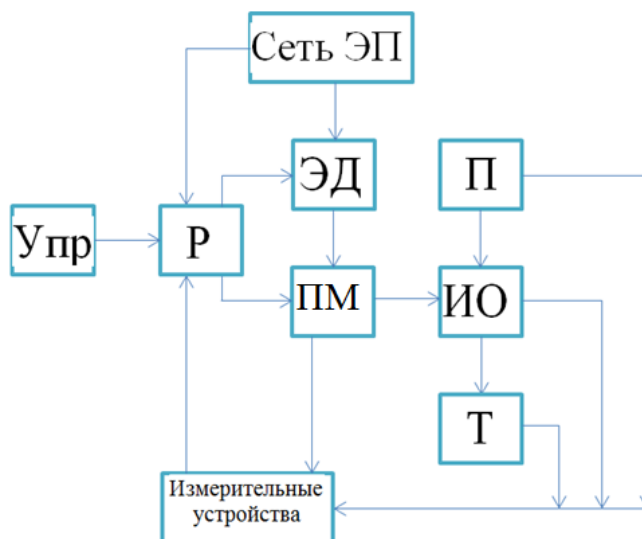


Рисунок 7 – Структурно-функциональная схема дозаторной системы

От **сеть ЭП** подается питание на электропривод **ЭД** и на регулятор **Р**. **ЭД** преобразует электрическую энергию и приводит в движение передаточный механизм (редуктор) **ПМ**. **ПМ** приводит в движение исполнительный орган **ИО** системы (шнек питателя). При помощи **ИО** из питателя **П** в тару **Т** начинает поступать дозируемый материал. По обратной связи при помощи измерительных устройств регулятор **Р** осуществляет управление системой дозирования.

2.6 Выбор аппаратных средств на всех уровнях управления

Верхний уровень:

Специальное место, выделенное оператору для наблюдения и управления технологическим процессом при помощи персонального компьютера (DELL Hetton Alienware X51 R2 – 4125).

Характеристики:

- Вид – Hetton;
- Тип процессора Core i5 – 4460;
- Частота процессора – 3200 МГц;
- Размер оперативной памяти – 8196 Мб;
- Видеопроцессор – GeForce GTX 750 Ti;
- Размер видеопамати – 2048 Мб;
- Объем жесткого диска – 1 Тб;
- Тип оптического привода – DVD+/-RW.

Средний уровень:

Включает в себя управляющие микропроцессорный контроллер управления.

Модульный ПЛК FASTWEL I/O.

FASTWEL I/O – российский модульный программируемый логический контроллер для жестких условий эксплуатации:

- Рабочая температура –40...+85°C;
- Относительная влажность воздуха до 95%;
- Вибрация 10...500 Гц с ускорением 5g;
- Одиночные удары с пиковым ускорением 100g;
- Многократные удары с пиковым ускорением 50g.

Высокий уровень качества системы подтвержден **перечнем разрешительных документов:**

- Разрешение на применения в нефтяной и газовой промышленности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору;

- Сертификат об утверждении типа средств измерений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;
- Свидетельство о типовом одобрении Российского морского регистра судоходства;
- Сертификат соответствия Таможенного союза.

Модуль ПЛК FASTWEL I/O – применяется в различных сферах АСУ ТП:

- Атомная энергетика;
- Горно-обогатительная промышленность;
- Железнодорожный транспорт;
- Метрология;
- Нефтегазовый комплекс;
- Строительство.

Программные продукты применяемые с модульным ПЛК FASTWEL I/O:

- адаптированная среда разработки CoDeSys (для контроллеров узла сети);
- Linux;
- Fastwel FBUS SDK (комплект разработчика прикладного программного обеспечения для шины FBUS);
- Fastwel OPC.

Нижний уровень:

Датчики массы: цифровой тензодатчик ZET 7010

Характеристики:

- Питание подаваемое на ПП:
 - постоянное напряжение – 4,2+-0,2 В;
 - максимальный ток – 25+-1,5 А;
 - частота обновления данных – 1 Гц.
- Интерфейс передачи данных RS – 485;
- Скорость обмена 4800 – 230400 бит/с;

- Контроль четкости:
 - 0 – нет контроля;
 - 1 – есть контроль;
- Защита по интерфейсным входам:
 - перенапряжение – 19 В;
 - импульсная – 28 В.

Датчики скорости: абсолютный энкодер – *E6C – N*

- Тип – многооборотный;
- Диапазон (мин./макс.) – 500;
- Габариты – D 50 (сплошной или полный вал);
- Макс. нагрузка (Н) – радиальная 30/ осевая 20;
- Степень защиты – IP50;
- Макс. частота оборотов – 1500 обр./мин.

Контакты: контактор DILM12-01 с катушкой управления 230 В

Характеристики:

- Артикул производителя - 276865
- Тип - DILM12-01(230V50HZ,240V60HZ)
- Номинальный ток, А - 12
- Категория применения - AC3
- Количество силовых контактов - 3
- Напряжение управления, В - 230 В AC
- Номинальное напряжение, В – 690

Преобразователи частоты: *Schneider Electric*.

Таблица 1 – Параметры преобразователя частоты

Типоразмер	Макс. мощность двигателя, кВт	Номинальный выходной ток, А	Максимальный ток, А
<i>ANV312HU15N4</i>	1,1	3,4	4,3

2.7 Программное обеспечение на всех уровнях АСУ ТП

MechBIOS Development Studio – среда предназначенная для разработки и моделирования программного обеспечения встроенного в системы управления электрическими приводами. Так же может применяться на технологических комплексах. Программируется логическими контроллерами.

Данная программная среда позволяет:

- Создавать необходимое для тех. Процесса управление электрическими приводами, ТК, ПЛК;
- Выполнять моделирование работы всех систем;
- Производить перепрограммирование программы, для новых работ, в микроконтроллере;
- Устанавливать необходимые библиотеки при замене микроконтроллеров.

2.8 Обмен информации между уровнями системы

Современная техника имеет огромное количество всевозможных входов и выходов для обмена данными с другими устройствами. Существуют как проводные, так и беспроводные интерфейсы. Одним из очень распространённых проводных интерфейсов является универсальная последовательная шина, или USB. Практически не одно современное устройство, работающее с информацией, не обходится без него. Последней, самой современной версией является USB 3.0, скорость которой доходит до 4,8 Гбит/с.

RS-485 интерфейс связи наиболее распространенный промышленный стандарт, реализующийся двунаправленной сбалансированной линией передачи и поддерживания многоточечных соединений, обеспечивая создание сетей с количеством узлов до 32 (64, 128 – зависит от нагрузочных характеристик микросхем) и передачу на расстояние до 1200 м.

Передача информации по RS-485 может осуществляться на скорости до 10 Мбит/с. Расстояние и скорость передачи данных, с которыми интерфейс может успешно использоваться, зависят от многих моментов (длина линии,

типа проводов, наличие помех, наличие и величина терминатора и т.д.), которые должны учитываться при разработке схемы соединений устройств в системе.

Взаимодействие между верхним (АРМ) и средним (контроллер) уровнями осуществляться через RS-485.

Взаимодействие между средним (контроллер) и нижним (ПЧ) уровнями осуществляться через интерфейс RS – 485.

2.9 Разработка общих алгоритмов функционирования АСУ технологическим процессом

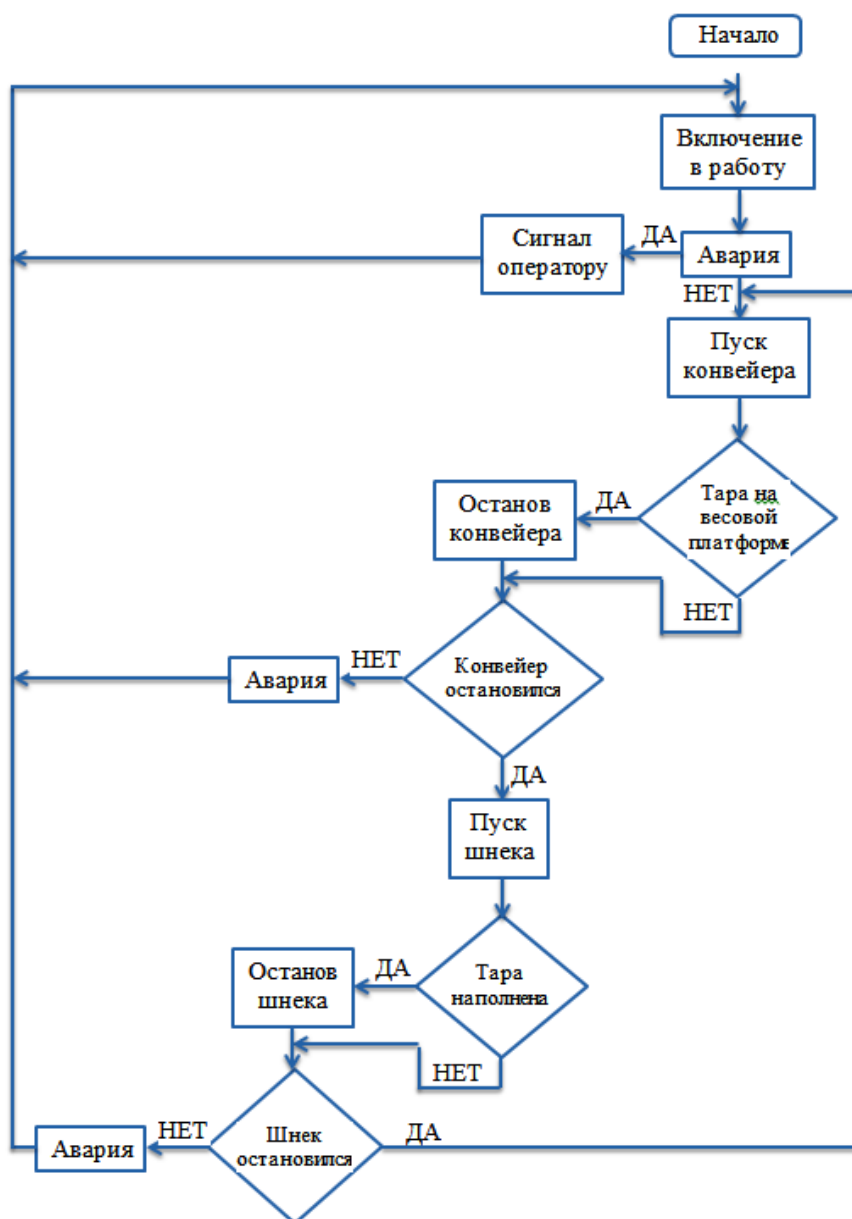


Рисунок 8 – Общий алгоритм формирования событий работы АСУ ТП [Приложение Б]

3 РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СО СКАЛЯРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Для механизмов, работающих в небольшом диапазоне регулирования скорости и не требующих высокого качества переходных процессов, наиболее часто применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, получающие питание от преобразователей частоты со скалярной системой управления. К таким механизмам в первую очередь относятся насосы, вентиляторы, компрессоры, конвейеры и другие общепромышленные и вспомогательные механизмы технологических комплексов.

Скалярное управление основывается на изменении частоты и питающего двигателя напряжения по определенному закону $U_1 / f_1^n = const$, где $n \geq 1$. Вид зависимости определяется определенным характером нагрузки механизма. За независимое воздействие принимается частота, которая определяет скорость вращения двигателя, а значение напряжения при данной частоте определяет поток двигателя и в конечном итоге вид механической характеристики, значения пускового и критического моментов двигателя.

Скалярный электропривод является наиболее простым, выпуск таких электроприводов производится в большинстве технически развитых странах мира, разработка их не прекращается как известными, так и вновь организуемыми фирмами и исследовательскими лабораториями. Большую работу в разработке таких электроприводов проводит компания ООО «НПФ Мехатроника-Про» [10].

Функциональная схема электропривода ПЧ – АД, реализующая законы управления класса $U_1 / f_1^n = const$, приведена на рисунке 9.

Основными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- М – асинхронный двигатель;
- ПЧ – преобразователь частоты;

- ПКП, ПКО – прямой и обратный координатные преобразователи;
- ПЧН – преобразователь «частота - напряжение»;
- ЗИ – задатчик интенсивности;
- ДТА, ДТС – датчики тока двигателя;
- Элемент сравнения допустимого максимального $I_{13\max}$ и фактического значения действующего фазного тока двигателя I_{10c} ;
- РОТ – регулятор ограничения тока.

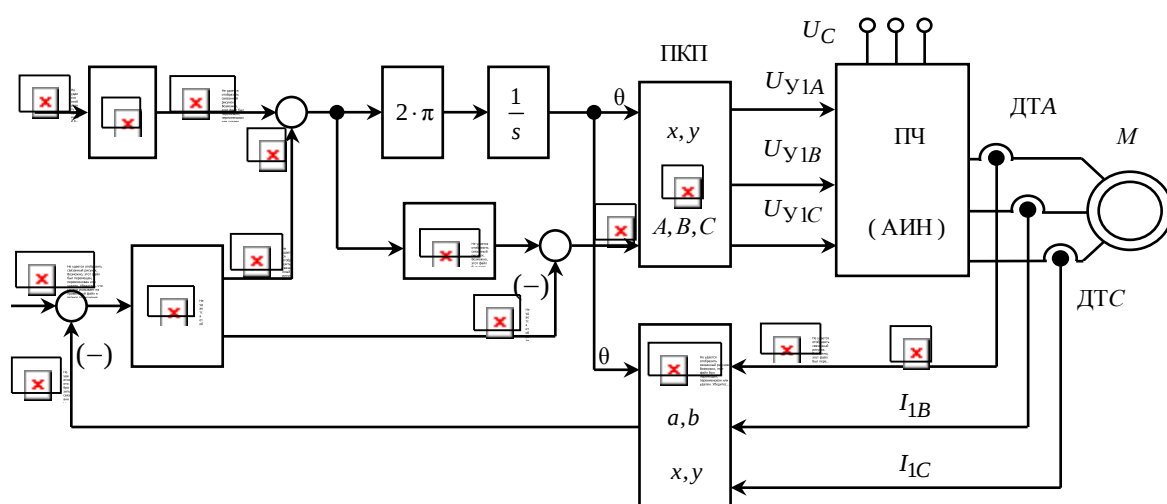


Рисунок 9 – Функциональная схема скалярной системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель

В массовом регулируемом асинхронном электроприводе общепромышленного назначения широкое распространение на сегодняшний день имеют ПЧ со звеном постоянного тока, построенные по схеме «неуправляемый выпрямитель – инвертор напряжения». Инвертор напряжения выполняется на *IGBT*-транзисторах. Так как *IGBT*-транзисторы переключаются при больших частотах, то форма тока, протекающего через обмотки двигателя *М* близка к синусоидальной.

3.1 Определение параметров Т – образной схемы замещения АД

Справочные технические данные асинхронного электродвигателя шнекового питателя [12].

Таблица №2 – Каталожные данные асинхронного двигателя серии RA90S4 [11]

Высота оси, мм	$P_{\text{ном}}$, кВт	n_0 , об/мин	$n_{\text{ном}}$, об/мин	КПД, %	$\cos \varphi$, о.е.	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	J, кгм ²
90	1,1	1500	1420	80,1	0,71	5,5	2,3	2,6	0,0034

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{3 \cdot U_{1\text{H}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,71 \cdot 0,8} = 2,93 \text{ А} \quad (3.1.1)$$

где P_{H} – номинальная мощность, кВт;

$U_{1\text{H}}$ – номинальное фазное напряжение, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности, о.е.;

η_{H} – КПД.

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_{\text{Ж}} \cdot P_{\text{H}}}{3 \cdot U_{1\text{H}} \cdot \cos \varphi_{p_{\text{Ж}}} \cdot \eta_{\text{H}p_{\text{Ж}}}} = \frac{0,75 \cdot 1,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,63 \cdot 0,8} = 2,47 \text{ А} \quad (3.1.2)$$

$$\cos \varphi_{p_{\text{Ж}}} = \cos \varphi \cdot K = 0,71 \cdot 0,986 = 0,63 \quad (3.1.3)$$

где K – коэффициент, зависящий от мощности двигателя;

$\cos \varphi_{p_{\text{Ж}}}$ – коэффициент мощности при разгрузке, о.е.;

$\eta_{\text{H}p_{\text{Ж}}}$ – КПД при нагрузке практически равен η_{H} .

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{\text{Ж}} \cdot I_{1\text{H}} \cdot \frac{1 - s_{\text{H}}}{1 - p_{\text{Ж}} \cdot s_{\text{H}}} \right)^2}{1 - \left(p_{\text{Ж}} \cdot \frac{1 - s_{\text{H}}}{1 - p_{\text{Ж}} \cdot s_{\text{H}}} \right)^2}} = \quad (3.1.4)$$

$$= \sqrt{\frac{2,47^2 - \left(0,75 \cdot 2,93 \cdot \frac{1 - 0,053}{1 - 0,75 \cdot 0,053} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,053}{1 - 0,75 \cdot 0,053} \right)^2}} = 1,77 \text{ А}$$

где s_{H} – номинальное скольжение, о.е.

Критическое скольжение:

$$s_k = s_H \cdot \frac{k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta(k_{max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta(k_{max} - 1)} = \quad (3.1.5)$$

$$= 0,053 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,053 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,053 \cdot 1 \cdot (2,6 - 1)} = 0,32$$

где k_{max} – кратность максимального момента, о.е.;

β – коэффициент находится в диапазоне 0,6 – 2,25, $\beta=1$.

Коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \left(\frac{1,77}{2 \cdot 5,5 \cdot 2,93} \right) = 1,055, \quad (3.1.6)$$

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1 - s_H}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \quad (3.1.7)$$

$$= 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1 - 0,053}{2 \cdot 1,055 \cdot 2,6 \cdot 1100} = 22,787,$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,32^2} \right) - 0,75^2} = 2,947. \quad (3.1.8)$$

где k_i – Кратность пускового тока;

m – количество фаз.

Активное сопротивление на роторе:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k} \right) \cdot C_1} = \frac{22,787}{\left(0,75 + \frac{1}{0,32} \right) \cdot 1,017} = 5,253 \text{ Ом} \quad (3.1.9)$$

Активное сопротивление на статоре:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,055 \cdot 5,253 \cdot 0,75 = 5,542 \text{ Ом} \quad (3.1.10)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 2,947 \cdot 1,055 \cdot 5,253 = 16,33 \text{ Ом} \quad (3.1.11)$$

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$X_{2H'} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{16,33}{1,055} = 8,978 \text{ Ом} \quad (3.1.12)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 16,33 = 6,859 \text{ Ом} \quad (3.1.13)$$

По найденным значениям C_1 , R_2' , X_{KH} определяем критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,055 \cdot 5,253}{\sqrt{5,542^2 + 16,33^2}} = 0,32 \quad (3.1.14)$$

Так как $s_{k1} = s_k$, то коэффициент β выбран правильно.

Для нахождения ЭДС ветви намагничивания:

определили $\sin \varphi = 0,704$

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,71 - 5,542 \cdot 2,93)^2 + (220 \cdot 0,704 - 6,859 \cdot 2,93)^2} \\ &= 194,334 \end{aligned} \quad (3.1.15)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{194,334}{1,77} = 109,726 \text{ Ом} \quad (3.1.16)$$

Расчет и построение естественных механических и электромеханических характеристик асинхронного двигателя серии RA180M4

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с} \quad (3.1.17)$$

где f – промышленная частота сети, Гц;

p – число пар полюсов.

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя

$$M(\omega) = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right) + X_{KH}^2 \right]} \quad (3.1.18)$$

Механическая характеристика, рассчитана и построена, по формуле (3.1.18), в математической среде программы Mathcad, приведена на рисунке 10.

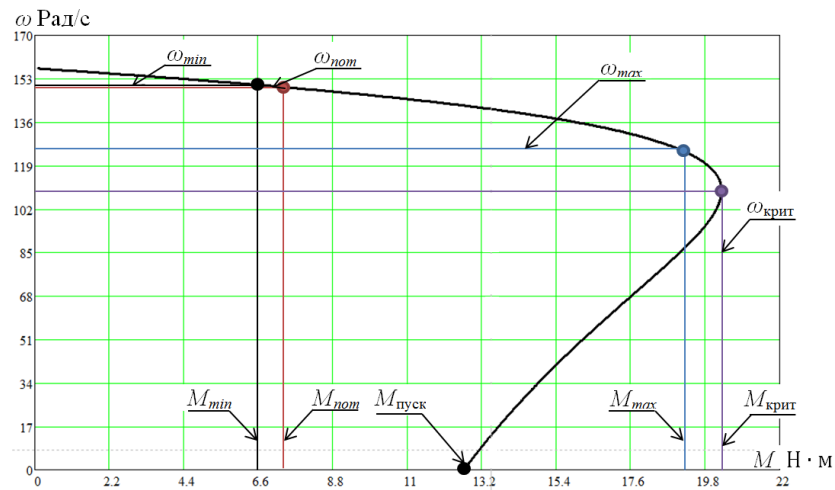


Рисунок 10 – Естественная механическая характеристика

Для полного анализа механической характеристики, определяем дополнительные параметры двигателя.

Критический момент при двигательном режиме:

$$M_{\text{КД}} = \frac{m \cdot U_{1\text{H}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{КН}}^2} \right)} = \quad (3.1.19)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left(5,542 + \sqrt{5,542^2 + 16,33^2} \right)} = 20,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_{\text{H}} = \omega_0 \cdot (1 - S_{\text{H}}) = \quad (3.1.20)$$

$$= 157,08 \cdot (1 - 0,053) = 148,75 \text{ Рад/с}$$

Номинальный момент:

$$M_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{\omega_{\text{H}}} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{148,75} = 7,4 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.1.21)$$

Максимальный момент:

$$M_{\text{max}} = k_{\text{max}} \cdot M_{\text{H}} = 2,6 \cdot 7,4 = 19,23 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.1.22)$$

Минимальный момент:

$$M_{\text{min}} = k_{\text{min}} \cdot M_{\text{H}} = 0,9 \cdot 7,4 = 6,66 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.1.23)$$

Полученные параметры естественной механической характеристики асинхронного двигателя серии RA90S4 представлены в таблице №3.

Таблице №3 – Параметры естественной механической характеристики

$M_{\text{пуск}},$ $H^*_{\text{м}}$	$M_{\text{крит}},$ $H^*_{\text{м}}$	$M_{\text{мах}},$ $H^*_{\text{м}}$	$M_{\text{мин}},$ $H^*_{\text{м}}$	$M_{\text{ном}},$ $H^*_{\text{м}}$
12,7	20,3	19,23	6.655	7,4
Угловая скорость, рад/с	Угловая скорость, рад/с	Угловая скорость, рад/с	Угловая скорость, рад/с	Угловая скорость, рад/с
0	110	125,5	150,6	148,75

Проанализировав полученные показатели, найденные по данным из каталога убедились, что они соответствуют с полученным графиком механической характеристики, отсюда можно сделать вывод, что определенные параметры схемы замещения по каталожным данным верны.

Ток ротора, приведенный к обмотке статора, от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}} \quad (3.1.24)$$

Электромеханическая характеристика ротора, рассчитана и построена, по формуле (3.1.24), в математической среде программы Mathcad, приведена на рисунке 11.

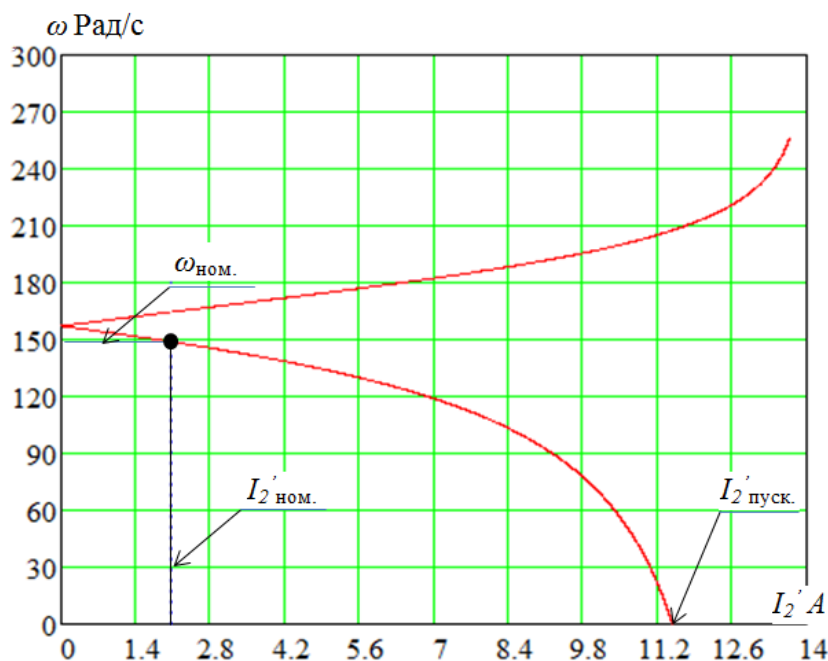


Рисунок 11 – Естественная электромеханическая характеристика ротора АД

Ток статора:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} \quad (3.1.25)$$

Электромеханическая характеристика статора, рассчитана и построена, по формуле (3.1.25), в математической среде программы Mathcad, приведена на рисунке 12.

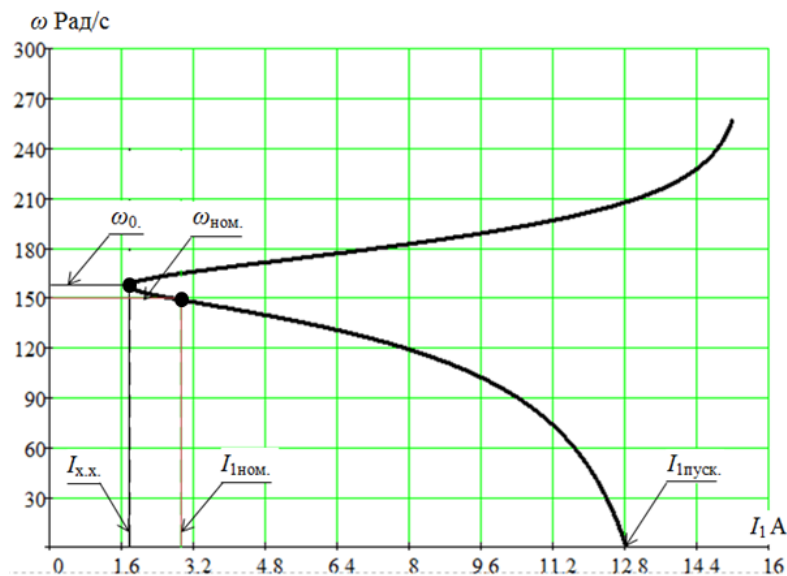


Рисунок 12 – Естественная электромеханическая характеристика статора АД

Номинальный ток ротора, приведенный к обмотке статора, при номинальном скольжении:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \quad (3.1.26)$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(5,542 + \frac{5,253}{0,053}\right)^2 + 16,33^2}} = 2,1 \text{ A}$$

Ток статора:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = \quad (3.1.27)$$

$$= \sqrt{1,77^2 + 2,1^2 + 2 \cdot 1,77 \cdot 2,1 \cdot 0,149} = 2,925 \text{ A}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}} = 0,149 \quad (3.1.28)$$

Анализ расчетов показывает, что полученные номинальные значения тока на статоре АД, определенное на его электрохимической характеристике, совпадает с значением, посчитанным по каталожным данным $I_1 = 2,925 \text{ A}$ - $I_{1H} = 2,93 \text{ A}$. Можно сделать вывод, что определенные параметры схемы замещения по каталожным данным верны.

3.2 Динамические характеристики скалярного асинхронного электропривода с автономным инвертором напряжения

Для исследования качества переходных процессов при пуске и регулировании скорости двигателя в системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» в программной среде *MATLAB (Simulink)* была составлена имитационная модель электропривода, схема силовых цепей которого приведена на рисунке 13. Имитационная модель электропривода учитывает активные и индуктивные сопротивления проводов и кабелей необходимые для подключения преобразователя частоты к сети и к двигателю, падения напряжения на полупроводниковых приборах.

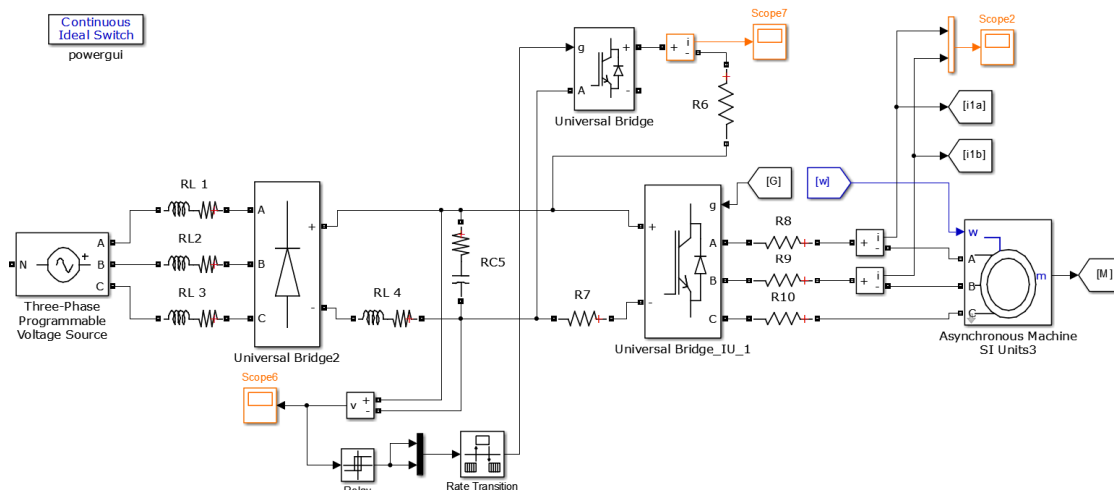


Рисунок 13 – Схема силовых цепей имитационной модели скалярного асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости

Переходные процессы пуска скалярного асинхронного электропривода шнекового питателя от задатчика интенсивности с последующим плавным увеличением нагрузки по мере заполнения бункера представлены на рисунке

14. Пуск произведен с начальной частотой $f_{\text{нач}} = 20$ Гц. В момент времени $t = 1,5$ с шнековый питатель начал снижать угловую скорость вращения.

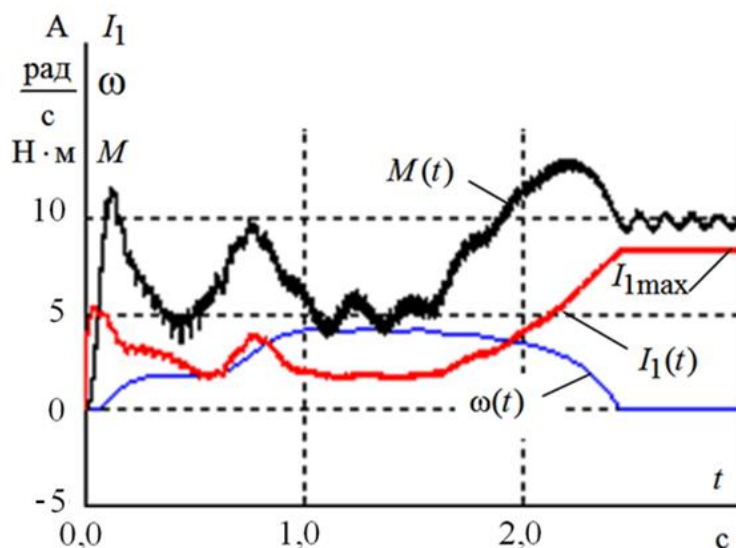


Рисунок 14 – Графики переходных процессов пуска скалярного асинхронного электропривода шнекового питателя на нижнюю характеристику

Анализ графиков статических механических характеристик рис. 10 и графиков переходных процессов рисунке 14 показывает, что учет основных параметров электропривода выполнено, верно, а результаты имитационного моделирования электропривода в программной среде *MATLAB (Simulink)* совпадают в контрольных точках со статическими характеристиками, рассчитанными в *MathCAD*, с погрешностью определяемой шагом интегрирования.

3.3 Повышение критического момента асинхронного электропривода

В Таблице №4 представлены каталожные данные для кабеля ВВГ

Таблица №4 – Каталожные данные кабеля ВВГ

Сечение, мм	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
$R_{\text{КАБ}},$ Ом/км	12,1	7,41	4,61	3,08	1,83	1,15	0,727	0,524	0,387

По номинальному току двигателя ($I_1 = 2,925$ А) выбираем кабель сечением $2,5 \text{ мм}^2$. Длину принимаем 10 м.

В случае синусоидальной системе ШИМ амплитудные $U_{1\phi m}$ и действующие $U_{1\phi}$ фазные значения первой гармоники выходного напряжения инвертора при частоте выходного напряжения 50 Гц:

$$U_{1\phi m} = 0,5 \cdot U_d = 256,5 \text{ В} \quad (3.3.1)$$

$$U_{1\phi} = \frac{U_d}{2 \cdot \sqrt{2}} = 181,37 \text{ В} \quad (3.3.2)$$

На практике простейшим способом повышения критического момента асинхронного электропривода при его разработке является введение в сигнал управления инвертором U_{y1A} , U_{y1B} , U_{y1C} третьей гармоники. Напряжение каждой фазы при номинальной частоте, в этом случае, увеличивается с $U_{1\phi} = 181,37 \text{ В}$ до $U_{1\phi 1} = 209,3 \text{ В}$, а третья гармоника напряжения момента не создает [13].

Используемый в работе механизм имеет характеристику 3, приведенную на рисунке 15.

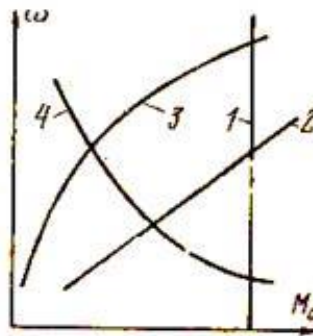


Рисунок 15 – Механические характеристики механизмов

Для корректного управления электроприводом, преобразователь частоты со звеном постоянного тока должен работать по закону управления $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$. Если регулировать частоту f_{1j} и напряжение U_{1j} в соотношении с этим законом, получим следующую зависимость, рисунок 16.

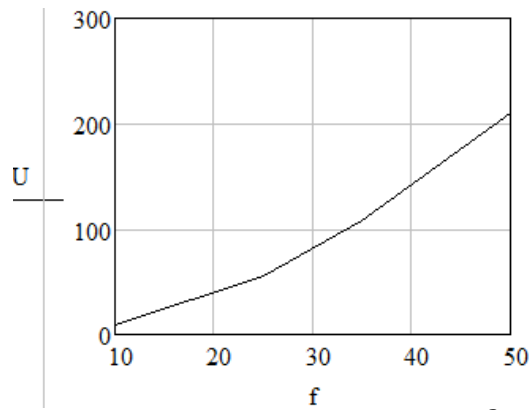


Рисунок 16 – Закон управления $U/f^2 = const$

Учитывая падения напряжения на диодах, IGBT и дополнительное сопротивление кабеля производилось по приведенным ниже формулам. $U_{VD}=1$, $U_{VT}=5$

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя с учетом третьей гармоники

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot (U_{1H} - 2 \cdot U_{VD} - 2 \cdot U_{VT})^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot f_{1ж}^2 \left(R_1 + R_{каб} + \frac{R_2'}{s_H} \right) + \left[\frac{(R_1 + R_{каб}) \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu \cdot f_{1ж}} \right] \right]} \quad (3.3.3)$$

где R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$R_{каб}$ – добавочное активное сопротивление кабеля, проводов,

соединяющих обмотки статора асинхронного двигателя и преобразователь частоты;

R_2' – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

X_μ – индуктивное сопротивление контура намагничивания при номинальной частоте питающей сети $f_{1н}$;

ω_0 – синхронная угловая скорость;

U_{1H} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1ж}$ – относительная частота напряжения инвертора.

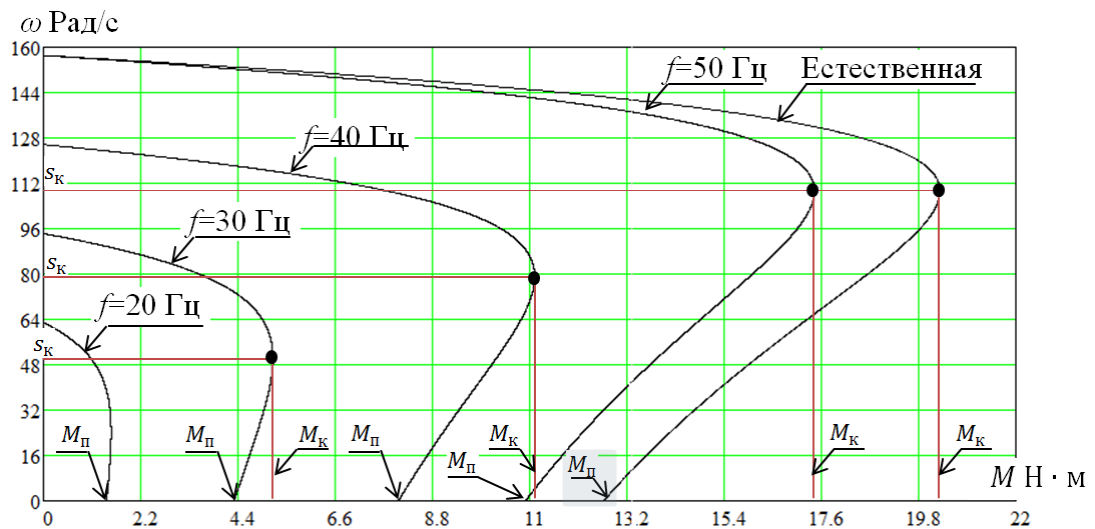


Рисунок 17 – Семейство механических характеристик при регулировании

Механические характеристики:

- $$\omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f \quad - \quad \text{при уменьшении частоты синхронная скорость}$$

снижается;

- $$s_k = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} \cong \frac{1}{f}; \quad M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \right]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2;$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

- $$M_{\text{п}} = 2 \cdot M_k \cdot s_k \cong f \quad - \quad \text{пусковой момент обратно пропорционален}$$

квадрату частоты.

Анализ механических характеристик электропривода (рисунок 17) показывает, что при введении третьей гармоники в напряжение управления инвертором двигатель недоиспользуется по моменту на 14,3 %. Контрольные точки, полученные по результатам эксперимента, совпадают с теоретическими. Однако, длительная работа электропривода на характеристике с частотой преобразователя $f = 20$ Гц (рисунок 17) невозможна из-за превышения током статора номинального значения. На нижнем пределе регулирования скорости длительная работа электропривода возможна при коррекции вольт – частотной характеристики системы управления преобразователем частоты (блок ПЧН, рисунок 9).

Графики переходных процессов пуска асинхронного электропривода на частоту $f = 20$ Гц с коррекцией вольт – частотной характеристики приведен на рисунке 18.

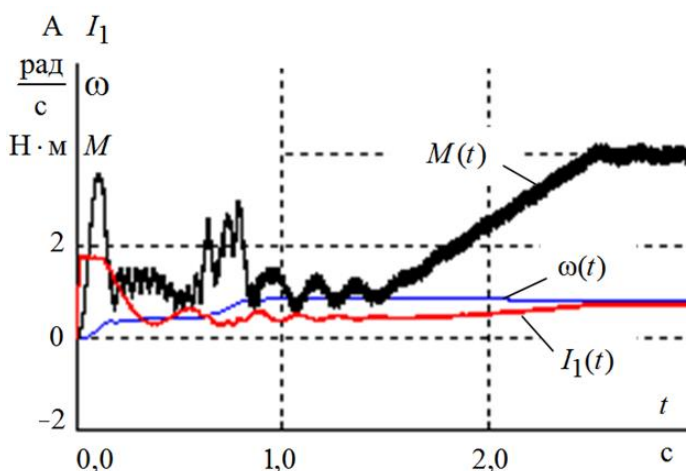


Рисунок 18 – Графики переходного процесса пуска скалярного асинхронного электропривода с коррекцией вольт – частотной характеристики

Анализ графиков переходных процессов (рисунок 18) показывает, что электропривод разгоняется до угловой скорости, определяемой частотой преобразователя $f = 20$ Гц, установившееся значение тока статора не превышает номинального значения. Установившиеся значения скорости и момента совпадают со значениями на статических характеристиках с погрешностью, определяемой шагом интегрирования.

Результаты расчета статических и динамических режимов работы асинхронного электропривода со скалярным управлением, а также экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- Учет активных и индуктивных сопротивлений преобразователя и питающей сети имеет определяющее значение при расчете с малой погрешностью как статических, так и переходных режимов скалярных асинхронных частотно-регулируемых электроприводов;
- Напряжение управления инвертора двухзвенного преобразователя частоты с ШИМ модуляцией должно содержать третью гармонику синусоидального напряжения, в противном случае недоиспользование скалярного электропривода по моменту будет примерно 37,4 %.

3.4 Синтез регулятора веса на основе модульного оптимума

В системах дозирования любое перерегулирование переходного процесса является перевесом, что сказывается на точности дозирования, поэтому его необходимо исключить, применяя настройки с перерегулированием, равным нулю.

Разомкнутый контур веса, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [3]:

$$W_{\text{мо}}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_{\mu\text{в}} \cdot p(T_{\mu\text{в}} \cdot p + 1)} \quad (3.4.1)$$

где $T_{\mu\text{в}}$ – малая постоянная времени контура веса.

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равной величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\mu\text{в}} = T_{\text{тз}}$.

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

$$K_{\text{реп}} = \frac{\omega_{\text{макс}}}{U_{\text{рв макс}}} \quad (3.4.2)$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса (рисунок 19) рассматриваемой системы определяется следующим образом [3]:

$$W_{\text{раз.}}(p) = W_{\text{рв.}}(p) \cdot K_{\text{реп}} \cdot \frac{k_{\text{ш}}}{p} \cdot \frac{1}{1 + T_{\text{тз}} \cdot p} \quad (3.4.3)$$

Структурная схема контура веса представлена на рис. 3.6.

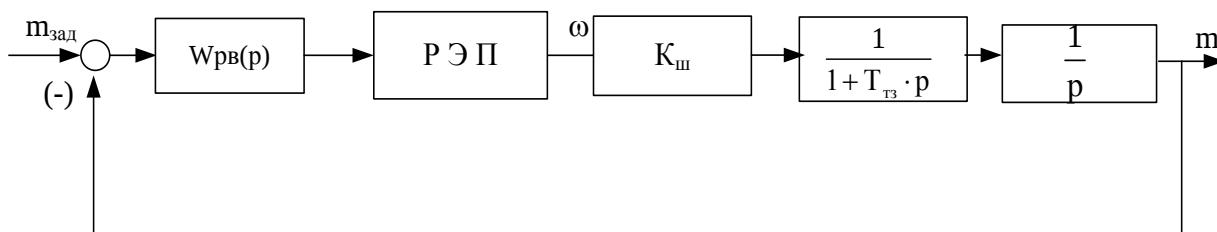


Рисунок 19 – Структурная схема линеаризованного контура веса

На рисунке 19 приняты следующие обозначения:

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

$K_{ш}$ – коэффициент передачи шнека;

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

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

$$W_{рв}(p) = \frac{(T_{тз} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв} \cdot (T_{\muв} \cdot p + 1)} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 4 \cdot T_{\muв}} \quad (3.4.4)$$

где $k_{рв} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 4 \cdot T_{\muв}}$ – коэффициент усиления регулятора веса.

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

4 РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

4.1 Определение параметров электропривода

Справочные технические данные асинхронного электродвигателя шнекового питателя [14].

Таблица 4 – Каталожные данные асинхронного двигателя серии RA90S4[11]

Типо- размер	n_0 , об/мин	$U_{дв.н.}$, В	$P_{дв.н.}$, кВт	При номинальной нагрузке			S_k , %	$J_{дв.}$, кг·м ²	m_P	m_K	m_M	$k_{i\text{ дв}}$
				S_H , %	$\cos \varphi_H$	η_H , %						
RA90S4	1500	380	1,1	5,3	0,71	80,1	32	0,00034	2,3	2,6	0,9	5,5

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ рад/с} \quad (4.1.1)$$

где n_0 – синхронная частота вращения, об/мин.

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_H = \left(1 - \frac{S_H}{100}\right) \cdot \omega_0 = \left(1 - \frac{5,3}{100}\right) \cdot 157,08 = 148,75 \text{ рад/с} \quad (4.1.2)$$

где S_H – номинальное скольжение электродвигателя, %.

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1H} = \frac{P_{дв.н.}}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\eta_H}{100}} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,71 \cdot \frac{80,1}{100}} = 2,93 \text{ А} \quad (4.1.3)$$

где $P_{дв.н.}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

U_{1H} – номинальное фазное напряжение, В;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

η_H – КПД в режиме номинальной мощности.

Номинальный момент двигателя:

$$M_{дв.н.} = \frac{P_{дв.н.}}{\omega_H} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{148,75} = 7,4 \text{ Н·м} \quad (4.1.4)$$

Коэффициент загрузки электродвигателя принимаем равным $p_z=0,75$.

КПД электродвигателя при частичной нагрузке $\eta_Z = 0,881$.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке $\cos \varphi_Z = 0,71$.

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{11} = \frac{p_{\text{ж}} \cdot P_{\text{дв.н.}}}{3 \cdot U_{1\text{H}} \cdot \cos \varphi_Z \cdot \eta_Z} = \frac{0,75 \cdot 1,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,71 \cdot 0,801} = 2,3 \text{ A} \quad (4.1.5)$$

Ток холостого хода двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_Z \cdot I_{1\text{H}} \cdot \frac{1 - s_{\text{H}}}{1 - p_{\text{ж}} \cdot s_{\text{H}}}\right)^2}{1 - \left(p_{\text{ж}} \cdot \frac{1 - s_{\text{H}}}{1 - p_{\text{ж}} \cdot s_{\text{H}}}\right)^2}} = \quad (4.1.6)$$

$$= \sqrt{\frac{2,3^2 - \left(0,75 \cdot 2,93 \cdot \frac{1 - 0,053}{1 - 0,75 \cdot 0,053}\right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1 - 0,053}{1 - 0,75 \cdot 0,053}\right)^2}} = 1,1 \text{ A}$$

Расчетный коэффициент:

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1\text{H}}}\right) = 1 + \left(\frac{1,1}{2 \cdot 5,5 \cdot 2,93}\right) = 1,035 \quad (4.1.7)$$

Критическое скольжение:

$$s_k = s_{\text{H}} \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_{\text{H}} \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_{\text{H}} \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = \quad (4.1.8)$$

$$= 0,053 \cdot \frac{2,6 + \sqrt{2,6^2 - [1 - 2 \cdot 0,053 \cdot 0,75 \cdot (2,6 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,053 \cdot 0,75 \cdot (2,6 - 1)} = 0,38$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\text{H}}^2 \cdot (1 - s_{\text{H}})}{2 \cdot m_k \cdot P_{\text{дв.н.}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta - \frac{1}{s_k}\right)} = \quad (4.1.9)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,053)}{2 \cdot 2,6 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 1,035^2 \cdot \left(0,75 - \frac{1}{0,38}\right)} = 5,13 \text{ Ом}$$

Активное сопротивление статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,035 \cdot 5,13 \cdot 1,75 = 9,29 \text{ Ом} \quad (4.1.10)$$

Коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора:

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2}\right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,38^2}\right) - 1,75^2} = 1,95 \quad (4.1.11)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 1,95 \cdot 1,035 \cdot 5,13 = 10,4 \text{ Ом} \quad (4.1.12)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенной к обмотке статора в номинальном режиме:

$$X_{2H'} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{10,4}{1,035} = 5,807 \text{ Ом} \quad (4.1.13)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{2H'} = \frac{X_{2H'}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{5,807}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,018 \text{ Гн} \quad (4.1.14)$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 10,4 = 4,35 \text{ Ом} \quad (4.1.15)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1H} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{4,35}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,014 \text{ Гн} \quad (4.1.16)$$

Для нахождения ЭДС ветви намагничивания определили:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - X_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,71 - 2,29 \cdot 2,93)^2 + (220 \cdot 0,493 \cdot 4,35 \cdot 2,93)^2} \\ &= 191,94 \text{ В} \end{aligned} \quad (4.1.17)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{191,94}{1,1} = 168,01 \text{ Ом} \quad (4.1.18)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{168,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,535 \text{ Гн} \quad (4.1.19)$$

Проверка условий:

$$M_{\text{дв.н.}} < M_{\text{эм.н.1}} < 1,1 \cdot M_{\text{дв.н.}} \quad (4.1.20)$$

$$7,4 < 8,116 < 8,134$$

$$M_{\text{дв.н.}} < M_{\text{эм.н.2}} < 1,1 \cdot M_{\text{дв.н.}} \quad (4.1.21)$$

$$7,4 < 8,04 < 8,134$$

4.2 Выбор преобразователя частоты

Выбираем преобразователь частоты Schneider Electric Altivar 312 ANV312HU15N4.[7]

Параметры преобразователь частоты:

- Максимальная мощность двигателя – 1,1 кВт;
- Номинальный ток – 3,4 А;
- Максимальный ток – 4,8 А.

4.3 Параметры элементов силового канала электропривода

С учетом ШИМ выходного напряжения инвертора [8].

Напряжение питающей сети $U_c = (380 - 420) \text{ В}$.

Частоту $f_{\text{шим}} = 5000 \text{ Гц}$ и период $T_{\text{шим}} = 1 / f_{\text{шим}} = 0,0002 \text{ с}$. ШИМ выходного напряжения инвертора учитываем в системе управления инвертора и в системе управления электроприводом.

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с табл. 2 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы:

$$I_{\text{рн}} = I_{\text{рн}} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}{U_c} = 3,4 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 220}{420} = 3,1 \text{ А} \quad (4.3.1)$$

Таблица 5 – Каталожные данные силовой линии

$I_{рфн}, А$	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p, мГн$	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p, мОм$	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{дн}, А$	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

Принимаем $R_p = 0.45, Ом$, $L_p = 3 \cdot 10^{-3}, Гн$

Принимаем $C = 100 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} = 0,00185 мкФ$

4.4 Параметры механической системы электропривода

- Момент инерции механизма – $J_M = (0,9 - 1,1) \cdot 0,5 кг \cdot м^2$;
- КПД механизма - $\eta_{пер} = 0,85$;
- Передаточное число редуктора – $i_{ред.} = 3,24$;
- КПД редуктора - $\eta_{ред.} = 0,95$;
- Максимальная скорость механизма - $n_{max} = 400 об/мин$;
- Минимальная скорость механизма - $n_{min} = 4 об/мин$.

4.5 Проверка выбора асинхронного электропривода шнекового дозатора по моменту

Определения требуемых скоростей электродвигателя и диапазона регулирования [7]:

$$n_{дв.быстр.перем.} = n_{max} \cdot i_{ред} = 400 \cdot 3,24 = 1296 об/мин \quad (4.5.1)$$

Расчет формулы для определения приведенных к валу двигателя моментов нагрузки:

$$a = b = \frac{(1 - \eta_{пер} \cdot \eta_{ред})}{2 \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{ред}} = \frac{(1 - 0,85 \cdot 0,95)}{2 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 0,107 \quad (4.5.2)$$

Приведенный максимальный статический момент нагрузки:

$$M_{с прив.макс} = (1 + a + b) \cdot \frac{M_{с прив.макс}}{i_{ред}} = \quad (4.5.3)$$

$$= (1 + 0,107 + 0,107) \cdot \frac{15}{3,14} = 5,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Приведенный максимальный статический момент нагрузки:

$$M_{\text{с прив.мин}} = a \cdot \frac{M_{\text{с нагр.макс}}}{i_{\text{ред}}} = 0,107 \cdot \frac{15}{3,14} = 0,51 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.5.4)$$

Номинальная мощность двигателя:

$$P_{\text{дв.н.}} = \frac{M_{\text{с прив.макс}} \cdot \omega_{\text{н}}}{k + (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot (\omega_{\text{мин}} \cdot i_{\text{ред}})}{\omega_{\text{н}}}} = \quad (4.5.5)$$

$$= \frac{5,8 \cdot 148,75}{0,8 + (1 - 0,8) \cdot \frac{2 \cdot (0,418 \cdot 3,24)}{148,75}} = 1,080 \text{ кВт}$$

По полученной необходимой мощности двигателя $P_{\text{дв.н.}} = 1,080 \text{ кВт}$ видно, что двигатель RA90S4 мощностью 1,1 кВт выбран верно.

4.6 Расчетные параметры модели двигателя

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,014 + 0,339 = 0,353 \text{ Гн}, \quad (4.6.1)$$

$$L_2' = L_{2\sigma}' + L_m = 0,019 + 0,339 = 0,358 \text{ Гн}, \quad (4.6.2)$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2'} = 1 - \frac{0,339^2}{0,353 \cdot 0,358} = 0,091, \quad (4.6.3)$$

$$R_{1\sigma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2'^2} = 8,888 + 4,95 \cdot \frac{0,339^2}{0,358^2} = 13,327 \text{ Ом}, \quad (4.6.4)$$

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = \frac{0,091 \cdot 0,353}{13,3} = 0,0024006 \text{ с}, \quad (4.6.5)$$

$$T_2 = \frac{L_2'}{R_2'} = \frac{0,358}{4,95} = 0,07233 \text{ с}, \quad (4.6.6)$$

$$R_2' \cdot L_m = 4,95 \cdot 0,339 = 1,678, \quad (4.6.7)$$

$$\frac{L_m}{L_2'} = \frac{0,339}{0,358} = 0,94692737, \quad (4.6.8)$$

$$R_2' \cdot \frac{L_m}{L_2'^2} = 4,95 \cdot \frac{0,339}{0,358^2} = 13,09, \quad (4.6.9)$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,339}{0,358} \cdot 2 = 2,8408. \quad (4.6.10)$$

4.7 Естественные характеристики электродвигателя

Естественная механическая характеристика электродвигателя:

$$M_r(\omega r) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right) + X_{KH}^2 \right]} \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.7.1)$$

Критический момент:

$$M_{\text{эмк}} = \frac{m \cdot U_{1H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_K \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_K \cdot X_{\mu H}} \right) \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_K \cdot X_{\mu H}} \right) + X_{KH}^2 \right]} \quad (4.7.2)$$

$$= 20,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковой момент:

$$M_{k\Pi} = m_{k0} \cdot M_H = 19,23 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.7.3)$$

Критическая угловая скорость:

$$\omega_k = (1 - s_K) \cdot \omega_0 = 97,39 \text{ рад/с} \quad (4.7.4)$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_H = \omega_0 \cdot (1 - s_H) = 148,75 \text{ рад/с} \quad (4.7.5)$$

На рисунке 20 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя.

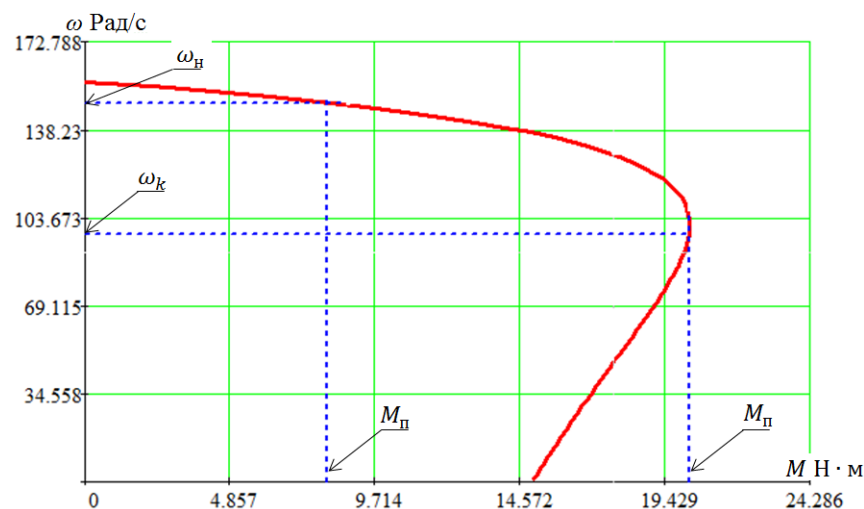


Рисунок 20 – Естественная механическая характеристика электродвигателя

Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя

Ток ротора, приведенный к обмотке статора, от скольжения:

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu H}}\right)^2}} = 2,133 \text{ A} \quad (4.7.6)$$

Ток статора:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} = 3,054 \text{ A} \quad (4.7.7)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}}$$

На рисунке 21 представлена естественная электромеханическая характеристика электродвигателя.

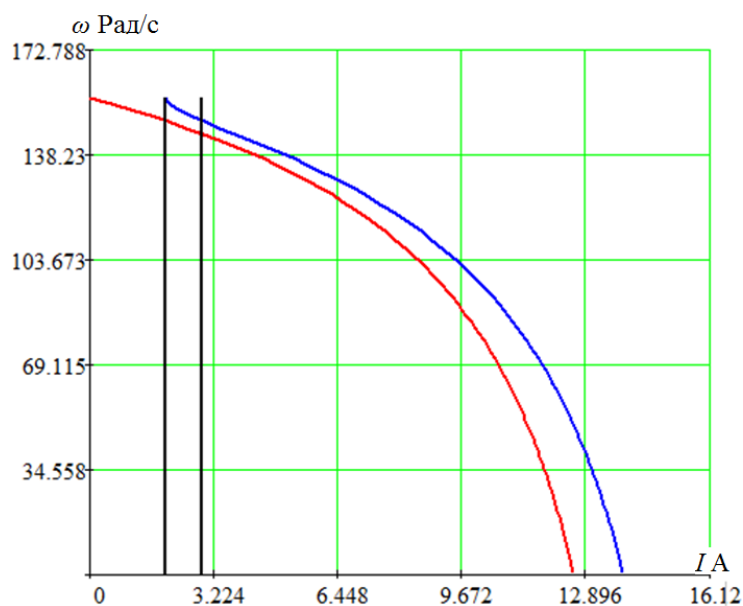


Рисунок 21 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя

4.8 Задание по моменту

Максимальный момент электропривода:

$$M_{\text{макс}} = 2 \cdot M_H + (\Delta_{MC}) = 15 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.8.1)$$

где k – коэффициент ухудшения теплоотдачи двигателя при неподвижном роторе принимаем равным k=0,9.

Длительно-допустимый момент электропривода:

$$M_{\text{дл.доп.}} = M_H \cdot \left(k \cdot (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega M}{\omega_H} \right) = 7,304 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.8.2)$$

Статический момент нагрузки электропривода:

$$M_C = 0,75 \cdot M_H + \Delta_{MC} = 6,267 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.8.3)$$

Минимальная нагрузка электропривода:

$$M_{\text{мин}} = 0,107 \cdot M_H + \Delta_{MC} = 1,461 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.8.4)$$

На рисунке 22 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

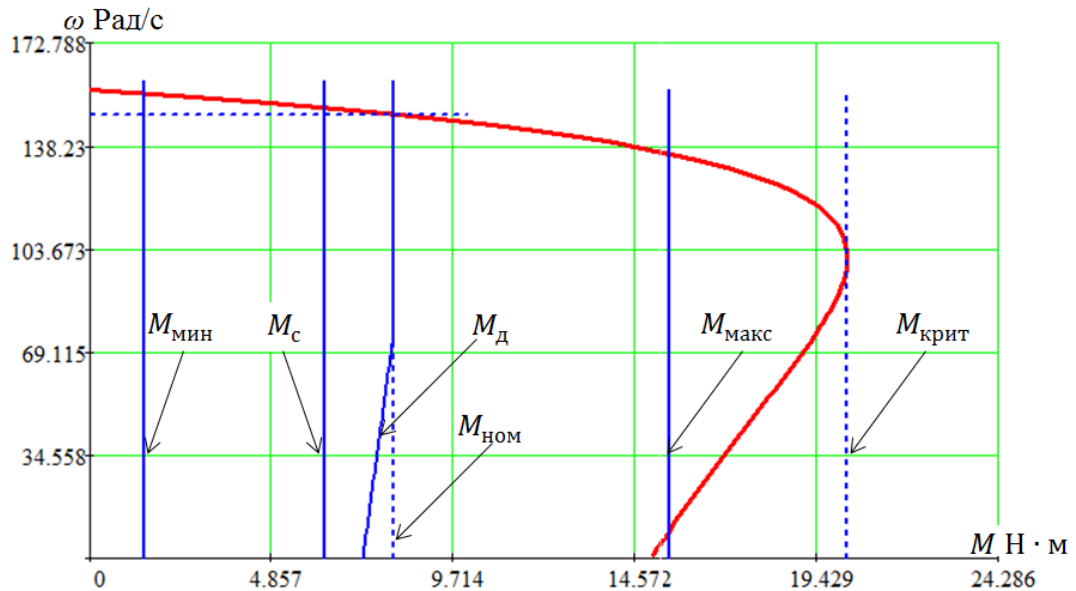


Рисунок 22 – Естественная механическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

Длительно-допустимый ток электропривода:

$$I_{\text{дл.доп.}} = I_H \cdot \left(k \cdot (1 - k) \cdot \frac{2 \cdot \omega I}{\omega_H} \right) = 2,638 \text{ А} \quad (4.8.5)$$

Максимальный ток электропривода:

$$I_{\text{max.}} = \sqrt{\left(\frac{M_{\text{max}}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu H}}{L_{2H}} \cdot z_p \cdot \psi_{2H} \cdot \sqrt{2}} \right)^2 + I_0^2} = 2,572 \text{ А} \quad (4.8.6)$$

Ток при минимальной нагрузке электропривода:

$$I_{min.} = \sqrt{\left(\frac{M_{min}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu H}}{L_{2H'}} \cdot z_p \cdot \psi_{2H} \cdot \sqrt{2}}\right)^2 + I_0^2} = 2,013 \text{ A} \quad (4.8.7)$$

Ток при максимальной нагрузке электропривода:

$$I_{max.} = \sqrt{\left(\frac{M_C}{\frac{3}{2} \cdot \frac{L_{\mu H}}{L_{2H'}} \cdot z_p \cdot \psi_{2H} \cdot \sqrt{2}}\right)^2 + I_0^2} = 4,529 \text{ A} \quad (4.8.8)$$

На рисунке 23 представлена естественная электромеханическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок.

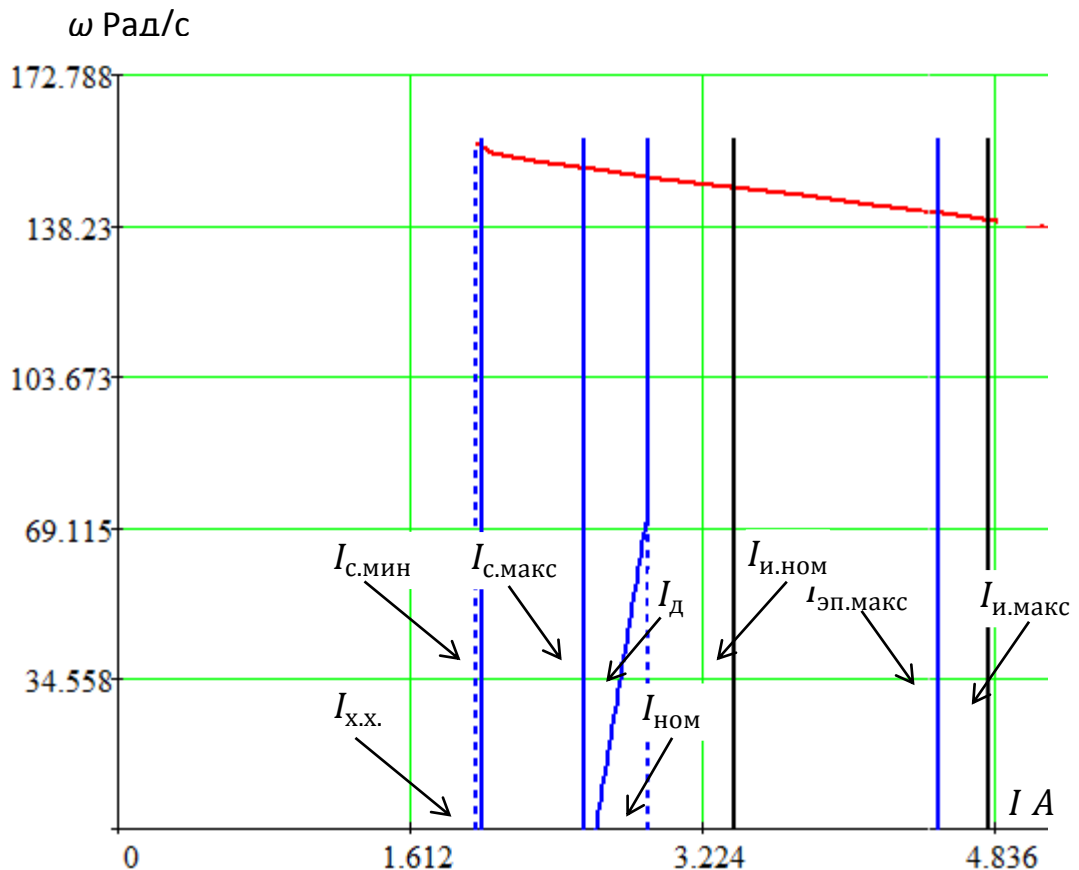


Рисунок 23 – Естественная электромеханическая характеристика электродвигателя с учетом коэффициента ухудшения теплоотдачи двигателя, и нагрузок

4.9 Расчет параметров элементов силового канала

С учетом ШИМ выходного напряжения инвертора.

Номинальное напряжение двигателя $U_{1\text{фн}} = 220 \text{ В}$.

Напряжение питающей сети $U_c = (380 \div 420) \text{ В}$.

Система управления электроприводом формирует два управляющих сигнала $u_{1d}^*(t)$ и $u_{1q}^*(t)$ с единичным максимальным значением, которые затем последовательно преобразуются в напряжения управления двухфазным $u_{1\alpha}(t)$, $u_{1\beta}(t)$, а затем трехфазным $u_{1a}(t)$, $u_{1b}(t)$ и $u_{1c}(t)$ инвертором с единичной максимальной амплитудой.[15]

Коэффициент преобразования напряжений управления $k_{\text{преоб}} = 1$.

Значения максимального выходного напряжения и коэффициента усиления инвертора при единичной амплитуде управляющих сигналов в зависимости от изменений напряжения сети:

$$U_d = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\text{фн}}}{\gamma_{\text{max}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220}{0.95} = 567,25 \text{ В}, \quad (4.9.1)$$

$$U_c = \frac{U_d}{1,35} = \frac{567,25}{1,35} = 420,185 \text{ В}, \quad (4.9.2)$$

$$K_{\text{и}}(U_c) = \frac{U_d}{1,35} = \frac{567,25}{\sqrt{3}} = 327,502. \quad (4.9.3)$$

Из условия $I_{\text{эп.макс}} < I_{\text{и.макс}}$, соответствующего 60 секундам работы,

тогда:

$$I_{\text{эп.макс}} = I_{1\text{ф макс}} = 4,811 \text{ А}, \quad (4.9.4)$$

$$\text{mod} \bar{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = \sqrt{2} \cdot 4,811 = 6,803 \text{ А}, \quad (4.9.5)$$

$$I_{1d\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 = \sqrt{2} \cdot 1,807 = 2,555 \text{ А}, \quad (4.9.6)$$

$$I_{1q\text{макс}} = \sqrt{\text{mod} \bar{I}_{1\text{макс}}^2 - I_{1d\text{н}}^2} = \sqrt{6,803^2 - 2,555^2} = 6,306 \text{ А}. \quad (4.9.7)$$

$$M_{\text{ЭМН}} = \frac{m \cdot U_{1\text{H}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{S_{\text{H}}}{100} \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{S_{\text{H}}}{100} \cdot X_{\mu\text{H}}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{S_{\text{H}}}{100}} \right)^2 + X_{\text{KH}}^2 \right]} =$$

$$= 8,117 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{ЭМ.макс}} = \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \right) \cdot \psi_{2\text{H}} \cdot I_{1q\text{макс}} = 15,513 \quad (4.9.9)$$

$$M_{\text{ЭМ.макс}} = M_{\text{ЭМ.макс}} - \Delta M_{\text{с дв.}} = 14,791 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.9.10)$$

4.10 Расчет параметров настройки контура тока с ПИ регулятором и аналоговым датчиком

Максимальный ток электропривода $I_{\text{Эп.макс}} = 4,811 \text{ А}$

Принимаем разрядность датчика – $n_{\text{ацп.дт}} = 10$

Из условия

$$I_{\text{изм. макс}} \geq \sigma_{\text{Т}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{Эп. макс}} \text{ А} \quad (4.10.1)$$

при $\sigma_{\text{Т}} = 1,2$

$$I_{\text{изм. макс}} \geq 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,811 = 8,165 \text{ А}$$

Принимаем – $I_{\text{изм. макс}} = 10 \text{ А}$.

$$k_{\text{дт}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{I_{\text{изм. макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{10}}{10} = 51,2 \text{ 1/А} \quad (4.10.2)$$

Принимаем – $N_{\text{от. макс}} = 1$

$$k_{\text{Т}} = \frac{1}{I_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ 1/А} \quad (4.10.3)$$

$$k_{\text{ос. Т}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}} = \frac{1}{512} = 0,0019513 \quad (4.10.4)$$

$$N_{\text{зт.макс}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{\text{Эп.макс}}}{I_{\text{изм. макс}}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 60}{10} = 0,6803781 \quad (4.10.5)$$

Принимаем

$$T_{\text{ос.Т}} = T_{\text{пк.Т}} = T_{\text{зу.и}} = T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (4.10.6)$$

Соответствует частоте 5000 Гц.

Принимаем – $T_{\text{ф.от}} = 0$.

Принимаем – $n_T = 2$.

Принимаем – $a_T = 2$.

$$T_{\mu \text{ тэ}} = \frac{T_{\text{ос.т}}}{n_T} + T_{\text{зу.и}} + T_{\text{ф.от}} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2} + 2 \cdot 10^{-4} + 0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (4.10.7)$$

$$T_{\text{РТ}} = T_{1э} = 2,4006 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (4.10.8)$$

$$k_{\text{РТ}} = \frac{T_{1э} \cdot R_{1э}}{k_{\text{и}} \cdot k_T \cdot a_T \cdot T_{\mu \text{ тэ}}} = 1,62807 \quad (4.10.9)$$

$$T_T = a_T \cdot T_{\mu \text{ тэ}} = 2 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (4.10.10)$$

Принимаем – $N_{\text{РТd доп}} = 1$.

$$N_{\text{РТq доп}} = \sqrt{1^2 - N_{\text{РТq}}^2} \quad (4.10.11)$$

Коэффициент компенсационной отрицательной обратной связи регулятора тока I_d

$$\begin{aligned} k_{\text{комп.д}} &= (\sigma \cdot L_1 \cdot z_p) \cdot \frac{I_{\text{изм. макс}} \cdot \omega_{\text{изм. макс}}}{k_{\text{и}}} = \\ &= (0,091 \cdot 0,353 \cdot 2) \cdot \frac{10 \cdot 200}{327,502} = 0,39 \end{aligned} \quad (4.10.12)$$

Коэффициент компенсационной положительной обратной связи регулятора тока I_q

$$\begin{aligned} k_{\text{комп.q}} &= \left(\frac{L_m}{L_2'} + \sigma \cdot \frac{L_1}{L_m} \right) \cdot \psi_{2н} \cdot z_p \cdot \frac{\omega_{\text{изм. макс}}}{k_{\text{и}}} = \\ &= \left(\frac{0,339}{0,358} + 0,091 \cdot \frac{0,353}{0,339} \right) \cdot 0,866 \cdot 2 \cdot \frac{200}{327,502} = 1,1 \end{aligned} \quad (4.10.13)$$

4.11 Расчет параметров настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика

Номинальное значение потокосцепления $\psi_{2н} = 0,866 \text{ Вб}$

Из условия:

$$\psi_{\text{изм. макс}} \geq \sigma_{\psi} \cdot \psi_{2н} \text{ Вб} \quad (4.11.1)$$

при $\sigma_T = 1,1$

$$\psi_{\text{изм. макс}} \geq 1,1 \cdot 0,866 = 0,953 \text{ Вб}$$

$$\text{Принимаем} - \psi_{\text{изм. макс}} = 1 \text{ Вб}$$

$$\text{Принимаем} - k_{\text{д}\Psi} = 1.$$

$$\text{Принимаем} - N_{\text{о}\Psi, \text{макс}} = 1.$$

$$k_{\Psi} = k_{\text{ос.}\Psi} = \frac{1}{\psi_{\text{изм. макс}}} = 1 \text{ 1/Вб} \quad (4.11.2)$$

$$N_{\Psi \text{ макс}} = k_{\Psi} \cdot \psi_{2\text{н}} = 1 \cdot 0,866 = 0,866 \text{ Вб} \quad (4.11.3)$$

$$\text{Принимаем} - T_{\text{расч.}\Psi} = T_{\text{шим}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \text{ что соответствует частоте } 5000 \text{ Гц.}$$

$$\text{Принимаем} - T_{\text{ос.}\Psi} = T_{\text{пк.}\Psi} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}, \text{ что соответствует частоте } 500 \text{ Гц.}$$

$$\text{Принимаем} - T_{\text{ф.о}\Psi} = 0.$$

$$\text{Принимаем} - n_{\Psi} = 1.$$

$$\text{Принимаем} - a_{\Psi} = 2.$$

$$T_{\mu\Psi\text{э}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.}\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{\text{ф.о}\Psi} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1} + 0 = 0,0026 \text{ с} \quad (4.11.4)$$

$$T_{\text{р}\Psi} = T_2 = 0,07233 \text{ с} \quad (4.11.5)$$

$$k_{\text{р}\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\text{т}}}{L_{\text{т}} \cdot k_{\Psi} \cdot a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi\text{э}}} = 4,10272 \quad (4.11.6)$$

$$N_{\text{р}\Psi \text{ доп}} = N_{\text{зт макс}} = 0,68038 \quad (4.11.7)$$

4.12 Расчет параметров настройки контура скорости с ПИ-регулятором и аналоговым датчиком

$$\text{Максимальная скорость электропривода } \omega_{\text{эп. макс}} = 135,7 \text{ рад/с}$$

Из условия:

$$\omega_{\text{изм. макс}} \geq \sigma_{\text{с}} \cdot \omega_{\text{эп. макс}} \text{ рад/с} \quad (4.12.1)$$

$$\text{при } \sigma_{\text{с}} = 1,5$$

$$\omega_{\text{изм. макс}} \geq 1,5 \cdot 135,7 = 203,55$$

$$\text{Принимаем} - \omega_{\text{изм. макс}} = 200 \text{ А.}$$

$$k_{\text{дс}} = \frac{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{0,5 \cdot 2^{10}}{200} = 10,24 \text{ с/рад} \quad (4.12.2)$$

$$\text{Принимаем} - N_{\text{ос. макс}} = 1$$

$$k_{\text{с}} = \frac{1}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ с/рад} \quad (4.12.3)$$

$$k_{\text{ос. с}} = \frac{1}{0,5 \cdot 2^{n_{\text{ацп.дт}}}} = \frac{1}{2048} = 0,00048828 \quad (4.12.4)$$

$$N_{\text{зс.макс}} = \frac{\omega_{\text{эп. макс}}}{\omega_{\text{изм. макс}}} = \frac{135,7}{200} = 0,6785 \quad (4.12.5)$$

Принимаем:

$$T_{\text{ос.с}} = T_{\text{пк.с}} = T_{\text{шим}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{500} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с} \quad (4.12.6)$$

Соответствует частоте 500 Гц.

$$\text{Принимаем} - T_{\text{фо.с}} = 0$$

$$\text{Принимаем} - n_{\text{с}} = 2$$

$$\text{Принимаем} - a_{\text{с}} = 2$$

$$\text{Принимаем} - b_{\text{с}} = 2$$

$$T_{\text{мсэ}} = T_{\text{т}} + \frac{T_{\text{ос.с}}}{n_{\text{с}}} + T_{\text{фо.с}} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} + 0 = 0,0016 \text{ с} \quad (4.12.7)$$

$$T_{\text{рс}} = b_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}} = 2 \cdot 2 \cdot 0,0016 = 0,0064 \text{ с} \quad (4.12.8)$$

$$k_{\text{рс}} = \frac{J_{\text{э мин}} \cdot k_{\text{т}}}{\psi_{2\text{н}} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot k_{\text{с}} \cdot a_{\text{с}} \cdot T_{\text{мсэ}}} =$$

$$= \frac{0,45 + (0,00034 \cdot 1,1) \cdot 0,1}{0,866 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,339}{0,358} \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 2 \cdot 0,0016} = 1144 \quad (4.12.9)$$

$$N_{\text{рс доп}} = \sqrt{(\sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} \cdot k_{\text{т}})^2 - N_{p\psi}^2} \quad (4.12.10)$$

4.13 Имитационная модель и исследование электропривода

На рисунке 24 представлена, базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ.[14-15]

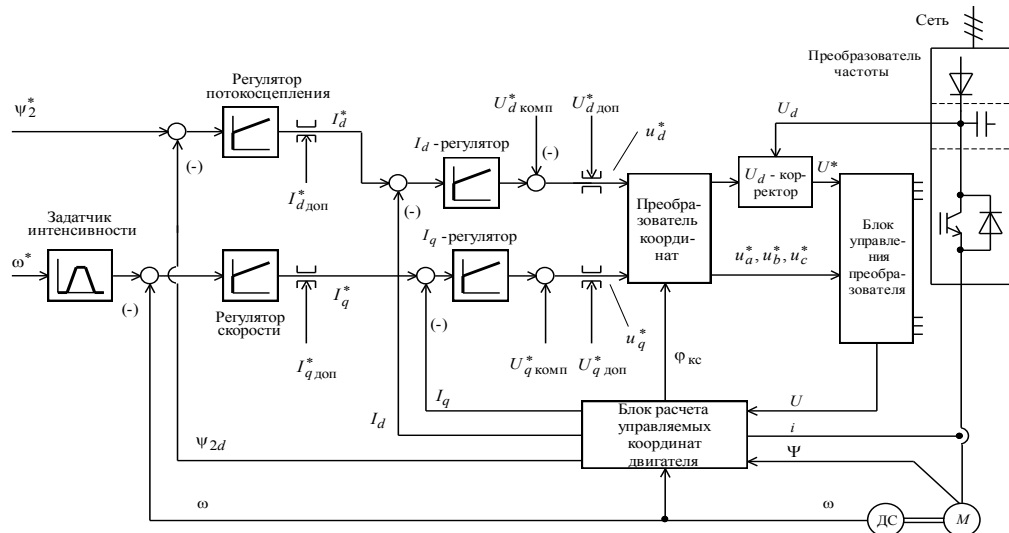


Рисунок 24 – Базовая функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлениями моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ

На рисунке 25 представлена, имитационная модель электрической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

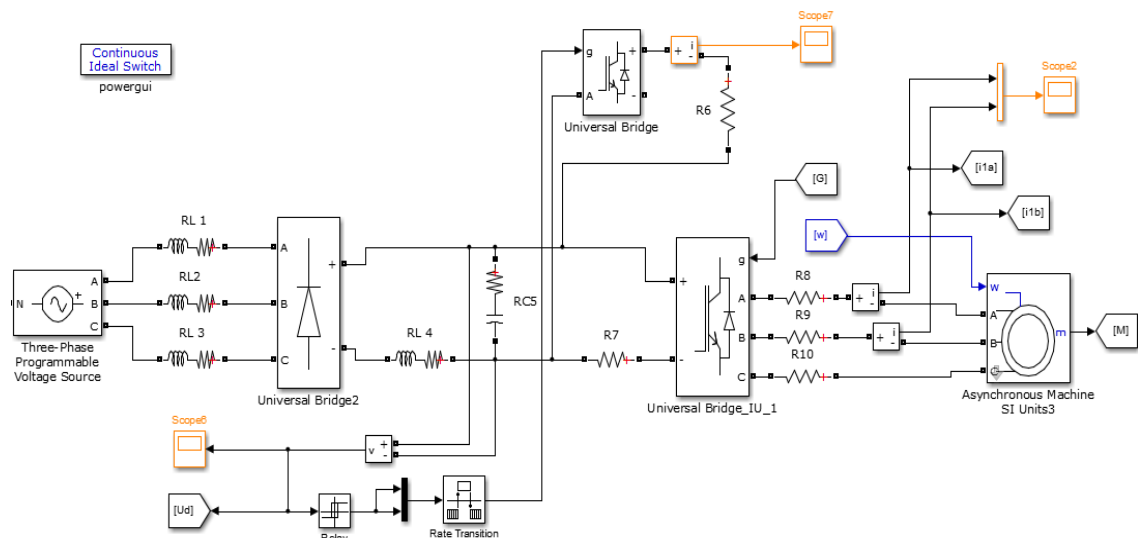


Рисунок 25 – Имитационная модель электрической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

На рисунке 26 представлена, имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель».

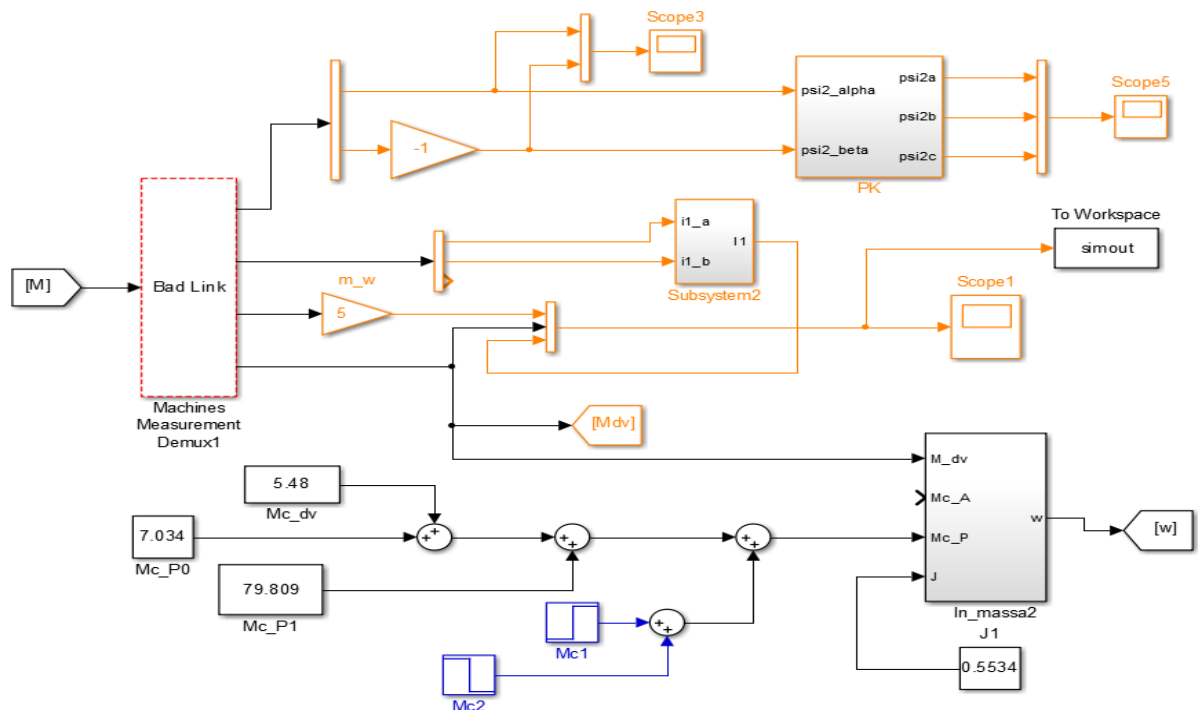


Рисунок 26 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель»

На рисунке 27 представлена, имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода без датчиков потока двигателя.

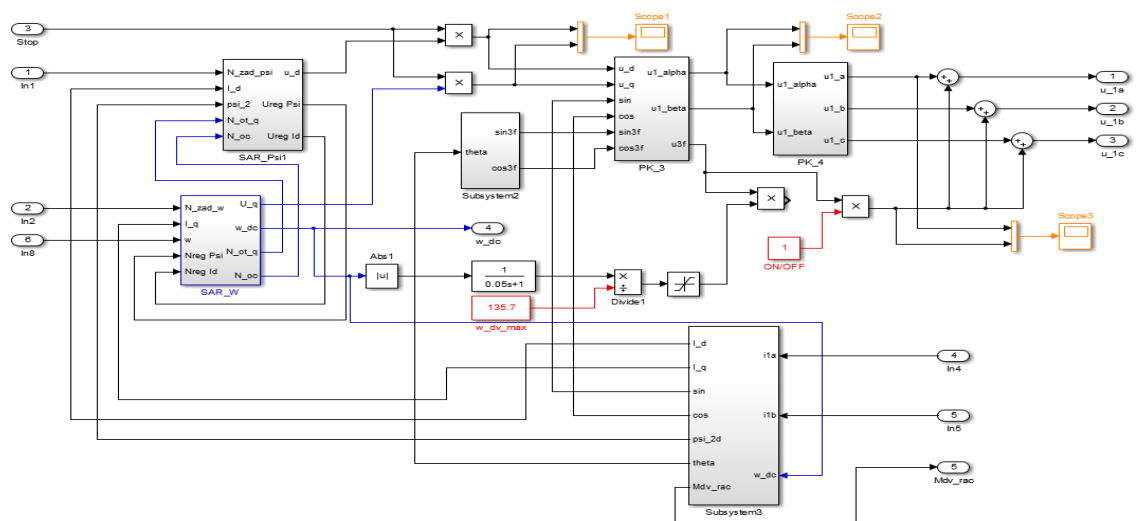


Рисунок 27 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода без датчиков потока двигателя

На рисунке 28 представлена, имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком и внутренним контуром тока I_{1q} .

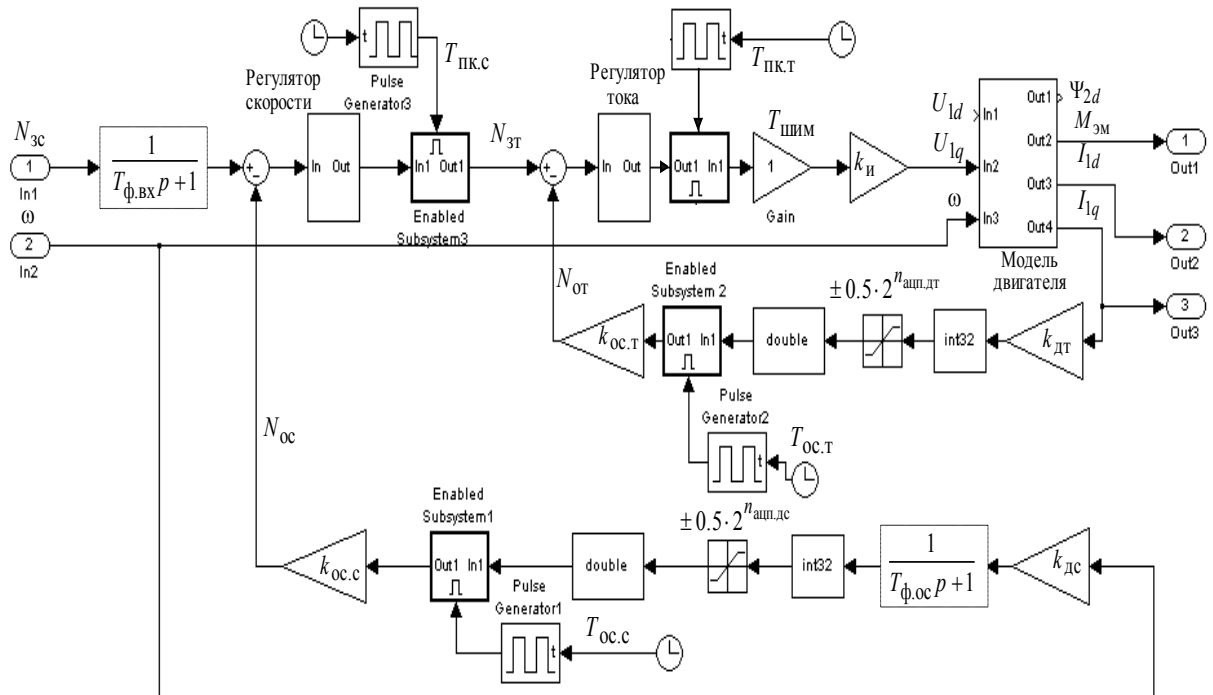


Рисунок 28 – Имитационная модель контура скорости с аналоговым датчиком и внутренним контуром тока I_{1q}

На рисунке 29 представлена, имитационная модель контура потокосцепления с внутренним контуром тока I_{1d} .

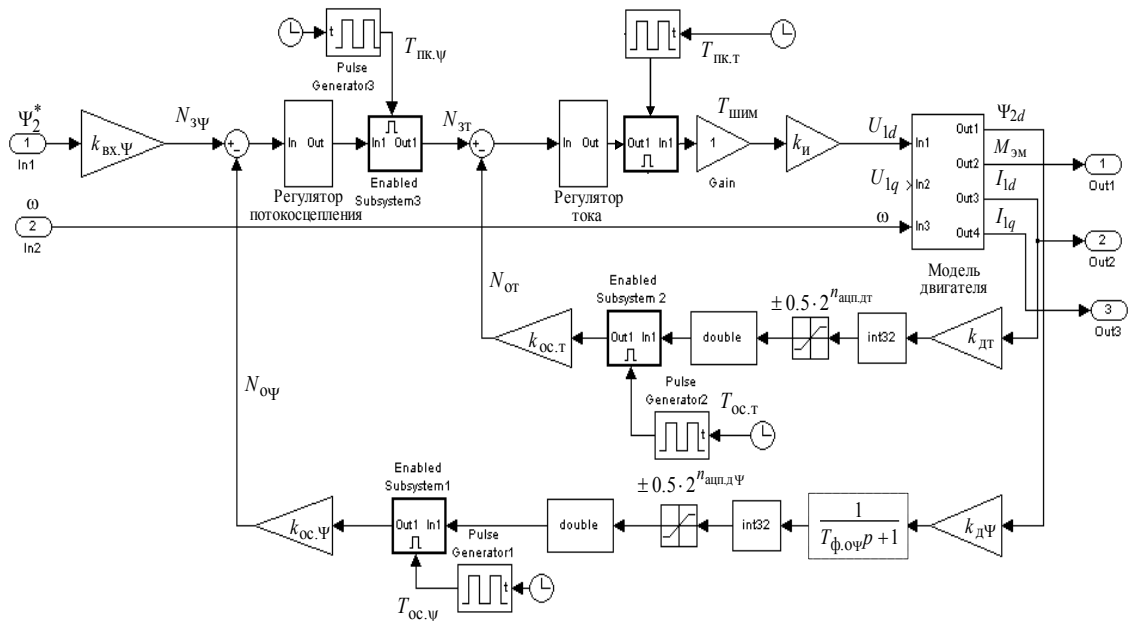


Рисунок 29 – Имитационная модель контура потокосцепления с внутренним контуром тока I_{1d}

На рисунке 30 представлена, имитационная модель блока САР потокосцепления ротора Ψ_{2d} с внутренним контуром тока I_{1d} .

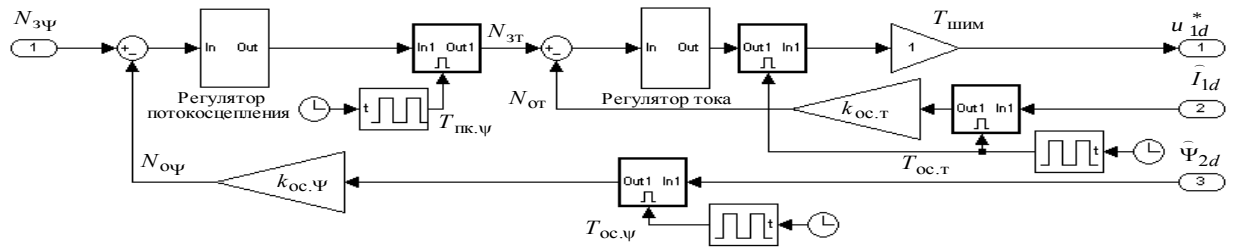


Рисунок 30 – Имитационная модель блока САР потокосцепления ротора Ψ_{2d} с внутренним контуром тока I_{1d}

На рисунке 31 представлена, имитационная модель блока САР скорости двигателя ω с импульсным датчиком и внутренним контуром тока I_{1q} .

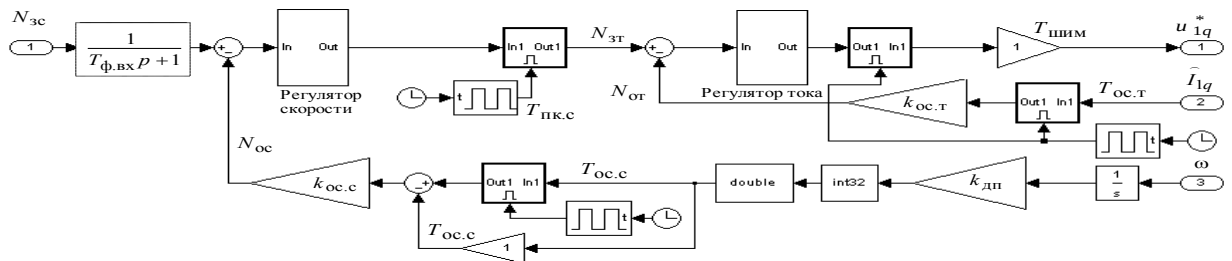


Рисунок 31 – Имитационная модель блока САР скорости двигателя ω с импульсным датчиком и внутренним контуром тока I_{1q}

На рисунке 32 представлена, схема расчета потокосцеплений и угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ и угловой скорости ω двигателя.

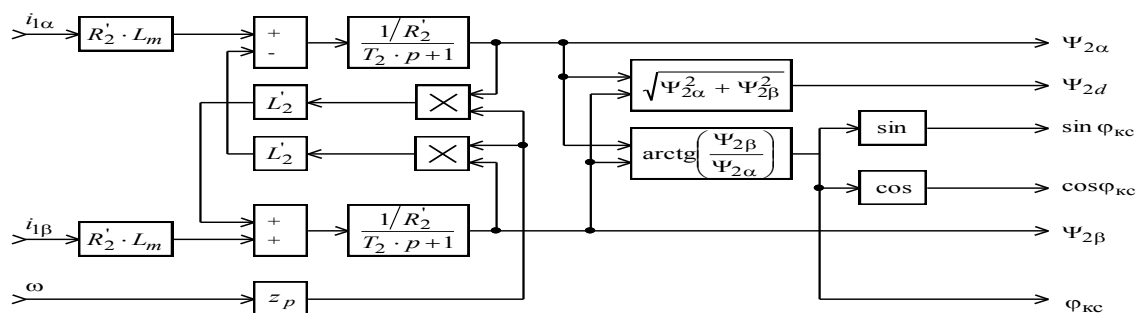


Рисунок 32 – Схема расчета потокосцеплений и угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ и угловой скорости ω двигателя

Переходные процессы АД при пуске на холостом ходу

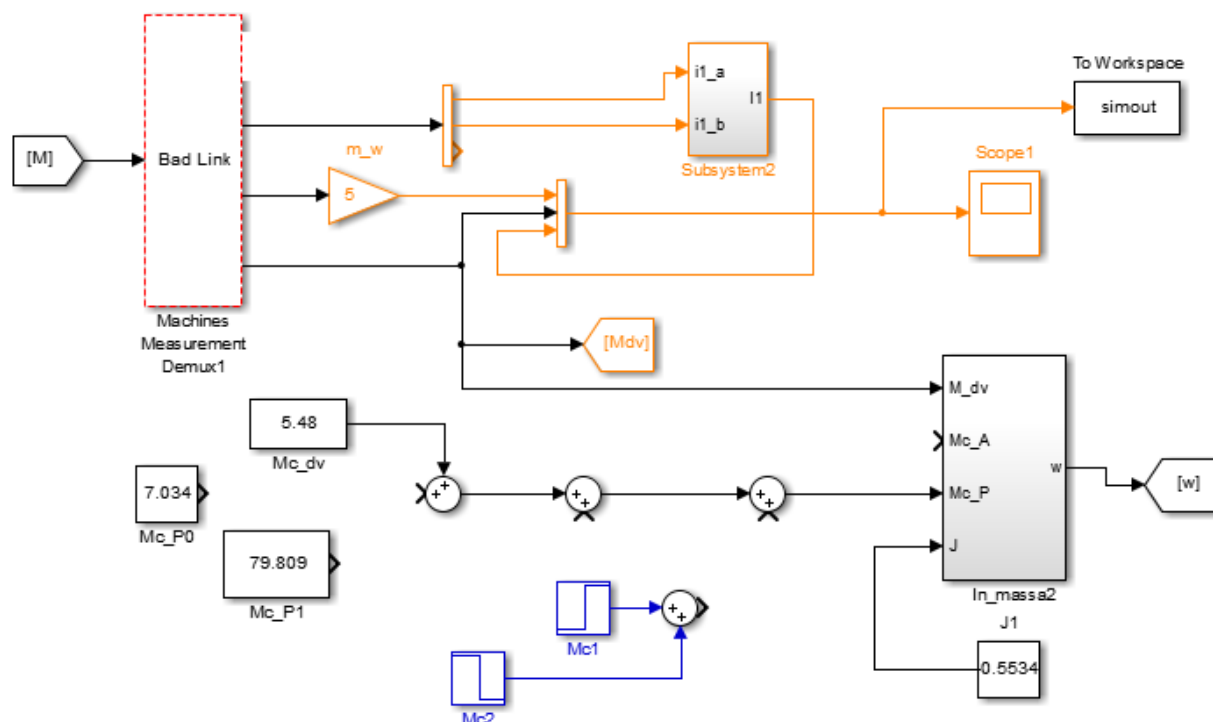


Рисунок 33 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при пуске на холостом ходу

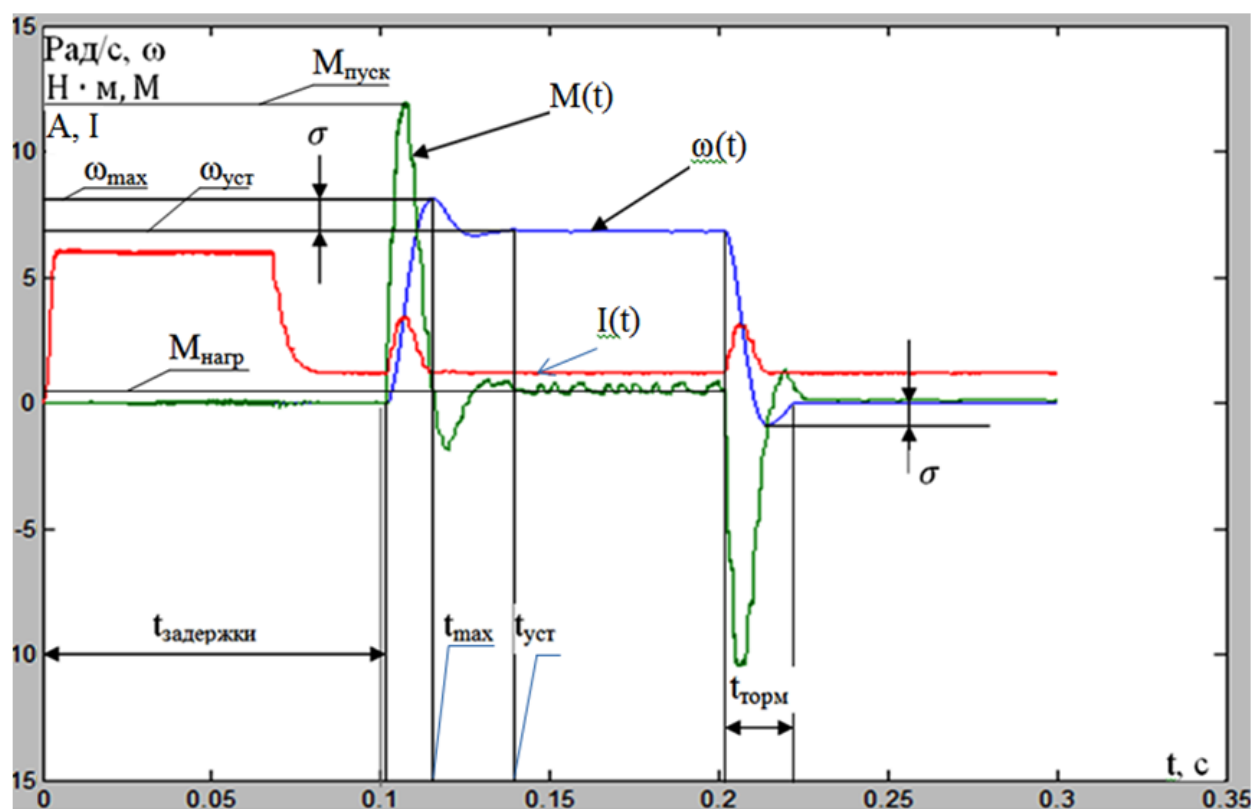


Рисунок 34 – Переходные процессы АД при пуске на холостом ходу

Переходные процессы АД при пуске на минимальной нагрузке.

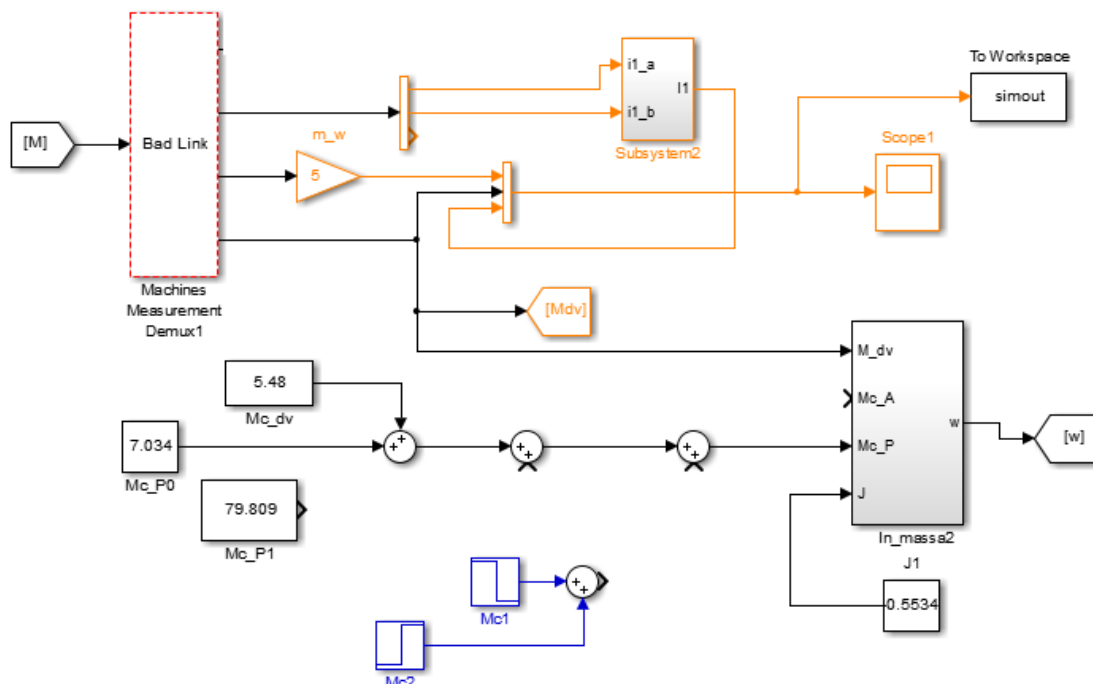


Рисунок 35 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при пуске на минимальной нагрузке

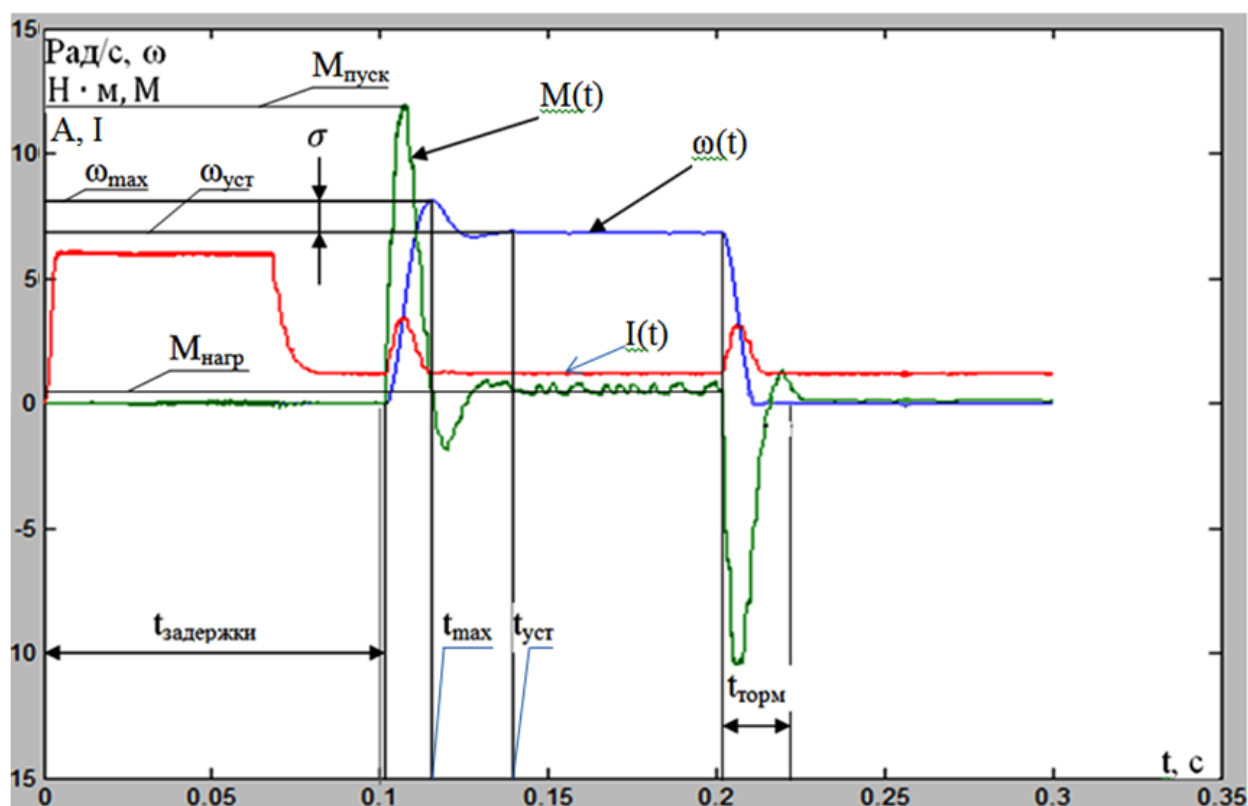


Рисунок 36 – Переходные процессы АД при пуске на минимальной нагрузке

Переходные процессы АД при пуске на полной нагрузке

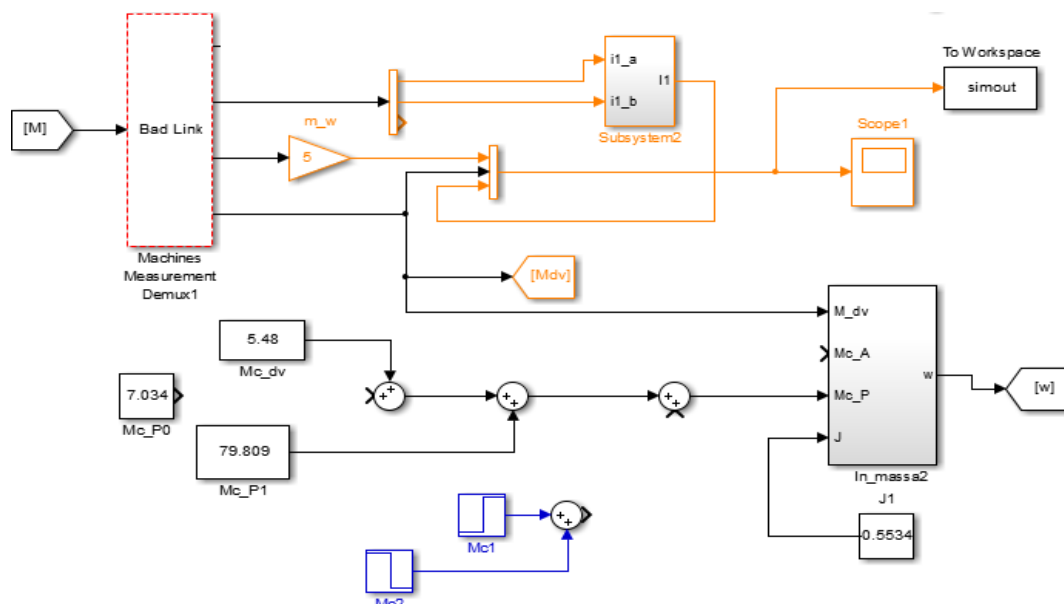


Рисунок 37 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при полной нагрузке

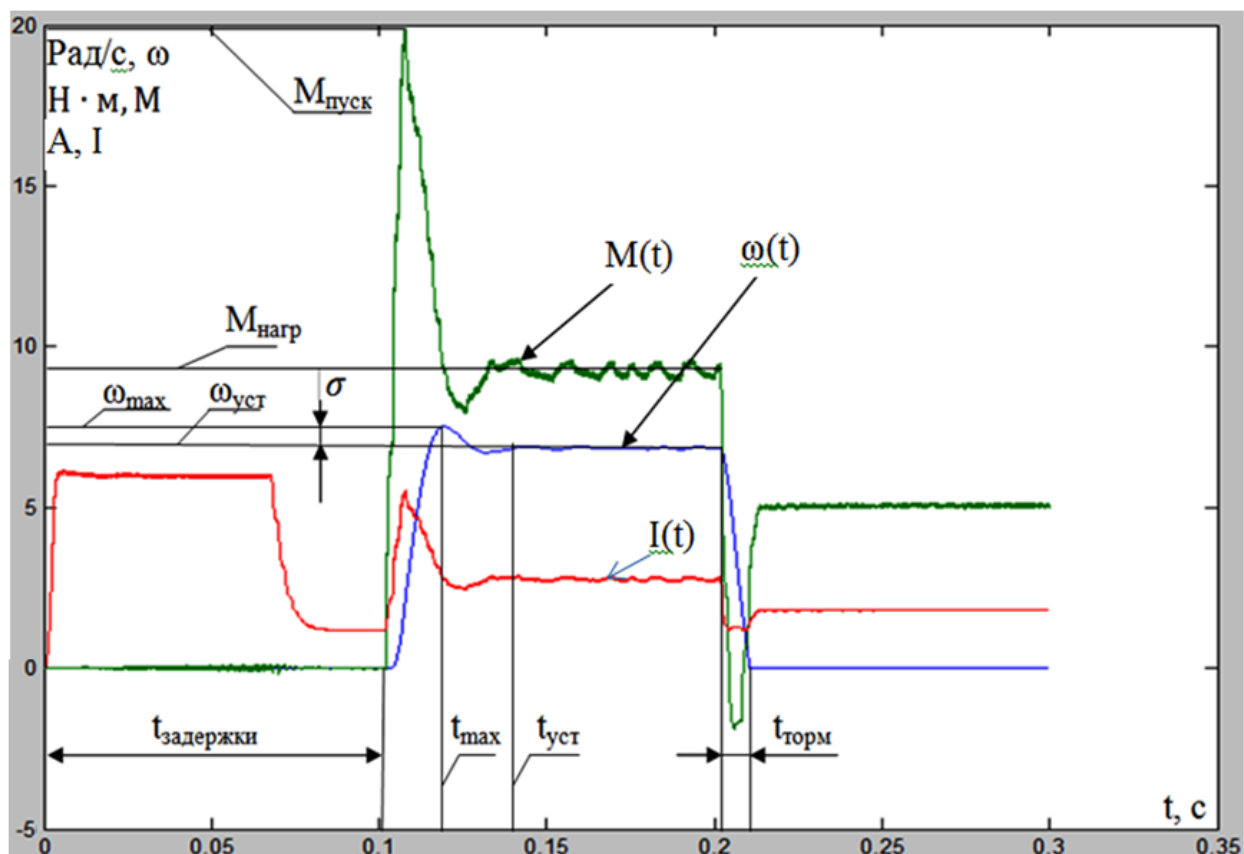


Рисунок 38 – Переходные процессы АД при полной нагрузке, напряжение сети $U_C=342 В$

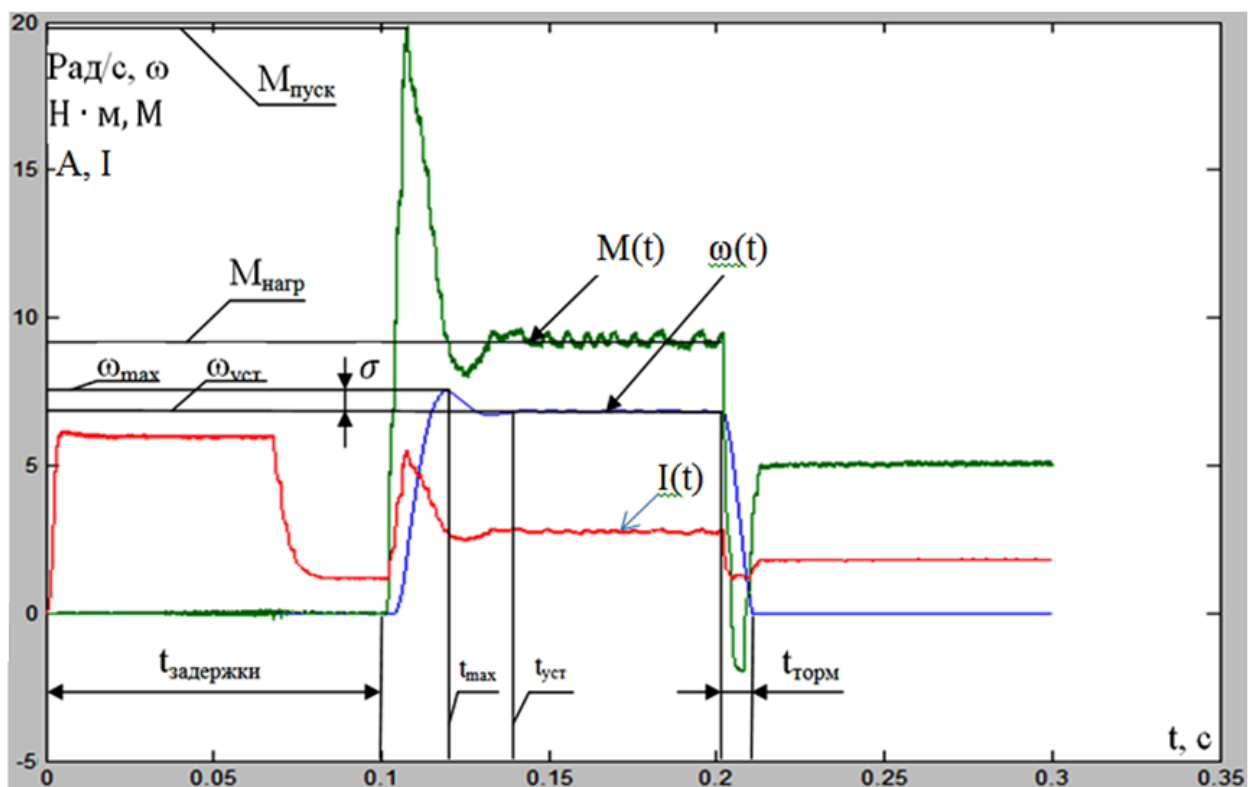


Рисунок 39 – Переходные процессы АД при полной нагрузке
напряжение сети $U_C=380 \text{ В}$

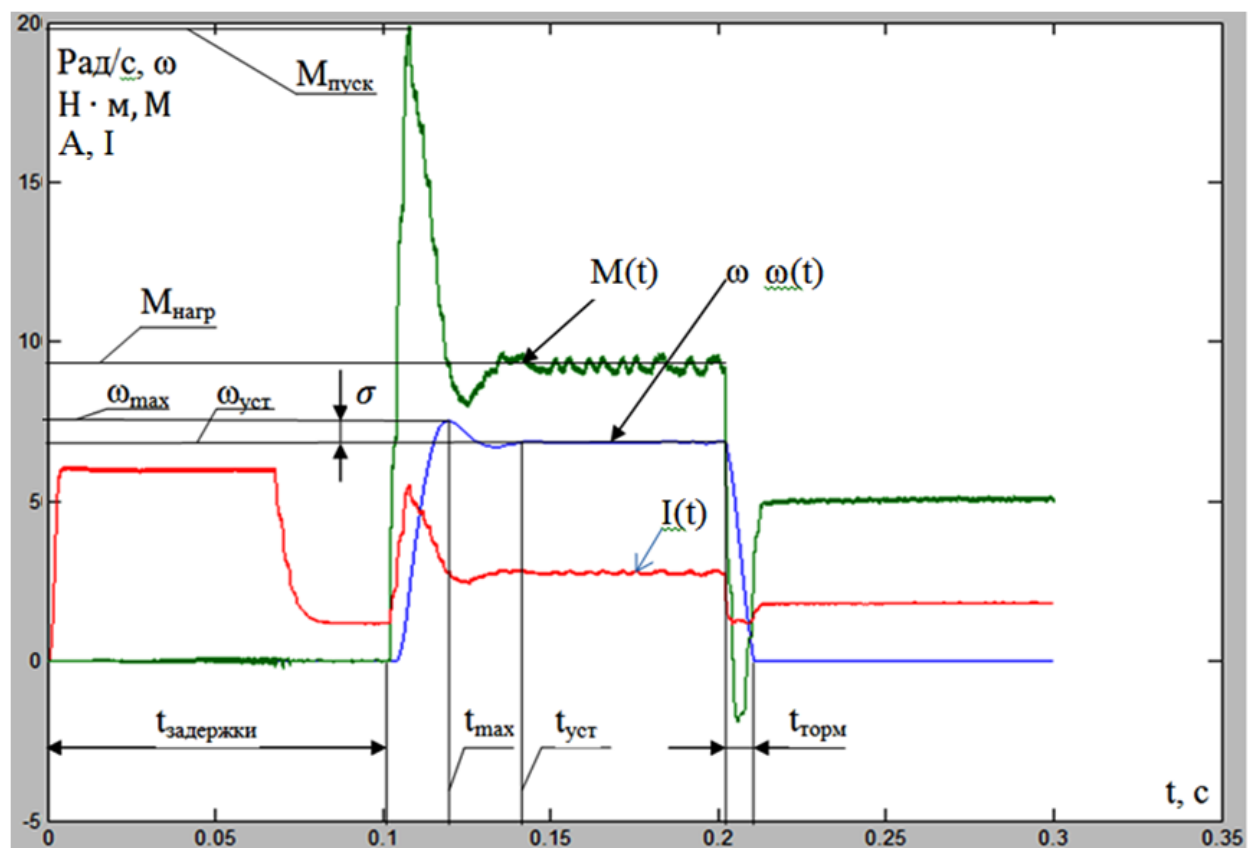


Рисунок 40 – Переходные процессы АД при полной нагрузке
напряжение сети $U_C=418 \text{ В}$

Переходные процессы АД при набросе и сбросе нагрузки на Х.Х.

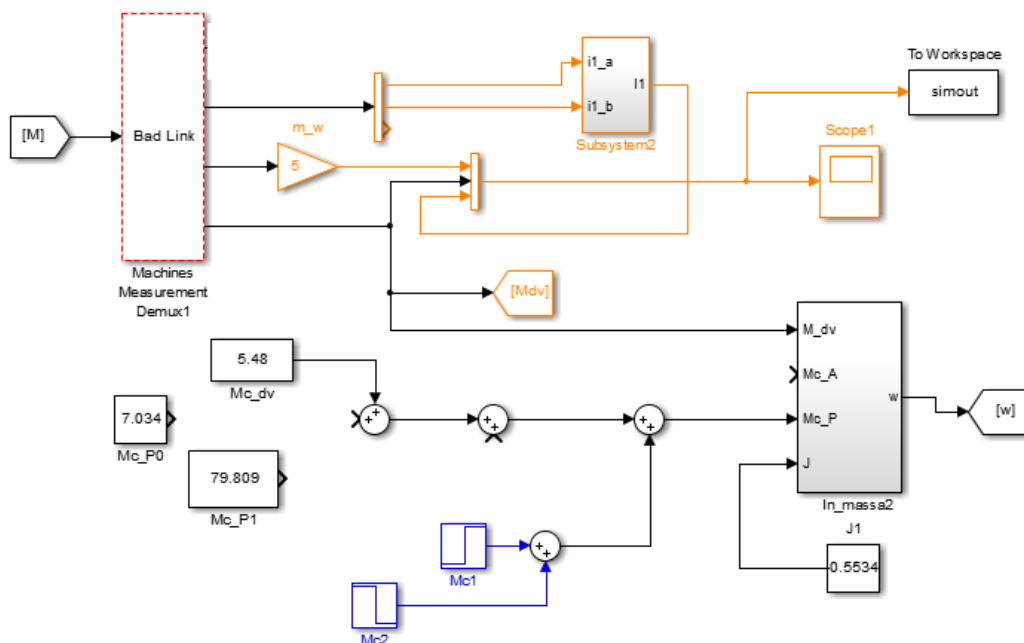


Рисунок 41 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при набросе и сбросе нагрузки на Х.Х.

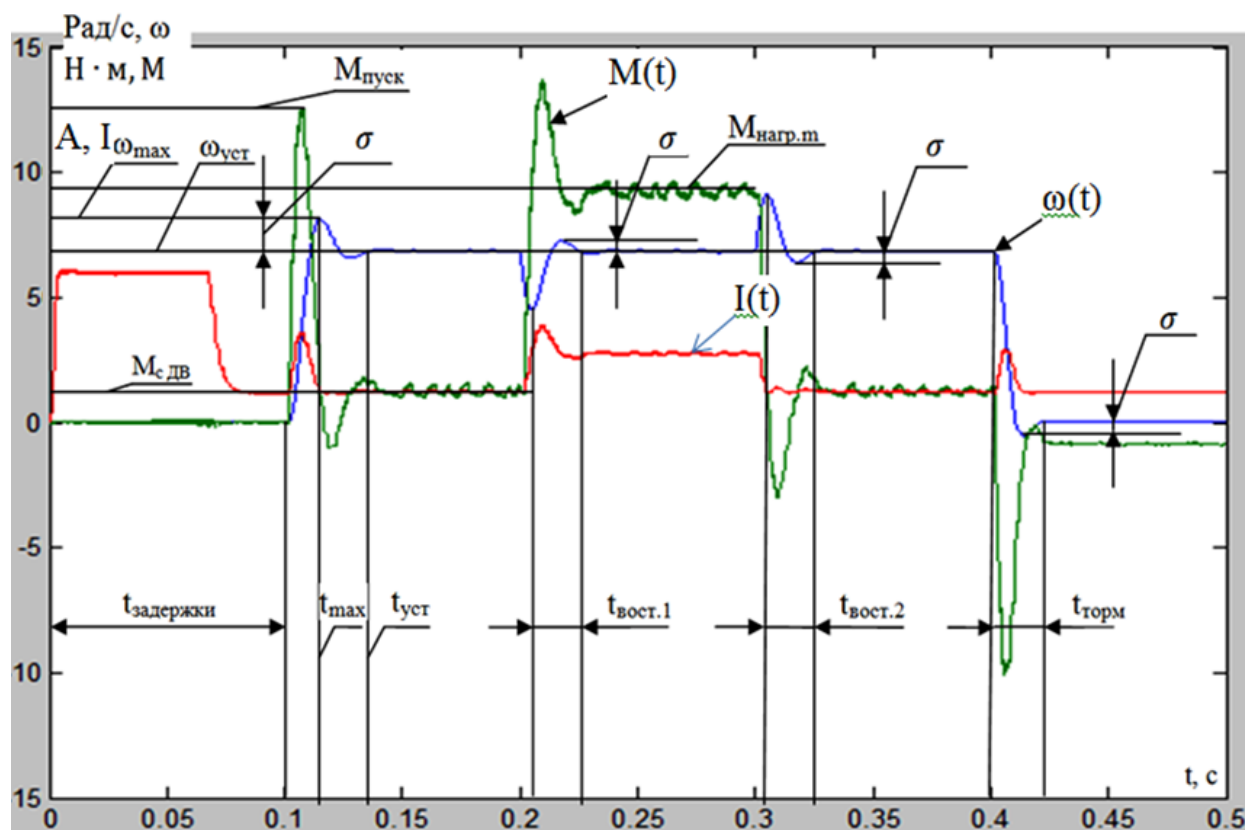


Рисунок 42 – Переходные процессы АД при набросе и сбросе нагрузки на Х.Х.

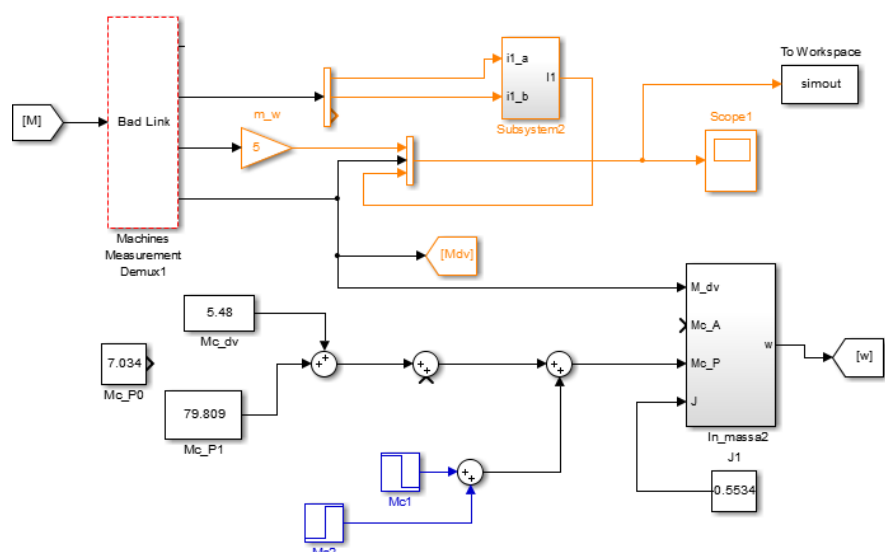


Рисунок 43 – Имитационная модель механической части силового канала системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» при сброс и наброс нагрузки на полной нагрузке

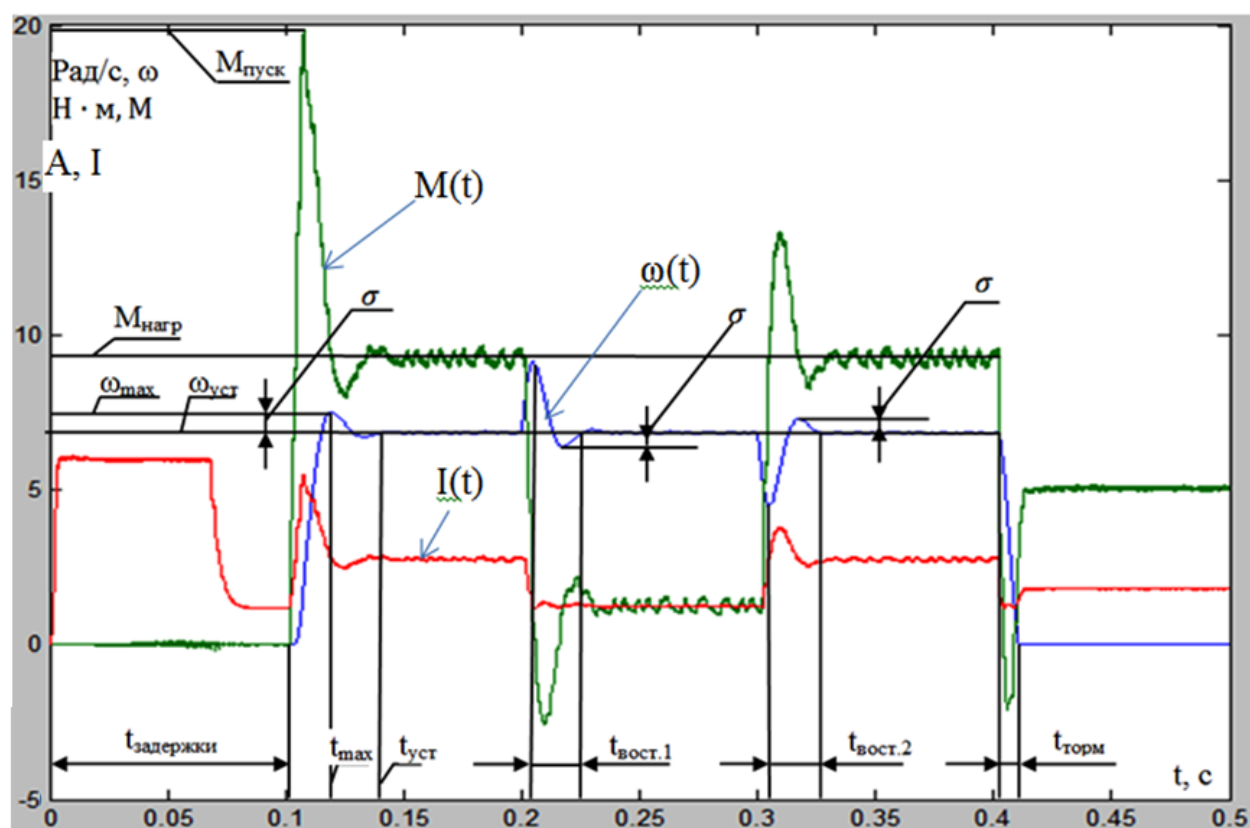


Рисунок 44 – Переходные процессы АД при сброс и наброс нагрузки на полной нагрузке

Переходные процессы АД с S – задатчиком при полной нагрузке.

Сброс и наброс нагрузки

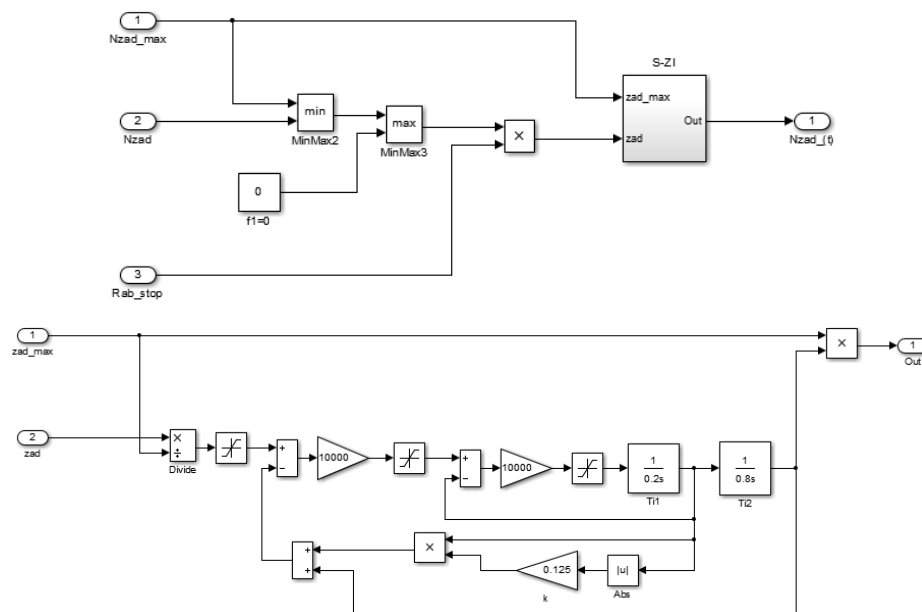


Рисунок 45 – Имитационная модель S – задатчика интенсивности

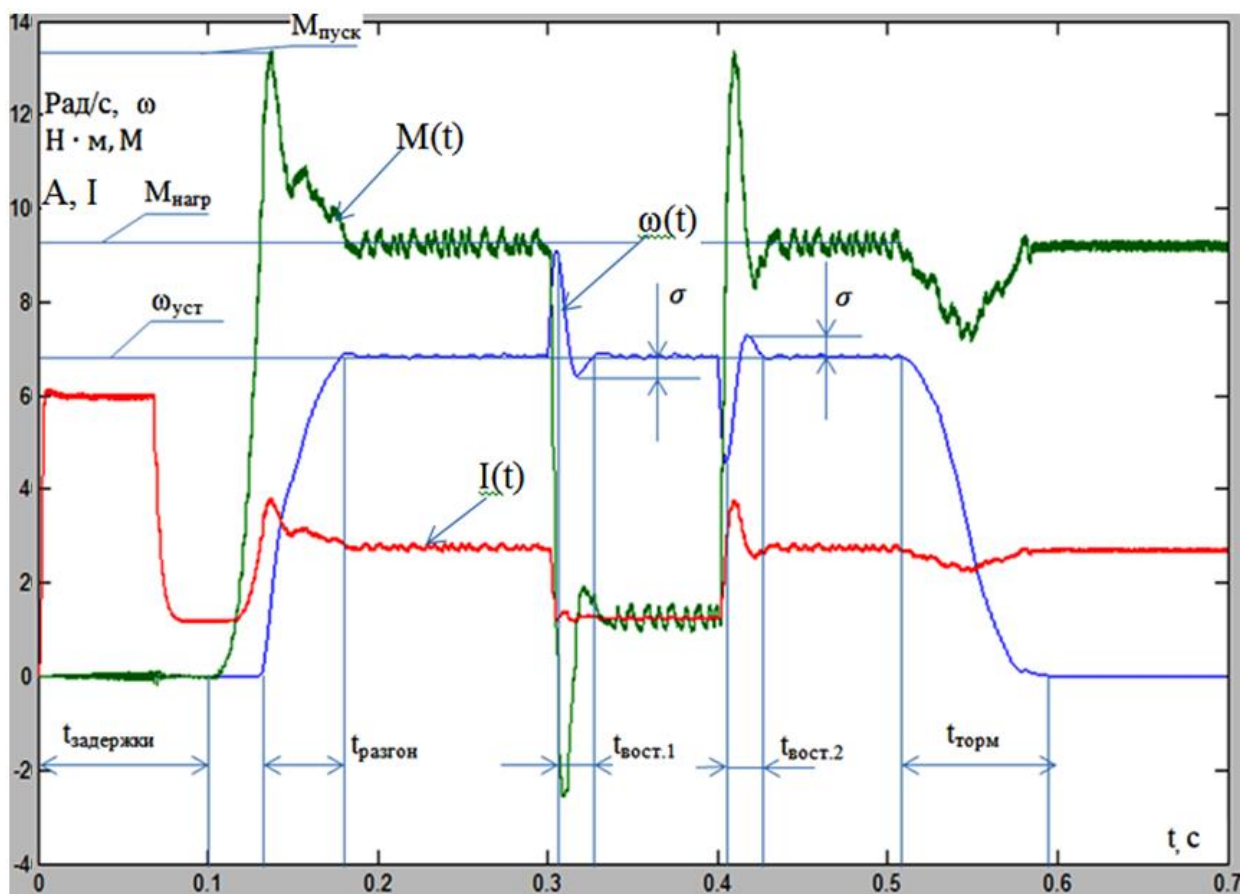


Рисунок 46 – Переходные процессы АД с S – задатчиком при полной нагрузке сброс и наброс нагрузки

5 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПРОГНОЗИРУЮЩИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Управление процессом дозирования – сложная задача, поскольку существует ряд факторов, усложняющих процесс в целом, например: нелинейность или неопределенность технологического характера процесса. Существующие математические модели, данного процесса, неточны и часто имеют много связанных между собой переменных, взаимодействующих с разной динамикой, которые часто подвержены воздействию не учтенных или намерено не взятых к рассмотрению возмущений. Так же периоды запаздывания, тяжелые условия эксплуатации и использование не высокоточных и ненадежных датчиков [16].

В свою очередь, эффективность управления процессом дозирования оказывает влияние на увеличение производительности (пропускной способности) и повышает точность и, как в следствии, качество конечного продукта. Все это ведет к снижению производственных затрат, в частности, к энергосбережению, что очень актуально в настоящее время [17]. Процесс дозирования считается энерго- и материалоемких технологических циклов и поэтому для снижения затрат, в этом процессе применяют автоматизированные системы управления АСУ [18].

Для управления данным процессом можно воспользоваться предиктивными моделями. В таких моделях используется спрогнозированная реакция объекта, на разного рода помехи или воздействия. Обратная связь в подобных системах управления используется для внесения поправки неточности, возникающих из-за внешних помех и не точностей математической модели самого объекта. Регулирование основывается на эмпирической модели процесса для того, чтобы предсказать последующее поведение, базирующееся на уже полученных данных. Сама модель управления чаще всего берется линейной или линеаризуется [16].

5.1 Разработка прогнозирующего управления

В работе продумано прогнозирующее управление на основе импульсных характеристиках конечной длительности КИХ с ограничением на входе и на выходе. Основным данным модуля является фильтр нарушений по постоянной мощности. Проблема регулятора построенного на КИХ решается программным квадратичным программированием КП, преобразование целевой функции в стандартную формулу. КП решается при помощи алгоритма основанного на методике внутренней точки. Для реализации данной системы можно воспользоваться моделью однополюсного двухпозиционного переключателя с несколькими входами и выходами (MIMO) и нулевой передаточной функцией. Для оценки нарушений можно применить оценочную модель, основанную на решении задач оптимизации. Системы модели предиктивного управления (УПМ) состоит из оценочной модели и регулятора, как показано на рисунке 47. На вход УПМ будут заданные значения координаты, r , выходной координатой будут значения, z , и координатой измеренных выходных значений, y . Выходные параметры УПМ будут координатой значений после регулятора, u .

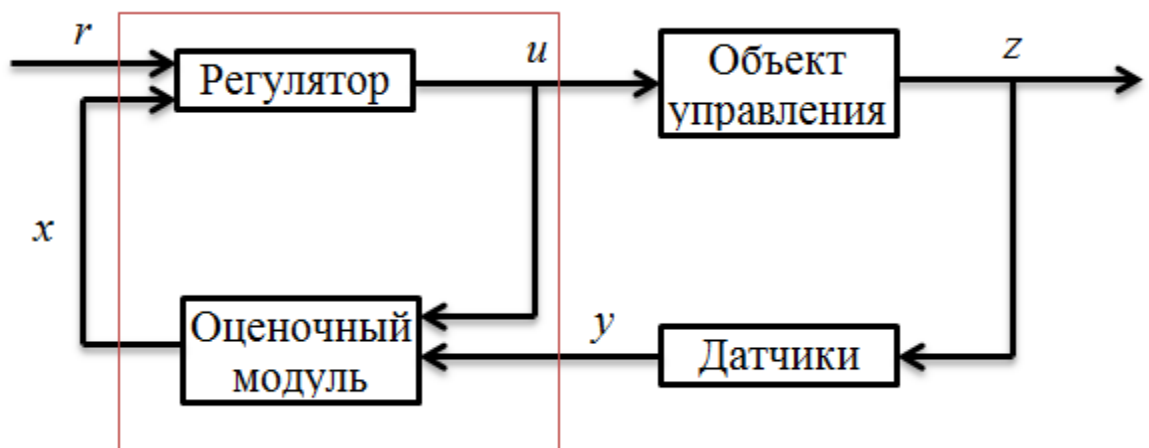


Рисунок 47 – Структура системы прогнозирующего управления УПМ

5.2 Дозирующая установка и измерительные устройства

Строим линейную систему пространства состояний:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + B_d \cdot d_k + Gw_k \cdot x_{k+1} \quad (5.2.1)$$

$$z_k = Cx_k \quad (5.2.2)$$

где x – состояние процесса;

u – регулируемые переменные;
 d – не измеряемые возмущения;
 w – шумы;
 z – управляемые переменные.

Измеренные выходные координаты, y , являются регулируемые выходными координатами, z , с помехами при измерении, v , поэтому:

$$y_k = z_k + v_k \quad (5.2.3)$$

Изначальное состояние, шумы процесса и помехи при измерении будут нормально распределенными векторами:

$$x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_0) \quad (5.2.4)$$

$$w_k \sim N_{iid}(0, Q) \quad (5.2.5)$$

$$v_k \sim N_{iid}(0, R) \quad (5.2.6)$$

где y – сигнал ОС, используемый оценочным модулем;

u – сигнал системы управления, выполненные по установке.

5.3 Регулятор

Устойчивый процесс представленные в режиме КИХ

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i \cdot u_{k-i} \quad (5.3.1)$$

где $\{H_i\}_{i=1}^n$ – коэффициент модуля оценки;

b_k – расхождение между прогнозируемыми и действительными выходными координатами.

С помощью модели КИХ, задача отслеживания выходных координат с входными ограниченными можно представить, как:

$$\min_{\{z, u\}} \varphi = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} ((z_{k+1} - r_{k+1})_{Q_z}^2 + (\Delta u_k)_S^2) \quad (5.3.2)$$

Отсюда:

$$z_k = b_k + \sum_{i=1}^n H_i \cdot u_{k-i} \quad k = 1, \dots, n \quad (5.3.3)$$

$$u_{\min} \leq u_k \leq u_{\max} \quad k = 1, \dots, n - 1 \quad (5.3.4)$$

$$\Delta u_{\min} \leq \Delta u_k \leq \Delta u_{\max} \quad k = 1, \dots, n-1 \quad (5.3.5)$$

$$z_k \leq z_{\max} + \eta_k \quad k = 1, \dots, n \quad (5.3.6)$$

$$z_{\min} - \eta_k \leq z_k \quad k = 1, \dots, n \quad (5.3.7)$$

При этом $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$ и Q_z , S и R – это веса регуляризации, а $(z_{k+1} - r_{k+1})Q_z^2$ – общее представление нормы метода наименьших квадратов по весу.

Тогда получаем

$$((z_{k+1} - r_{k+1})Q_z^2 - (z_{k+1} - r_{k+1}) \cdot Q_z \cdot (z_{k+1} - r_{k+1})^T) \quad (5.3.8)$$

Координаты, отвечающие за контроль и прогнозирование схожи. При необходимости координату горизонта прогнозирования можно сделать длиннее, чем координату горизонта управления. Но лучше координату управления подбирать такую, чтобы эффекты в гонце горизонта, не оказывали влияния на расчеты в начале координаты и могли быть изменены в ограниченную линейно-квадратичную задачу управления.

5.4 Определение квадратичной программы КИХ регулятора

Находим вектора Z , R , U :

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix} \quad U = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \\ \vdots \\ u_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.4.1)$$

Прогноз модели импульсной характеристики

$$Z = c + \Gamma \cdot U \quad (5.4.2)$$

При случае $N=6$ и $n=3$, Γ имеет вид

$$R = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_3 & H_2 & H_1 \end{bmatrix} \quad (5.4.3)$$

И с выглядит, как

$$c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 + (H_2 \cdot u_{-1} + H_3 \cdot u_{-2}) \\ b_2 + (H_3 \cdot u_{-2}) \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} \quad (5.4.4)$$

Главная функция

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} ((z_{k+1} - r_{k+1})_{Q_z}^2 + (\Delta u_k)_S^2) \quad (5.4.5)$$

Задача УПМ регулятора с КИХ можно реализовать, определением выпуклого квадратичного программирования.

$$\min_{\{u\}} \varphi = \frac{1}{2} \cdot U' \cdot H \cdot U + g' \cdot U \quad (5.4.6)$$

Тогда:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max} \quad (5.4.7)$$

Где:

$$U_{\min} = \begin{bmatrix} U_{\min} \\ U_{\min} \\ \vdots \\ U_{\min} \end{bmatrix} \quad U_{\max} = \begin{bmatrix} U_{\max} \\ U_{\max} \\ \vdots \\ U_{\max} \end{bmatrix} \quad (5.4.8)$$

$$U^* = [(U^*_0)' \cdot (U^*_1)' \cdots (U^*_{n-1})'] \quad (5.4.9)$$

U^*_0 первым реализуется в процессе, во время последующей выборки, уже при новых измерениях, определяется оптимизация с новой информацией.

5.5 Модель оценки

Для получения данных без смещения, возникающего из-за реакции по возмущению, в контур ОС устанавливают интегратор. Этого добиваются применяя КИХ с разносным перемещением.

$$\Delta y_k = \Delta z_k = e_k + \sum_{i=1}^n H_i \cdot u_{k-1} \quad (5.5.1)$$

Δ представляет собой обратную разность оператора, т.е. $\Delta y_k = y_k - y_{k-1}$, $\Delta z_k = z_k - z_{k-1}$, $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$. Аналогично модели КИХ

$$y_k = z_k = \hat{b}_k + \sum_{i=1}^n H_i \cdot u_{k-1} \quad (5.5.2)$$

$$\hat{b}_k = \hat{b}_{k-1} + e_k \quad (5.5.3)$$

При этом $\hat{b}_k$ задатчика оптимизируется в каждый момент времени. Следствие этого постоянно появляющиеся помехи на выходе.

5.6 Разработка автоматизированной системы управления для дозирующей установки

АСУ в системе дозирования предназначено для моделирования схемы отношений входных и выходных переменных координат и для корректного управления УПМ с ограничениями. В данной работе угловая скорость электропривода шнекового питателя и угловая скорость электропривода ленточного конвейера, будут входными координатами, а масса весового стакана в качестве выходной координаты, так как именно эти параметры оказывают существенное влияние на технологический процесс дозирования сыпучих веществ.

Работа УПМ заложена оптимизация с конечными интервалами моделей. Время измерения t , показывает текущее состояние моделей технологического процесса и после стоит последующая база управления для снижения затрат по средствам числового алгоритма понижения для отработанного промежутка времени в последующем цикле работы n . Так же необходим расчет для оценивания рассчитанной траектории прогнозирования N и определения плана управления для снижения потерь на период управления в целом.

Так реализуем первичный шаг по управлению, после проводится повторное измерение всех переменных установки, при этом все расчеты повторяются с текущего момента, при этом получаем новые траектории управления и прогнозирования. Координата прогнозирования со временем увеличивается. Такое прогнозирование использует модели КИХ. Возмущения,

возникающие при таком управлении, оцениваются через оценочные функции. Применяя в системе с нулевой передаточной функцией SOPDT, можем оценить уровень шумов при работе оценочных функций.

Следующим шагом идет расчет передаточных функций, и определение ограничений на входе и выходе системы. Проводим настройку всех параметров и расчетов для ограничения УПМ. После устанавливаем начальный режим работы для определения горизонтов прогнозирования и управления.

В системе проводится вычисление модели контроллера прогнозирования, и выставляют регулируемые координаты. После рассматривается расхождение между данными прогнозирования и действительными данными на выходе. После данные полученные на выходе подставляются в линеаризованную систему пространства состояний. И все эти действия повторяются до тех пор, пока не прогоним весь процесс моделирования целиком.

В конечном итоге все измеренные выходные и регулируемые переменные вводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Входные и выходные координаты

Входные координаты	Выходные координаты
Угловая скорость вращения электропривода шнекового питателя	масса весового стакана под первым шнековым питателем
Угловая скорость вращения электропривода ленточного конвейера	масса весового стакана под вторым шнековым питателем
	Контрольное взвешивание массы весового стакана

Функциональная схема АСУ тех. процессом дозирования представлена на рисунке 48. Основная задача системы, повышение производительности высокоточного дозирования, с помощью управления подачей вещества в весовой стакан.

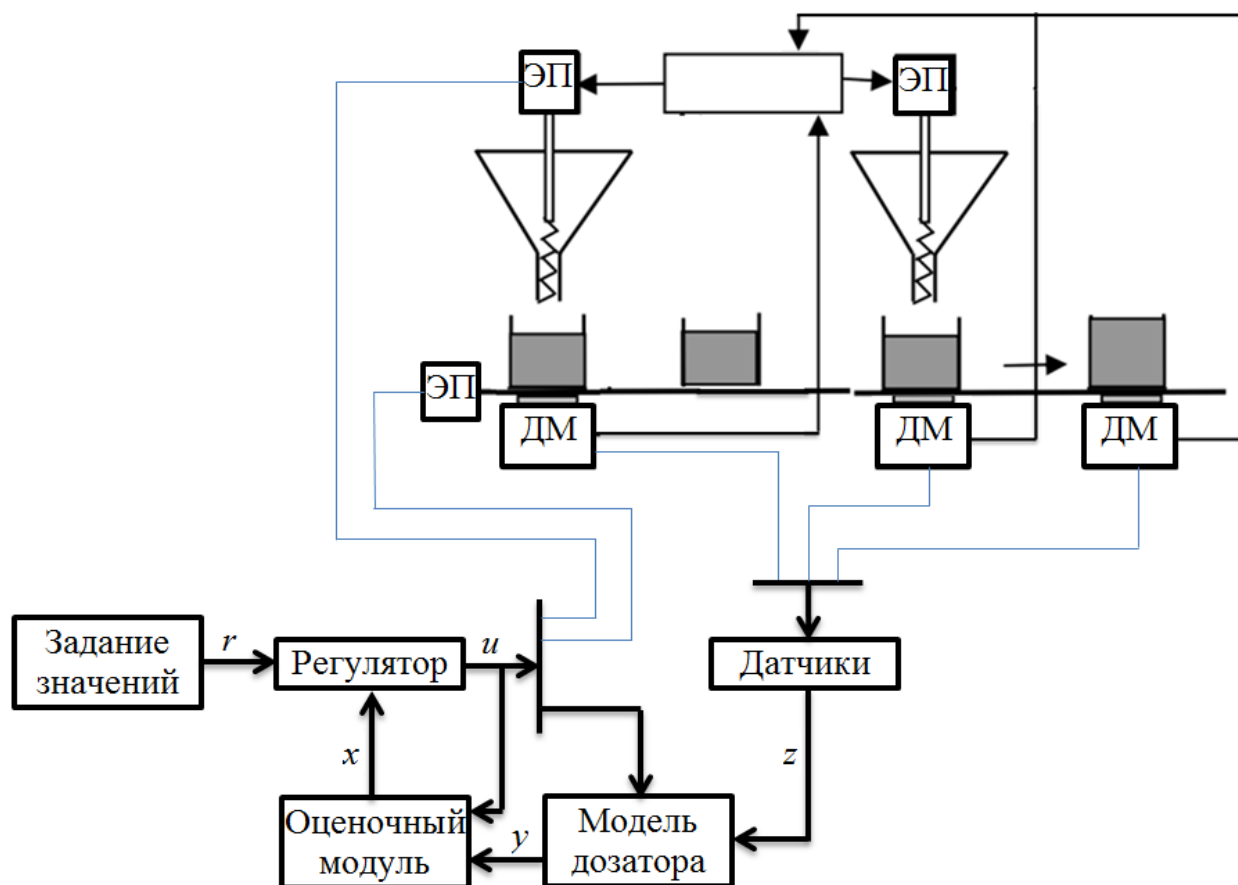


Рисунок 48 – Функциональная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом дозирования

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

6.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок: заводы занимающиеся производством продуктовой продукцией, т.к. сахар, соль, крупы и т.д. Где сортировка готовой продукции осуществляется при помощи дозирующих установок [12].

Услуги по разработке дозаторных установок направлены на любой размер компании-заказчика, но направлены на данный этому заводу определенный вид веществ.

Основные сегменты рынка:

- Агрокомбинат Тамбов крахмал – первый завод в России по производству цельнозерновой муки.
- «РУССОЛЬ» первый завод в России по снабжению потребителей высококачественной пищевой и технической солью.
- Знаменский сахарный завод первый завод в России по снабжению потребителей сахаром.

Основными сегментами, на которые необходимо ориентироваться это предприятия, представленные выше, но так же необходимо не упускать и возможность сотрудничества с более мелкими компаниями в тех же отраслях.

Привлекательными сегментами рынка для предприятия в будущем могут стать комбикормовые заводы такие как: Томский комбикормовый завод, Курский комбинат хлебопродуктов и т.д.

6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения [12].

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 6.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,09	5	2	4	0,45	0,18	0,36
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,087	5	4	4	0,435	0,348	0,348
3. Помехоустойчивость	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
4. Энергоэкономичность	0,083	4	5	4	0,332	0,415	0,332
5. Надежность	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
6. Уровень шума	0,069	5	4	3	0,345	0,276	0,207
7. Безопасность	0,083	5	5	5	0,415	0,415	0,415
8. Потребность в ресурсах памяти	0,087	5	5	5	0,435	0,435	0,435
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
10. Простота эксплуатации	0,087	5	5	5	0,435	0,435	0,435
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,083	5	5	5	0,415	0,415	0,415
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	3	4	0,75	0,45	0,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,13	5	4	3	0,65	0,52	0,39
3. Цена	0,13	5	5	5	0,65	0,65	0,65
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	5	4	4	0,55	0,44	0,44
5. Послепродажное обслуживание	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
6. Финансирование научной разработки	0,13	5	5	5	0,65	0,65	0,65
7. Срок выхода на рынок	0,14	5	5	5	0,7	0,7	0,7
8. Наличие сертификации разработки	0,12	1	5	5	0,12	0,6	0,6
Итого	1						

Для проведения данного анализа сравнение проводится с двумя действующими шнековыми дозаторами сыпучих материалов компании «Corelion K-Tron»: одношнековые дозирующие питатели серии K-CV-KQx4 и двух шнековые дозирующие питатели серии KT20.

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (5.2.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

6.3 FAST-анализ

6.3.1 Выбор объекта FAST-анализа

Объектом FAST-анализа является шнековый питатель.

6.3.2 Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

Функции объекта:

Главная функция электрический привод шнекового питателя, чья задача состоит в подаче вращательного движения шнеку, находящемуся в бункере и тем самым подавая сырье в весовой стакан, расположенный на весовой платформе.

Основные функции объекта исследования: бункер, в котором находится дозируемое вещество; шнек, посредством вращения которого, внутри бункера, сырье подается в весовой стакан. Шкаф управления, управляет ЭП шнекового питателя.

Вспомогательные функции: ленточный конвейер, который перемещает весовой стакан; панель состояния, следит за состоянием установки, снимая данные и отправляя оператору.

Таблица 7 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
ЭП шнекового питателя	2	вращение шнека	*		
Бункер	2	Базовая деталь		*	
Шнек	2	Базовая деталь		*	
Шкаф управления	1	Управление ЭП		*	
Ленточный конвейер	1	перемещает весовой ст.			*

6.3.3 Определение значимости выполняемых функций объектом

Строим матрицу смежности функции и преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций [12].

Таблица 8 – Матрица смежности

	1	2	3	4	5	Итог	Значимость функции
1 ЭП шнекового питателя	1	1.5	1.5	1	1	6	0,24
2 Бункер	0.5	1	1	0.5	0.5	3.5	0,14
3 Шнек	0.5	1	1	0.5	0.5	3.5	0,14
4 Шкаф управления	1	1.5	1.5	1	1	6	0,24
5 Ленточный конвейер	1	1.5	1.5	1	1	6	0,24
						25	1

6.3.4 Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования

Расчет стоимости функций приведен в таблице 9 [12].

Таблица 9 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Функция	Себестоимость, руб. за шт.
1 ЭП шнекового питателя	2	вращение шнека	2000
2 Бункер	2	Базовая деталь	70000
3 Шнек	2	Базовая деталь	4000
4 Шкаф управления	1	Управление ЭП	25000
5 Ленточный конвейер	1	перемещает весовой стакан	130000
			231000

6.3.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) рисунке 48 [12].

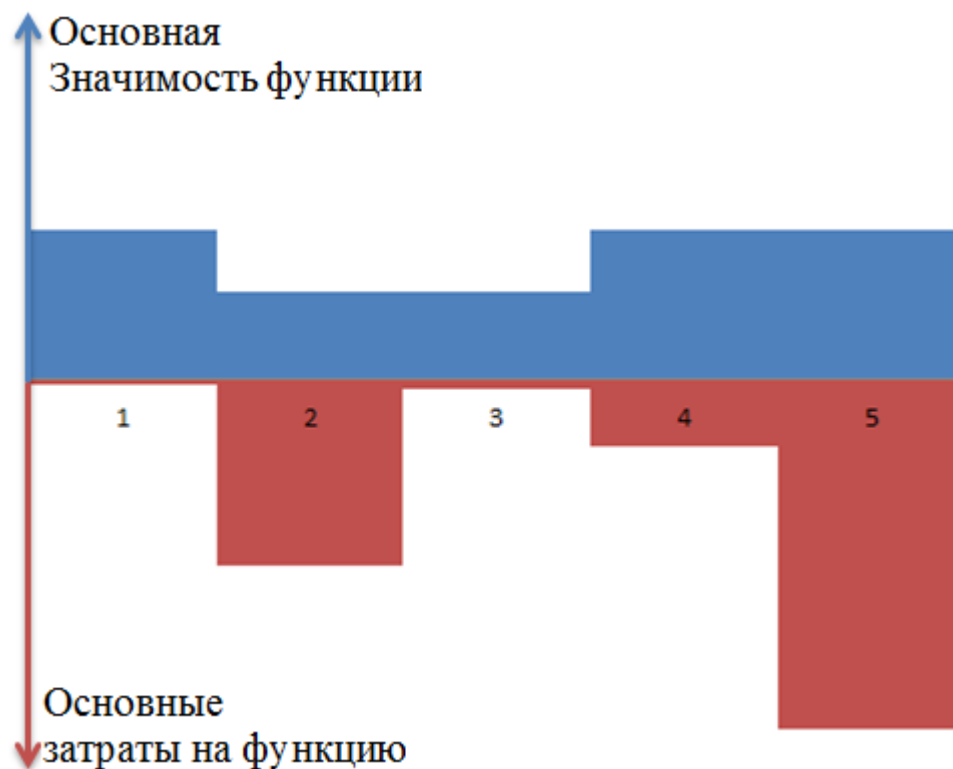


Рисунок 48 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 2, 5. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

6.3.6 Оптимизация функций выполняемых объектом

Экономия будут осуществляться за счет применения принципиально новых конструкторских решений, унификации сборочных единиц и деталей, совмещения функций в сборочных единицах и деталях. Возможное применение новых техпроцессов, заготовок и материалов [12].

В результате проведения FAST-анализа выявлено, что снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигнуто путем повышения качества при сохранении уровня затрат, а так же уменьшения затрат при сохранении уровня качества, сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня. Повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

6.4 Диаграмма Исикава

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления [12].

Причинно-следственная диаграмма представлена на рисунке 49.



Рисунок 49 – Пример причинно-следственной диаграммы

6.5 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 [12].

Таблица 10 – SWOT-анализ

Сильные стороны	Слабые стороны
1. Повышение производительности труда пользователя. 2. Экономичность и энергоэффективность технологии. 3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими подобными технологиями.	1. Отсутствие прототипа научной разработки. 2. Недостаточная квалификация кадров по работе с научной разработкой. 3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. 4. Отсутствие лабораторной установки.

Возможности	Угрозы
1. Использование ресурсной научной базы ТПУ. 2. Использование информации по аналогичным наработкам в интернете. 3. Использование информации от предприятия заказчика. 4. Использование информации выложенной в общий доступ компаниями, занимающимися подобными разработками.	1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. 2. Отсутствие спроса на новые технологии производства. 3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. 4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.

6.6 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня ее завершения. Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 11 [12].

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2

Таблица 12 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации. Продолжение

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	2
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	2
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	2
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	27	35

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (5.6.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

6.7 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, одnorазовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания [12].

Для коммерциализации объекта исследования и обоснования его целесообразности, были проработаны следующие методы коммерциализации научной разработки.

- 1) Торговля патентными лицензиями.
- 2) Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Были выбраны два метода коммерциализации, поскольку они являются менее затратными.

6.8 Управления научно-техническим проектом

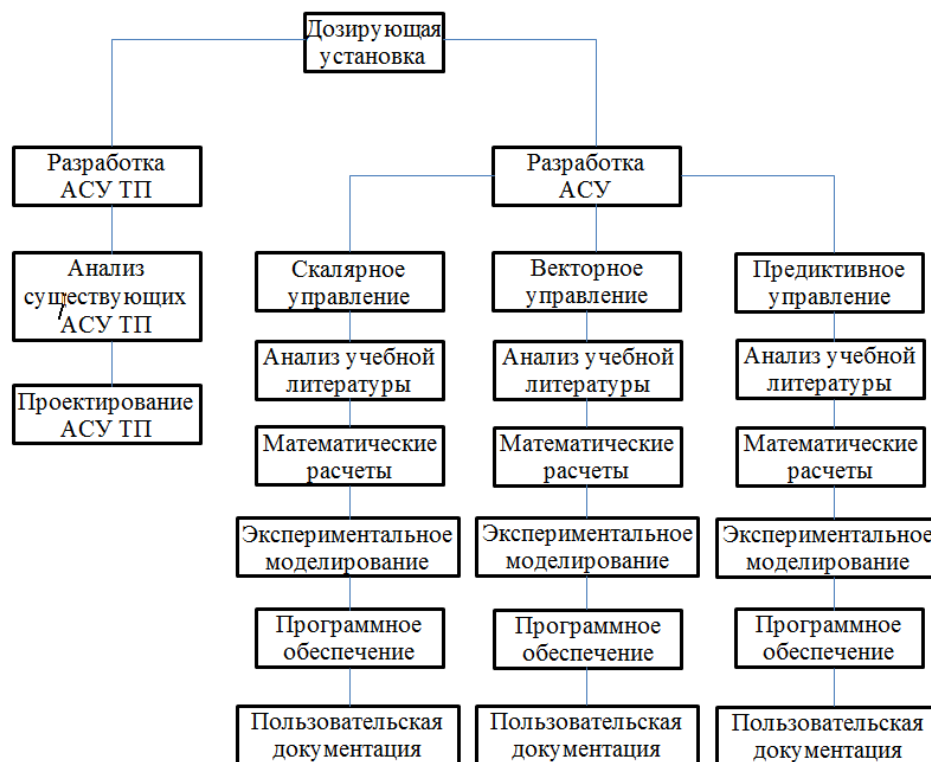


Рисунок 50 – Иерархическая структура работ проекта

6.9 Контрольные события проекта

Таблица 13 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Составление АСУ ТП	21.11.2015	Документ в формате Word
2	Разработка АСУ со скалярным управлением	10.12.2015	Документ в формате Word
3	Разработка АСУ с векторным управлением	17.12.2015	Документ в формате Word
4	Разработка АСУ с предиктивным управлением	23.12.2015	Документ в формате Word
5	Статья на конференцию	15.05.2016	Публикация

6.10 План проекта

Таблица 14 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Выбор направления исследования	1	02.09.15	02.09.15	Ляпунов Д.Ю., Казаков Е.П.
2	Составление технического задания	1	03.09.15	03.09.15	Ляпунов Д.Ю.
3	Изучение литературы	10	03.09.15	13.09.15	Казаков Е.П.
4	Составление АСУ ТП	79	04.09.15	21.11.2015	Букреев В.Г., Казаков Е.П.
5	Разработка АСУ со скалярным управлением	92	10.09.15	10.12.2015	Чернышев А.Ю., Казаков Е.П.
6	Разработка АСУ с векторным управлением	93	16.09.15	17.12.2015	Удут Л.С., Казаков Е.П.
7	Разработка АСУ с предиктивным управлением	44	10.11.15	23.12.2015	Глазырин А.С., Казаков Е.П.
8	Статья на конференцию	1	15.04.16	15.04.2016	Ляпунов Д.Ю., Казаков Е.П.

6.11 Заработная плата

Статья ЗП:

$$C_{ЗП} = C_{Осн.} + C_{Доп.} = 74286,01 + 7428,6 = 81714,61 \text{ Руб.} \quad (5.11.1)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата:

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{дн.}} \cdot T_{\text{раб.}} = 905,93 \cdot 82 = 74286,01 \text{ Руб.} \quad (5.11.2)$$

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

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{6278,59 \cdot 11,2}{222} = 905,93 \text{ Руб.} \quad (5.11.3)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 20).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	96	96
- праздничные дни	19	19
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	28
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	222	222

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 6278,59 \cdot (0,1 + 2,1) \cdot 1,3 = 17956,77 \text{ Руб.} \quad (5.11.4)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{б,}$ руб.	$k_{п}$ р	$k_{д}$	$k_{р}$	$З_{м,}$ руб.	$З_{дн,}$ руб.	$T_{р,}$ раб. дн.	$З_{осн,}$ руб.
Руководитель	23264,86	0,1	1,15	1,3	37805,4	1907,3	82	156398,55
Инженер	6278,59	0,1	2,1	1,3	17956,77	905,93	82	74286,01

Дополнительная заработная плата:

$$З_{доп.} = З_{осн.} \cdot k_{доп.} = 74286,01 \cdot 0,1 = 7428,6 \quad (5.11.5)$$

где $З_{доп.}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп.}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{осн.}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	156398,55	74286,01
Дополнительная зарплата	15639,86	7428,6
Итого по статье $C_{зп}$	172038,4	81714,61

Отчисления на социальные нужды:

$$C_{внеб.инженер} = k_{внеб.} \cdot (З_{осн.} \cdot З_{доп.}) = 0,2 \cdot 81714,61 = 16342,92 \quad (5.11.6)$$

$$C_{внеб.руковод} = k_{внеб.} \cdot (З_{осн.} \cdot З_{доп.}) = 0,2 \cdot 172038,4 = 34407,68 \quad (5.11.7)$$

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

6.12 Матрица ответственности

Таблица 18 – Матрица ответственности

Этапы проекта	И/магистрант	О/ Букреев В.Г.	О/ Чернышев А.Ю.	О/ Удуд Л.С.	О/ Глазырин А.С.	С/Руководитель
Изучение литературы	*					
Составление АСУ ТП	*	*				*
Разработка АСУ со скалярным управлением	*		*			*

Разработка АСУ с векторным управлением	*			*		*
Разработка АСУ с предиктивным управлением	*				*	*
Статья на конференцию	*					*

На основании сравнения конкурентного технического решения по повышению показателей качества дозирования сыпучих веществ, принято решение, о целесообразности проведения разработки. Однако, детальная оценка экономической эффективности, выходит за пределы данного исследования и нуждается в дальнейшей проработке.

7 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Вредные и опасные производственные факторы

Вредные и опасные производственные факторы, соответствующие производственным площадкам на заводах по производству сахара или соли, представлены в таблице 20 согласно ГОСТ 12.0.003-74 [13].

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ на производственных площадках по производству сахара и соли.

Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативные документы
	Вредные	
1	2	3
Работа со шнековым дозатором и ленточным конвейером	1. Повышенная запыленность воздуха в рабочей зоне;	ГОСТ 12.1.005-88
	2. Повышенный уровень шума на рабочем месте;	ГОСТ 12.1.003-83
	3. Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточное освещение рабочего места.	СНиП 23-05-95
Опасные		
Работа со шнековым дозатором и ленточным конвейером	1. Движущееся оборудование и механизмы, подвижные части производственного оборудования;	ГОСТ 12.2.062-81
	2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ

Движущееся оборудование и механизмы, подвижные части производственного оборудования

Требования безопасности к применению ограждений в зависимости от расположения опасных элементов устанавливает стандарт ГОСТ 12.2.062-81.

Все выступающие вращающиеся илидвигающиеся части производственного оборудования должны быть надежно ограждены или закрыты кожухами, конструкция которых обеспечит возможность наблюдения за движущимися органами механизмов. Ограждения не должны ограничивать технологических возможностей оборудования и его обслуживания. На наружную сторону ограждения наносят или крепят предупреждающий знак [1].

Повышенная запыленность воздуха в рабочей зоне

Нормативные документы о допустимой концентрации в воздухе частиц, в воздухе рабочей зоны производственных помещений [1]:

- ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.005-88;

- Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий.

- СН 245-71;

- Строительными нормами и правилами 2.04.05-86.

В воздухе рабочей зоны производственных помещений устанавливается предельно допустимые концентрации вредных веществ. Необходимость соблюдения ПДК требует систематического контроля, за фактическим содержанием пыли на рабочих местах. В соответствии с указанными выше документами содержание пыли в воздухе, подаваемом в помещения не должно превышать 0,3 ПДК для рабочей зоны, а в вентиляционных выбросах, содержание пыли, не должно превышать значений, указанных в таблице 21:

Таблица 21 – Нормы запыленности воздуха в рабочей зоне

ПДК в рабочей зоне помещения, мг/м³	Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу
Менее 2	30
2-4	60
4-8	80
8-10	100

Для обеспечения требований к качеству воздуха осуществляется следующими технологическими мероприятиями:

- Максимальная герметизация пылящего оборудования;
- Автоматизация технологического процесса с целью исключения ручного труда и вывода рабочих из загрязненных зон;
- Применение противопыльной вентиляции;
- Использование высокоэффективных средств пылегазоулавливания для отчистки вентиляционного воздуха;
- Систематическое удаление пыли с поверхностей с помощью передвижных пылевакуумных систем;

- Рациональная планировка промышленных площадок с учетом розы ветров.

Повышенный уровень шума на рабочем месте

Для защиты человека от неблагоприятного воздействия шума необходимо регламентировать его интенсивность, спектральный состав, время воздействия. Эту цель преследует санитарно-гигиеническое нормирование [1].

Нормирование допустимых уровней шума для производств основывается на документе: ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

Допустимые уровни постоянного шума на рабочих местах приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Нормы шума на рабочем месте

Относительная доза, %	Эквивалентные уровни звука, дБа						
	Время действия						
	8ч	4ч	2ч	1ч	30 мин	15 мин	7 мин
3.2	70	73	76	79	82	85	88
100	85	88	91	94	97	100	103
3200	100	103	106	109	112	115	118

В настоящее время, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Классификация», существуют следующие средства защиты от повышенного уровня шума на рабочем месте:

- звукоизолирующие, звукопоглощающие материалы;
- глушители шума;
- оградители шума;
- глушители шума;
- автоматического контроля и сигнализации.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которое может пройти через тело человека

Оборудование, находящееся в пределах рабочей площадки, работает от электрического тока. Как следствие, существует вероятность поражения

электрическим током рабочего. Проходя через человека электрический ток воздействует на организм следующим образом:

- Биологическое воздействие.

Выражается в раздражении и возбуждении живых клеток организма, что приводит к непроизвольным судорожным сокращениям мышц, нарушению нервной системы, органов дыхания и кровообращения. При этом могут наблюдаться обмороки, потеря сознания, расстройство речи, судороги, нарушение дыхания. Тяжелая электротравма нарушает функции мозга, дыхания, сердца до полной их остановки, что приводит к гибели пострадавшего. Наиболее частой причиной смерти от электротравмы является фибрилляция желудочков сердца, при которой нарушается сократительная способность мышц сердца.

- Электролитическое воздействие.

Проявляется в разложении плазмы крови и др. органических жидкостей, что может привести к нарушению их физико-химического состава.

- Термическое воздействие.

Сопровождается ожогами участков тела и перегревом отдельных внутренних органов, вызывая в них различные функциональные расстройства. Ожоги вызываются тепловым действием электрического тока или электрической дуги.

В настоящее время, согласно ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Классификация», существуют следующие средства защиты от повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека:

- оградительные устройства;
- устройства автоматического контроля и сигнализации;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления и зануления;
- устройства автоматического отключения;
- устройства выравнивания потенциалов и понижения напряжения;

- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства;
- молниеотводы и разрядники;
- знаки безопасности.

Отсутствие или недостаток естественного света, недостаточное
освещение рабочего места

Комфортные условия труда во многом зависят от освещения производственных помещений. Рациональное освещение повышает безопасность работ и производительность труда. Несоответствие нормативным показателям освещения или неправильная установка источников света могут быть причиной быстрой утомляемости работающих, а также несчастного случая.

Всеобщим межотраслевым документом, содержащим нормы естественного и искусственного освещения предприятий, является СНиП 23-05-95.

К системам освещения предъявляются следующие требования:

- Соответствие освещенности на рабочих местах характеру зрительной работы. До определенного уровня увеличение освещенности повышает производительность труда за счет улучшения условий видения объектов. Дальнейшее увеличение освещенности экономически нецелесообразно;
- Достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности. При неравномерной яркости глаз вынужден в процессе работы переадаптироваться, что ведет к утомлению зрения;
- Отсутствие резких теней на рабочих поверхностях. Резкие тени, находящиеся в поле зрения человека, искажают размеры и формы объектов различения. Это повышает утомление зрения; движущиеся тени могут привести к травмам;

- Постоянство освещенности во времени. Колебания освещенности вызывают необходимость переадаптации глаза и приводят к значительному утомлению;
- Правильная цветопередача. Спектральный состав света должен соответствовать характеру работы;
- Обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности;
- Экономичность.

Рабочее освещение обязательное во всех помещениях и на освещаемых территориях строительных площадок и участков, где выполняются те или иные работы; величина не менее 2 лк.

7.2 Микроклимат производственных помещений

Общие требования к параметрам микроклимата

Параметры микроклимата в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96 должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей производственной средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма [1].

Параметрами, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- Температура воздуха, $t^{\circ}\text{C}$;
- Температура поверхностей (стен, потолка, пола, ограждений оборудования и т.п.), $t_{\text{п}}^{\circ}\text{C}$;
- Относительная влажность воздуха, $W\%$;
- Скорость движения воздуха, $V\text{ м/с}$;
- Интенсивность теплового облучения, $P\text{ Вт/м}^2$.

Стандартами (ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96) предусмотрены два качественных уровня норм микроклимата, таблица ?:

- Оптимальные величины параметров микроклимата;
- Допустимые величины параметров микроклимата.

Оптимальные нормы параметров микроклимата установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека

(см. п. 2.6). Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта, когда человек не испытывает тепловых неудобств в течение 8-часовой рабочей смены.

В этом случае создаются благоприятные условия для высокопроизводительного труда. Оптимальные нормы являются предпочтительными на рабочих местах.

Допустимые нормы параметров микроклимата установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Таблица 23 – Нормы микроклимата по ГОСТ 12.1 005-88 и СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ	Температура воздуха, t_v °С		Температура поверхностей, t_n °С		Относительная влажность воздуха, W%		Скорость движения воздуха, v м/с	
		Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст. При:	Оптим. не более	Допуст. не более
Холодный	легкая– Ia	22-24	20-25	21-25	19-26	40-60	При $t_v \leq 24^\circ\text{C}$ W=15-75	0,1	0,1
	легкая–Iб	21-23	19-24	20-24	18-25	40-60		0,1	0,1-0,2
Тёплый	легкая– Ia	23-25	21-28	22-26	20-29	40-60	При $t_v \leq 24^\circ\text{C}$ W=15-75	0,1	01-02
	легкая –Iб	22-24	20-28	21-25	19-29	40-60		0,1	0,1-0,3

7.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность на предприятии — это определенный комплекс мер. Их цель – приведение его деятельности к соответствию природоохранным нормативам и повышение его рентабельности. Организация, использующая энерго - и ресурсосберегающие процессы, увеличивает свою эффективность, а кроме того, снижает воздействие вредных веществ, как на самих работников, так и на окружающую среду. Данный подраздел не

рассматривается т.к. дозирующая установка не оказывает влияния на окружающую среду.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее распространенными источниками возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера являются пожары и взрывы, которые происходят в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения.

Предусматриваемые при проектировании зданий и установок противопожарные мероприятия зависят прежде всего от пожарной или взрывопожарной опасности размещенных в них помещений. Помещения и здания в целом делятся по степени пожарной или взрывопожарной опасности на пять категорий в соответствии с НПБ 105-03. Данное помещение можно отнести к категории «В». Категория «В» включает в себя помещения содержащие горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе волокна и пыль), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть при условии, что помещения, в которых они имеются или обращаются, не относятся к категориям А или Б.

Основными причинами пожаров от электрического тока является короткое замыкание, перегрузки электрических установок, переходные сопротивления и искрения.

Причинами короткого замыкания могут быть неправильный выбор сечения и марки кабелей приводов, износ и различные механические повреждения изоляции. Перегрузка электрических цепей вызывает нагрев электрических установок, снижение диэлектрических свойств изоляции и ее воспламенение. Большие переходные сопротивления вызывают нарушения диэлектрических свойств изоляции и ее возгорание. Они, как правило, возникают, когда проводники состоят из проводов разного сечения и разнородного материала, а также плохого контакта между собой и коммуникационными аппаратами. Искрение происходит в момент разъединения

находящихся под напряжением проводов включателей, предохранителей и т.п.

Во избежание пожаров от электрического тока необходимо, чтобы электрические сети и электрооборудование отвечали требованиям правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок ПОТ Р М-016-2001.

Пожарная безопасность на производстве обеспечивается следующими мероприятиями пожарной профилактики:

- организационные – противопожарный инструктаж, создание добровольных пожарных дружин и комиссий, разработка планов эвакуации;
- технические – соблюдение норм и правил при проектировании и строительстве зданий, соблюдение норм при выборе оборудования, устройство вентиляции и отопления, оснащение средствами пожаротушения и т.д.;
- режимные – запрещение курения в неустановленных местах;
- эксплуатационные – своевременный ремонт оборудования.

Система пожарной защиты предусматривает следующие меры:

- предотвращение распространения пожара за пределы очага;
- применение средств пожаротушения;
- эвакуация людей в случае пожара;
- применение средств пожарной сигнализации и средств извещения.

Надёжная и безопасная работа электрооборудования обеспечивается в результате правильного его выбора, качества изготовления и регулярного проведения осмотров, профилактических испытаний и ремонтов. Поэтому имеет особое значение выполнения требований ПУЭ и ГОСТ при выборе электрооборудования.

В помещении площадью 60 м² согласно документу «Правила противопожарного режима в РФ» от 25.04.2012г. необходимо иметь:

- 1 огнетушителя типа ОП-5;
- не менее 1 огнетушителей типа ОВП-10;
- план эвакуации людей;
- средства пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре.

Каждый, обнаруживший пожар или загорание, обязан немедленно вызвать пожарную охрану по телефону 01, а также при необходимости вызвать газоспасательную, медицинскую и другие службы. Информацию об очаге возгорания необходимо сообщить лицу ответственному за эвакуацию людей из здания. Если в помещении, где произошло загорание, находятся предметы, потеря которых может привести к серьезным финансовым затруднениям предприятия или к потере ценной информации, то нужно приступить к тушению очага пожара.

В помещении назначен ответственный за эксплуатацию электрохозяйства, а обеспечение пожароопасной электроустановок и электросетей. В его обязанности входит:

- своевременное проведение профилактических осмотров и ППР;
- следить за правильностью выбора и применения оборудования;
- систематически контролировать состояние аппаратов, предохраняющих от отклонений в режимах работы;
- следить за наличием средств пожаротушения;
- организовать систему обучения и инструктаж по вопросам, обеспечения пожароопасности.

Меры пожарной безопасности:

- наличие необходимого количества выходов;
- пожарная сигнализация;
- организационно-технические мероприятия.

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Рабочее место – место, где работник должен находиться или куда ему необходимо прибыть в связи с его работой и которое прямо или косвенно находится под контролем работодателя.

Постоянное рабочее место – место, на котором работник находится большую часть (более 50% или более 2 часов непрерывно) своего рабочего времени.

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м от уровня пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работников.

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» рабочее оборудование, инструмент, приспособления должно полностью отвечать требованиям безопасности, окружающая производственная среда соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям и, кроме того, рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы человек при выполнении работы затрачивал минимальное количество энергии. Соблюдение этих условий будет способствовать постоянно высоко производительному безопасному труду. Правильная организация рабочего места подразумевает знание и выполнение эргономических требований, которые определяются существующими стандартами. Так ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» определяет общие эргономические требования к рабочему месту при выполнении работ сидя, а ГОСТ 12.2.033-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» – при выполнении работ стоя.

Режим труда и отдыха – это устанавливаемые для каждого вида работ порядок чередования периодов работы и отдыха и их продолжительность.

Рациональный режим – это такое соотношение и содержание периодов работы и отдыха, при которых высокая производительность труда сочетается с высокой и устойчивой работоспособностью человека без признаков чрезмерного утомления в течение длительного времени. Один из основных вопросов установления рационального режима труда и отдыха – это выявление следующих принципов их разработки:

- Удовлетворение потребностей производства. Режим труда и отдыха строится применительно к наиболее рациональному производственному режиму, с тем, чтобы обеспечить нормальное исполнение работником своих обязанностей;
- Обеспечение наибольшей работоспособности человека. Нельзя строить режим труда и отдыха без учета работоспособности человека и объективной необходимости организма в отдыхе;
- Сочетание общественных и личных интересов. Режим труда и отдыха должен быть ориентирован в некоторой степени на удовлетворение личных интересов трудящихся и отдельных категорий работников (женщин, детей, учащихся и т. д.).

Научно обоснованным режимом труда и отдыха считается такой режим, который одновременно сочетает сохранение и повышение работоспособности и производительности труда с сохранением здоровья работников и созданием благоприятных условий для всестороннего развития человека.

Здоровье человека напрямую связано с его работоспособностью и утомляемостью, а от состояния здоровья во многом зависит успешность трудовой деятельности работника. Утрачивание резервных возможностей, сопротивляемости организма к внешним и внутренним негативным факторам ведут к существенному снижению эффективности профессиональной трудовой деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дозирование является одним из немаловажных технологических процессов: металлургической, химической и пищевой промышленности, ключевыми показателями качества, которого является точность и производительность.

Проведенный анализ существующих технологических процессов дозирования сыпучих веществ показал, что повышение точности дозирования, существенно снижает производительность технологического процесса, а в свою очередь, повышение производительности снижает точность технологического процесса дозирования. Для решения этой проблемы в данной диссертации был разработан технологический процесс для высокоточного порционного дозирования сыпучих веществ.

Решениями, необходимыми для достижения необходимой точности дозирования при незначительном снижении производительности, являются:

- изменение конструкции дозирующей установки;
- применение разработанного алгоритма управления, обеспечивающего плавность и точность дозирования.

Конструкция была изменена следующим образом: добавлен второй бункер-дозатор со шнековым питателем. Для обеспечения синхронной работы двух бункеров дозаторов был разработан алгоритм управления. Первый бункер-дозатор обеспечивает загрузку сыпучего вещества при максимально возможной скорости в емкость на 90% от эталонной массы, выставленной оператором, а второй бункер-дозатор в то же отведенное время обеспечивает загрузку сыпучего вещества в емкость на 10% от эталонной массы, после чего система проводит контрольное взвешивание. Контрольное взвешивание приводится для сравнения полученных данных с данными, выставленными оператором. Таким образом, разработана система дозирования с требуемыми показателями точности при минимальном снижении производительности.

Для управления электроприводом шнекового питателя были рассчитаны

скалярная и векторная системы управления.

Для управления электроприводом шнекового питателя используется система с векторным управлением, позволяющая контролировать не только величину и частоту напряжения, но и фазу. Векторное управление обладает более высокой производительностью по сравнению со скалярным управлением и рядом преимуществ такими как:

- высокая точность регулирования скорости;
- плавный старт и плавное вращение двигателя во всем диапазоне частот;
- быстрая реакция на изменение нагрузки;
- повышенный диапазон управления.

К недостаткам такой системы можно отнести высокую сложность структуры системы управления.

В данной работе была рассмотрена возможность применения системы предиктивного управления электроприводом шнекового питателя. Данный метод находит все большее применение в промышленных системах управления, что обусловлено его преимуществами. Одним из них является минимум параметров, требующих настройки. Для успешного применения предиктивного управления была предложена модель объекта, обладающая необходимой адекватностью и точностью.

С помощью модели объекта управления появляется возможность предсказывать поведение системы в будущем, в соответствии с видом управляющего воздействия. В итоге была составлена структура системы предиктивного управления для дозирующей установки и проведен анализ всех частей данной структуры. Были определены входные и выходные координаты, на базе которых происходит функционирование системы. Составлена функциональная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом дозирования.

С финансовой точки зрения были рассмотрены потенциальные потребители разработанной системы и проведен анализ конкурентных

технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, определена стоимость каждой составной части дозирующей установки.

Как и любая технологическая единица производства, дозирующая установка обладает определенными вредными и опасными факторами.

К вредным факторам относятся такие как:

- повышенная запыленность воздуха в рабочей зоне;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- отсутствие или недостаток естественного света, недостаточное освещение рабочего места.

К опасным факторам которым может подвергнуться рабочий обслуживающий дозирующую установку относятся:

- движущиеся механизмы, подвижные части производственного оборудования;
- опасное для человека повышенное значение напряжения в электрической цепи.

В соответствии с вышеперечисленными вредными и опасными факторами были определены нормы, которым должно соответствовать рабочее пространство дозирующей установки, составлены соответствующие документы.

Дозирующая установка соответствует всем требованиям экологической безопасности. Ее влияние на окружающую среду мало.

Был составлен комплекс мер безопасности в чрезвычайных ситуациях и разобраны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Казаков Е.П., Клочков С.Е. Разработка и моделирование асинхронного электропривода со скалярным управлением для шнекового питателя [Электронный ресурс], режим доступа <http://sci-article.ru/stat.php?i=1463213218>, дата обращения 18.05.2016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50369–92. Электроприводы. Термины и определения.
2. Першина С.В., Катылымов А.В. Весовое дозирование зерновых материалов. – Москва: Машиностроение, 2009.
3. Ляпушкин С.В., Гусев Н.В. Синтез регуляторов системы автоматического дозирования сыпучих материалов // Современные техника и технологии: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009.
4. Поляков С.И. Проблема достижения точности дозирования материалов. ВГЛТА, г. Воронеж.
5. Рогинский, Г.А. Дозирование сыпучих материалов / Г.А. Рогинский. – М.: Химия. – 1978. – 176 с.
6. А. с. 136920 СССР, МКИЗ G 01 B 7/30. Устройство для измерения углов откоса и обрушения / А.Н. Цетович, А.П. Востоков, Е.А. Мандрыка, В.Ф. Першин, Н.М. Казанский (СССР). – № 4097385/25-28 ; заявл. 31.07.86 ; опубл. 30.12.87, Бюл. № 48.
7. Аоки, Р. Углы трения порошковых материалов / Р. Аоки // Кагуку когаку. – 1960. – Т. 24, № 8. – С. 598 – 600.
8. Карноушенко, Л.И. Взаимосвязь напряжения в своде с основными параметрами сыпучих материалов: материалы Всесоюз. конференции. – Томск, 1987. – С. 84–85.
9. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Физматгиз, 1960. – 243 с.
10. Каракулов А.С., Гусев Н.В., Родионов Г.В., Сливенко М.В. Современная технология разработки цифровых систем управления электроприводами // Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 6. С. 46 – 50.
11. Справочные данные асинхронного электродвигателя серии RA.
12. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным // Материалы международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – С. 269-272.
13. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
14. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин; Томский политехнический университет. – 2-е изд. перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
15. Мальцева О. П. Системы управления асинхронных частотно - регулируемых электроприводов: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.

16. В. Браун-Аквей, Разработка программного обеспечения для управления контуром помола / А. Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого, В. Браун-Аквей / Интернет-журнал «Науковедение», 2014. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2001.
17. Олейников В.А., Тихонов О.Н. Автоматическое управление технологическими процессами. – Л.: Недра, 1966.
- 18.
19. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта: методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. Составители: Коршунова Л.А., Кузьмина Н.Г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.
20. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы бакалавров и магистров Института природных ресурсов /Сост. Н.В. Крепша. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014.

Ресурсы локального доступа:

21. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс]: Учебник БЖ – Электрон. текстовые дан. и электрон. граф. дан. – М.: StudFails, 2015.

Приложение А

Раздел 1

LITERATURE REVIEW

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Евгений Петрович		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭПЭО	Качин О.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯЭИ	Токмашев Д.М.	к.ф.н.		

1 LITERATURE REVIEW

Most modern production machines are equipped with electric drives, required for motion of working tools of the machines. Electric drive is an electromechanical system, which consists of electrical converter, electromechanical and mechanical transducers, sensors and control system aimed at setting in motion the executive tool of the working machine and controlling these motions [1].

Dosage is one of the important processes in metallurgical, chemical and food industries. Metering accuracy and productivity significantly affect the quality and cost of the final product produced [2].

When operating the auger feeders the problems associated with physical and mechanical properties of the products to be weighed are often occurred. This problem was discussed in the scientific journal "The weight dosage grain materials" Author: S.V. Pershin, A.V. Katalymov, V.G. Odnolko, V.F. Pershin publishing house "Mechanical Engineering", Moscow, 2009 [2]. This publication discusses the dosing problems associated with physical and mechanical properties of the substances such as granular composition, the density of the bulk material, the flowability of the granular materials, angles and coefficients of friction, etc. The publication describes the impact of particular material property on the dosing process. The regulations for a number of foods and ways of solving the problems that arise due to a number of properties inherent in some metered substances are also given.

Functional circuits of the feeders and their components such as feeder mechanisms, measuring systems, control systems are discussed. The main methods of weight dosing are analyzed.

Problems associated with dosing precision increasing of bulk materials have been considered in the thesis of Lyapushkin S.V. Senior Lecturer of department of Electric Drives and Equipment of Tomsk Polytechnic University. In his work he considered the problem associated with reduced dosing accuracy due to the falling column. This question is essential for Tomsk Meat Plant. As a result experimental batch plant was constructed and a number of experiments were carried out. The

system that allows to solve a problem of falling column of the dosing material, which in turn improves the accuracy and quality of the product.

The same problem of providing the required accuracy of the dosing was considered by S.I. Polyakov ("VGLTA" Voronezh). He suggested solution to the problem associated with achieving the desired accuracy, which is to find the corrections for the subsequent cycles of dosing errors by averaging the previous weightings. The discrete dosing with dynamic error is considered. This forms a binary random number of dosing errors in previous cycles. The problem of forecasting error in the current cycle and the previous dosing errors allows to calculate the forecast error by averaging them, that is, to get the amendment on the next n dosing cycles. This procedure is applied to the class of moving average models. A part of this approach is implemented in components weighing routines algorithm [3].

G.A. Roginskii in his work deals with the problems related to the dosing of loose materials in the chemical industry, paying particular attention to the phenomenon of arching issues. The material flow stimulators are designed[4].

A.N. Tsetovich, A.P. Vostokov, E.A. Mandryka, V.F. Pershin, N.M. Kazan in their work considered the problem associated with devices for measuring angles of slope and collapse [5].

Aoki R. in his work considered the friction powder materials for dosing granular substances [6].

Karnoushenko L.I. dealt with the problem of strength relationship with basic parameters of bulk materials [7].

Sokolovsky VV dealt with the problem in the emergence of static granular medium [8].

On the basis of the literature analysis it was concluded, that the chosen topic is relevant, useful and timely for scientific research. In turn, this theme has a number of outstanding issues, one of which is an increase of productivity of high-precision dosing of bulk materials. This work is devoted to this issue.

The analysis of the technological processes of powder materials dosing showed that the improved accuracy of dosing significantly reduces the performance of the process, and in turn, higher productivity reduces the accuracy of the dosing process technology.

Studies have shown that in order to achieve the required accuracy with a slight decrease in performance of the dosing process, it is possible to achieve optimum performance and design changes in the constructive metering installation.

In this work a two-step dosing process is analyzed, which theoretically can improve metering performance without loss of accuracy when compared to analogs of dosing at a single stage.

The control systems with a scalar, vector control and the predictive control system applied a two-step dosing are designed. The simulation models for scalar and vector control are created. The experimental data show that the vector control system improves the quality indicators of the control of electric screw feeder, which leads to an increase in the quality of the metering installation. The results of research were reported in Perm National Research Polytechnic University at the All-Russian Scientific and Technical Conference "Automated control systems and information technology."

Приложение Б

Раздел 2

DEVELOPMENT OF ACS FOR DOSING DEVICE

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4А	Казаков Евгений Петрович		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭПЭО	Качин О.С.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ИЯЭИ	Токмашев Д.М.	к.ф.н.		

2 DEVELOPMENT OF ACS FOR DOSING DEVICE

2.1 Description of the technological e process and equipment

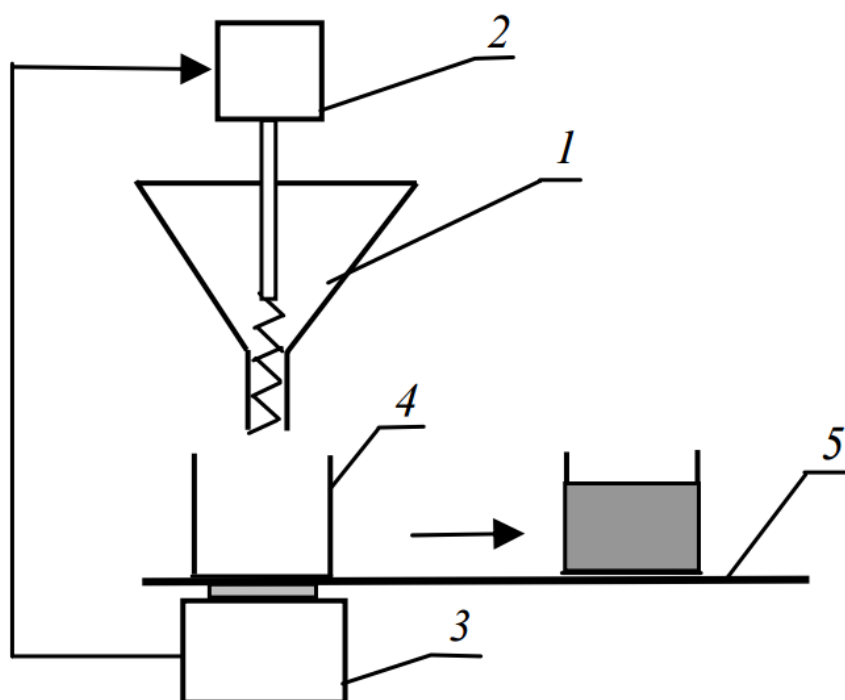


Figure 1 - The technological process of dosing

Figure 1 shows the scheme of a portion one-step gravimetric dispenser of vertical type.

The apparatus includes: a power feeder 1 with an electric drive 2 and weighing platform 3. In automatic mode, the weight vessel 4 enters the platform for weighing, moving with the help of a conveyor belt 5. As soon as the weight vessel is positioned in the center of the weighing platform, it gives the signal to turn off the electric drive of the belt conveyor, after stopping the system sends a signal to switch on the electric drive of the screw feeder. After filling the weighing cup on the set mass the weighing platform gives the control signal to disconnect the electric drive of the screw feeder, after stopping the screw feeder the control system delivers a signal to the conveyor for the further displacement of the weight cup.

To reduce the dynamic load on the weighing platform from the falling material several ways to control the operation mode of the screw feeder are used.

The first method of reducing dynamic loads on the platform for weighing. With the approach of the actual weight to the set weight on the instruction the angular velocity of the screw feeder rotation decreases.

The second method of reducing the dynamic loads on the platform for weighing is a two-stage operation of the screw feeder electric drive. At the first stage the screw feeder drive operates at maximum possible capacity (nominal angular velocity). Upon reaching 90% of the actual weight of the set, the angular velocity of rotation of the screw feeder drive is reduced to the minimum possible for a given process. This method significantly improves the accuracy of the dosing, but decreases the productivity of the dosing process [2].

2.2 Analysis and classification of technological variables, control actions, points of measurement and control

Dosing devices using a screw feeder for feeding friable materials are produced in different versions for different kinds of processes, differing only in the different dosing tasks. To determine the performance it is enough to know the diameter of the dosing holes in the bunker and the angular rotation speed of the screw feeder. By adjusting the synchronous rotation speed one can change the performance and accuracy of dosing. For a more accurate analysis of parameters it is necessary to know the characteristics of the dosing stuff (fluidity) [2].

As the above represented methods of the vertical feeding of friable materials reduces the performance of the dosing process one needs to modify or elaborate the design of the metering device.

Figure 2 shows a scheme of a vertical screw dosing device for friable materials in portions with pre-weighing of the weighing cup.

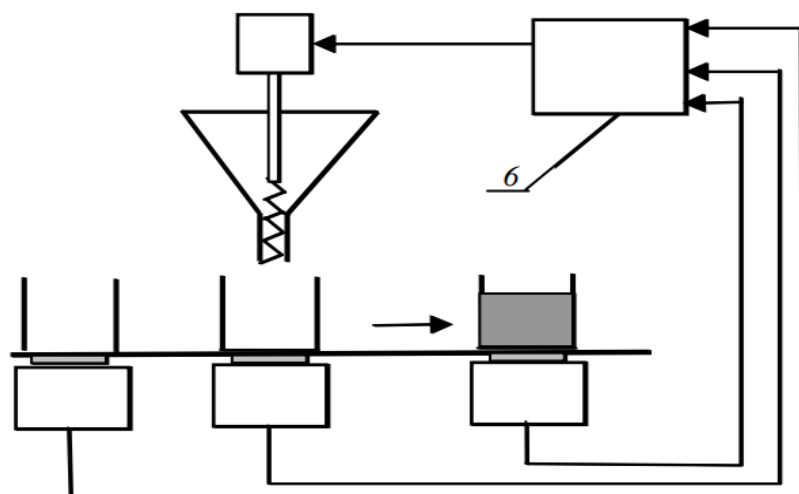


Figure 2 - Screw feeder with preliminary weighing of the cup

Since the measuring cup weight changes during operation due to on-sticking of the materials, you need to apply the preliminary weighting of the weighing cup, as shown in Figure 2. Thus, we have data on the weight of the measuring cup in a static condition. All indications from the weighing platform go to controller 6, which in its turn delivers control signals to the screw feeder drive.

The metering devices of friable materials using two or more screw feeders for dosing, while increasing dosing accuracy do not significantly lose process performance.

Figure 3 is a scheme of the vertical portion dosing of friable materials, acting in a two-stage dosing operation mode.

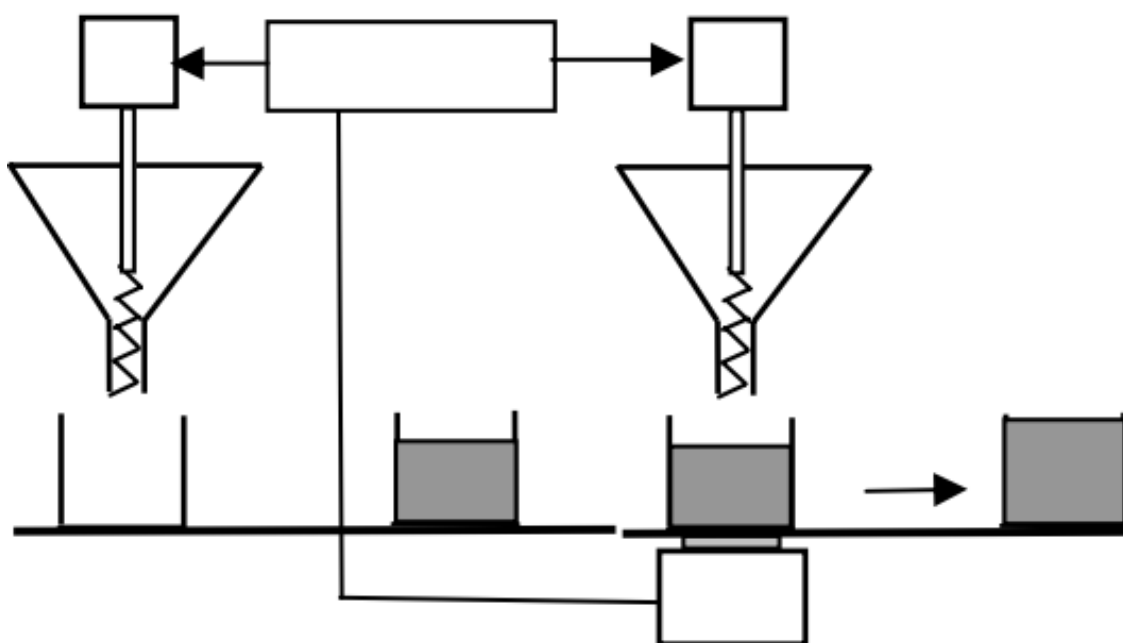


Figure 3 – Scheme of portion dosing in two stages

At the first stage the screw feeder electric drive loads the measurement cup to 90% of the actual mass of the set weight. At the second stage the controlled additional loading of friable material is carried out [2].

It is much more productive and more accurate to dose in portions by the scheme shown in Figure 4.

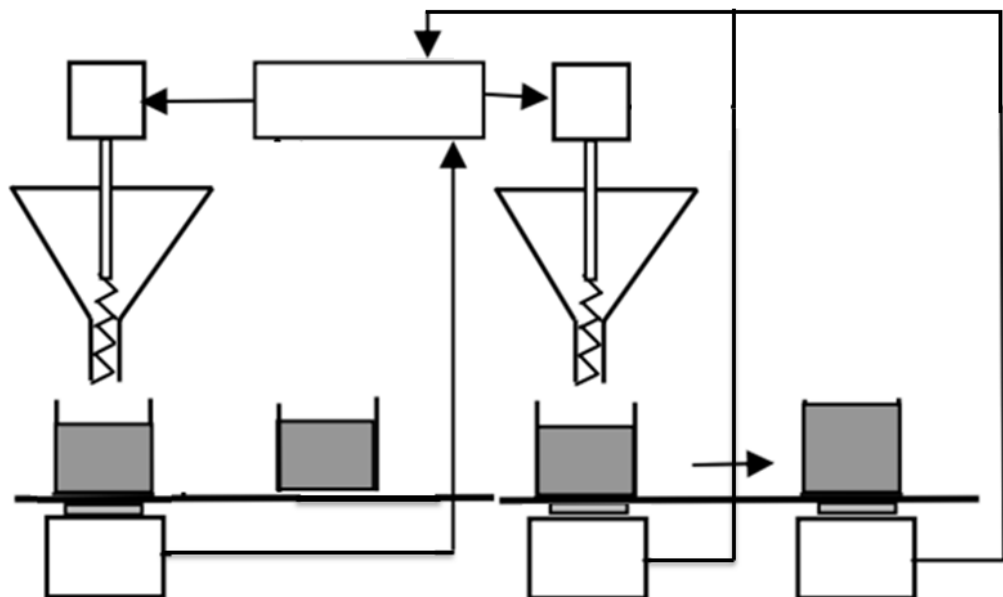


Figure 4 – Scheme of two-stage dosing with reload adjustment

Once a weighing cup installed on weighing platform a signal goes to the controller. The controller, after receiving and processing the signal provides a control signal to switch on the screw feeder drive. At the first stage screw feeder loads the tumbler by 90% of the set weight and a weighing platform gives a signal to the controller to disable the drive of the screw feeder at the first step.

After the stop of the screw feeder, the controller sends a signal to switch the conveyor belt drive.

From the second weighbridge signal goes is that it is loaded with a cup of material. The system recalculates the difference between the target weight value and already loaded in the weight cup. After the system makes recalculation of the time and speed of loading of control mass of friable material.

The dosing time for the second stage is equal to the time of dosing in the first stage, i.e. 10% of the control weight are loaded simultaneously with the load of the next portion at the first stage. After loading of the control weight the system performs control weighing. This method can significantly increase the dosing process performance without loss of accuracy.

Dosing devices with a screw feeder installation may basically dispense non-adhesive powder materials. For adhesive products it is necessary to develop special dispenser models with self-cleaning dosing screws.

To improve the filling of the bunker with friable material one can use the hoeing shaft in the bunker. For products subject to collapse easily or containing brittle parts, screw feeders are not applied or applied in very rare cases.

2.3 Making a list of measured process variables and control actions, as well as the environment and working conditions of measuring and control devices

Dosing process depends on the properties of the friable material, so they are particularly critical in the selection of all complex of metering devices [2].

Disturbances

Physical and mechanical properties of many friable materials under the influence of various factors (humidity, ambient temperature, and due to compaction) are subject to significant changes. For proper implementation of the dosing process it is necessary to know the characteristics and the physical and mechanical properties of the dispensed material.

Let's consider the physical and mechanical properties of the dispensed material, which affect the dispensing process. Fractional composition of the material in a number of characteristics that determine the accuracy of dosing, has a special place.

With increasing of inhomogeneity of dosing material productivity value peak deviation from the average value of feeders increases, increasing dosing inaccuracy. Adhesion force between particles is largely dependent on the size distribution. Granulometric composition also defines certain parameters of the metering devices and particularly feeding and conveying mechanisms.

The bulk density of a particular friable material is not constant. Depending on the fractional composition, particle shape, degree of pore moisture filling, bulk density values of the same material may vary up to 200-250%. Humidity of material is evaporated water mass ratio (after drying) of the material to the total mass (weight percentage).

Humidity determines the mobility of the particles. High humidity deteriorates characteristic of dosing of bulk materials. Such material sticks together, which promotes the formation of lumps in the hopper. Dosing of this material is very difficult.

Slope angle must be considered in determining the useful cross-silo capacity.

The mobility of the particles is evaluated by the magnitude of the initial shear strength, which characterizes the connection of the bulk material, determining the strength of adhesion of the particles.

Bulk material shear resistance at its contact surface with the silo walls is subject to approximately the same rules as the internal shear resistance.

The coefficient of friction of the bulk material on the solid surface. The coefficient of friction of the bulk material is equal to the tangent of the angle formed by the straight line with the x-axis of quiet material.

The maximum diameter of the arch-making hole. The largest hole in which there arching called arch-making hole. The larger diameter arch-making openings, the material is more cohesive. With good bulk materials on the size of the hole is arch-making size distribution.

Sealing factor of the bulk material. The magnitude of the bulk density of the bulk material characteristics significantly influence its formation, the state of the particle surface, traffic conditions and other. The formation conditions of the material determine the initial compression ratio and can change it quite significantly. On sealing of dry and wet granular materials most affected by dynamic loads and vibration, i.e., smaller particles begin to fit between the larger pores.

Control coordinate

In the process of dispensing accept angular velocity of rotation of the screw is controlled axes. Speed variation, which serves as an induction motor by regulating the feed dispenser, changing screw speed. The outputs (measured value) coordinate

In the process of batching receives the output mass dosing of bulk material released to the container mounted on the weighing platform.

2.4 Analysis of the relationship between technological change, definition of the basic requirements for the management of processes, the formulation of criteria and quality control purposes

The basic requirements to the ACS for dosing bulk materials (sugar, salt):

- Dosing accuracy $\pm 3\%$;
- Productivity (12 hour) 36 tone;
- The ability to install additional feed hopper and screw feeder for the

purpose of broadening the base;

- Performance management interface - accessible to unqualified personnel.

Basic requirements for the performance of feeders:

- The ability to control the dosing flow on the instructions;
- Formation of flow with a given accuracy;
- Minimization of moving expenses;
- Output material flow signal must be linear;
- Output consumption Immune perturbations (external and internal);
- Ensuring a high level of reliability due to reduction of moving parts

design and installation;

- Do not susceptible to the influence of the environment on the state of the dosing medium;
- Ability to work with flammable and explosive substances dosed.

Currently weigher used as controllers of the control system.

The controller responsible for performing a number of functions:

- Enhances the signal from the system responds with the measurement sensors;
- Converts the received signal to the weight of each component portion;
- Monitors and keeps the weight of each batch and system performance;
- Performs a comparison of the data with the specified parameters;
- Provides control signals to the feeder.

The controller must provide:

- Automatically attune exposed parameters for a given process;

- Monitors the performance of the process;
- Monitoring the angular velocity of the screw feeder;
- Monitoring the current weight in the weight glass.

2.5 Development of the technical means APCS

2.5.1 The hierarchy of levels of automation

To ensure high reliability of the control complex should be carried out according to the classical hierarchical levels [2]:

The first (lower) level includes: sensors and electric screw feeder (DV, $D\omega$).

The second (middle) level includes: the control unit (in this case, the microprocessor controller (ISU)).

The third (upper) level includes: network equipment, operator and dispatcher stations.

The hierarchy of levels of automation in the metering of bulk materials is shown in Figure 5. The remote operator workstation located on the upper level. The operator monitors the movement and control of the conveyor and auger speed VC by the sensors in the system. The connection between the upper and middle levels is carried out via RS-485 serial data interface. The control unit takes just 2 levels. The microcontroller board unit is located, and on it a microprocessor which processes the analog signals and voltage and current signals from the sensors: speed and position of the mass coming from the lower level sensor. The microprocessor generates inherent in it and screw conveyor motion control algorithm.

The control unit is a power module that applies to the lower level. The power module consists of a rectifier and inverter voltage transistor. Power keys - IGBT-transistors is controlled by PWM modulation, whose pulsing algorithm produces microprocessor.

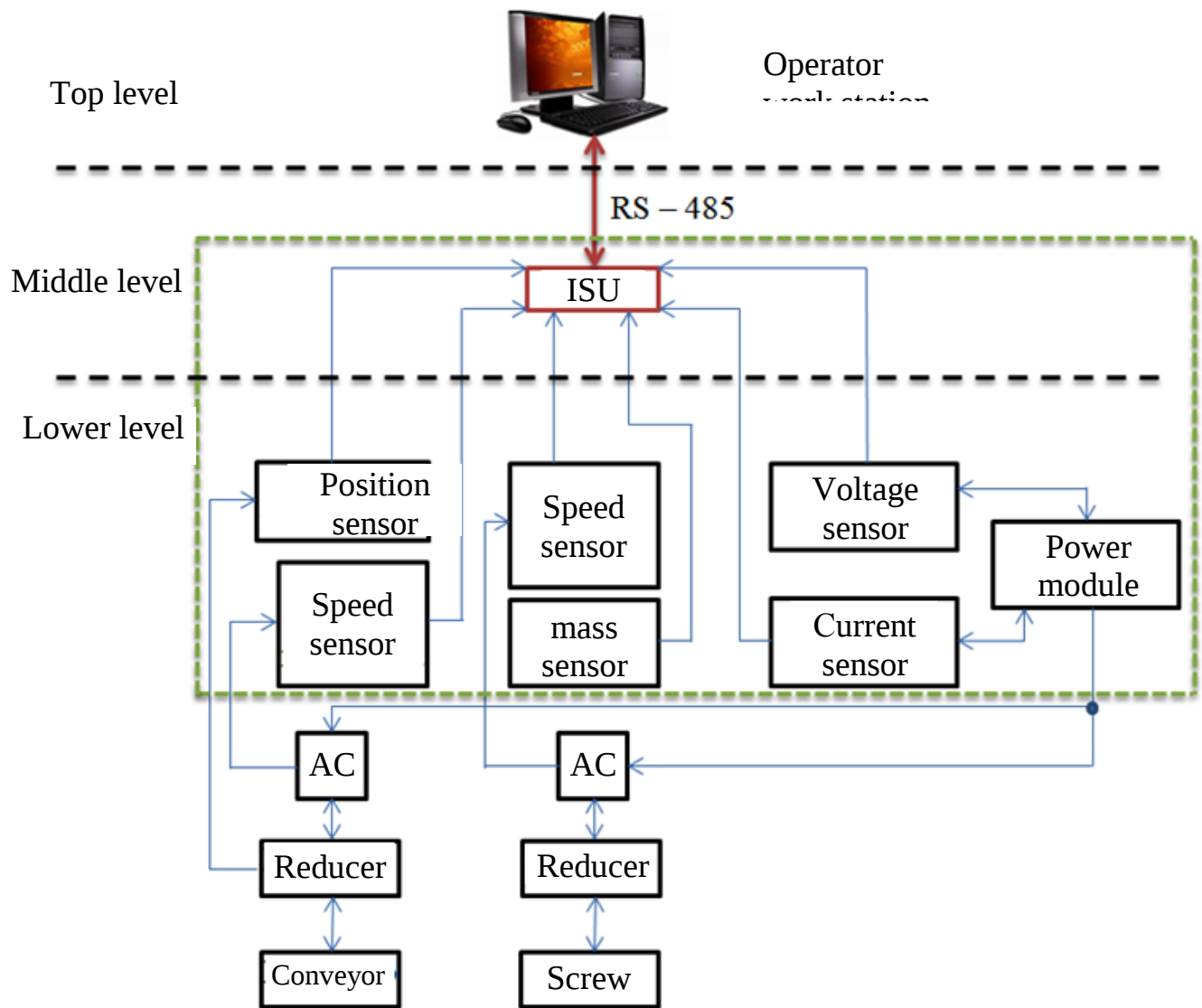


Figure 5 - The hierarchy of levels of automation in the metering

2.5.2 Block diagram of the automation hardware

With a PC send the signal coming to the input of weight control. The microcontroller software stored reference signals by weight of the dosed material. Signal output by weight will be the task for the frequency converter, ie, on the screw speed. Once installed on a glass weighing weighing platform is signaled to the controller. The controller, after receiving and processing the signal provides a control signal to switch the drive screw feeder. In the first stage screw feeder loads the tumbler 90 weight% of the set weight and a weighing platform a signal to the controller to disable the drive of the screw feeder at the first step [2].

After the stop of the screw, the controller sends a signal to switch the conveyor belt drive. Since the second weighbridge signal is that it is loaded with

packaging material. The system recalculates the difference between the target weight value already loaded in the weight glass. After the system is doing at the time of allocation and control of mass loading rate of bulk material. The dosing time for the second stage is equal to the time of dosing in the first stage, i.e. 10% of the reference weight loaded simultaneously with the load on the next portion of the first stage. After loading the weight control system performs control weighing. This method can significantly increase the dosing process performance without loss of accuracy.

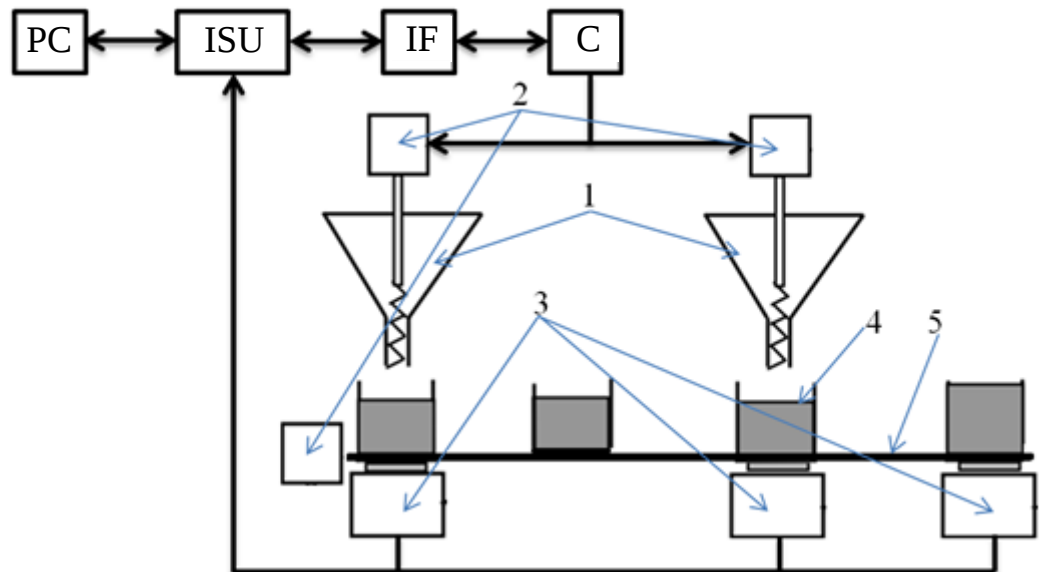


Figure 6 - The block - diagram of the automation hardware

Legend:

1 - feeder;

2 - electric;

3 - weighing platform;

4 - containers;

5 - the pipeline;

PC - personal computer;

ISU - microprocessor controller;

IF - frequency converter;

C - contactors.

2.5.3 The functional structure of the system

Figure 7 shows the functional structure of the dosing system.

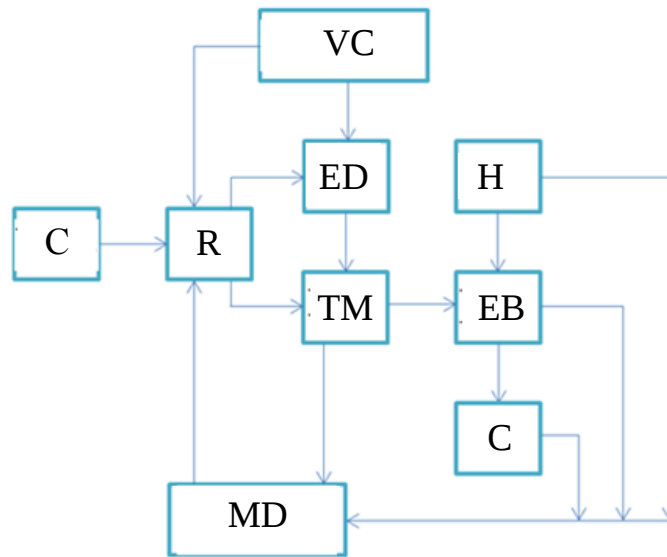


Figure 7 - Structural and functional diagram of the dosing system

From VC network provides power to the electric drive ED and ED R. converts electrical energy and drives a transmission mechanism (Reducer) TM. PM drives the executive body of the EB system (screw feeder). Using the IO from the hopper into the container PT begins to flow metered material. By using feedback control of measuring devices R controls the dosing system.

2.6 Selecting hardware on all levels of government

Top level:

Special space allocated to the operator to monitor and control the process using a PC (DELL Hetton Alienware X51 R2 - 4125).

Characteristics:

- View - Hetton;
- Processor Type Core i5 - 4460;
- Processor frequency - 3200 MHz;
- RAM Size - 8196 MB;
- The video - GeForce GTX 750 Ti;
- Video memory size - 2048 Mb;
- Hard drive - 1 TB;
- Optical drive type - DVD +/- RW.

Average level:

It includes control microprocessor controller.

Modular PLC FASTWEL I / O.

FASTWEL I / O - Russian Modular programmable logic controllers for harsh environments:

- Operating temperature -40 ... + 85 ° C;
- Relative humidity up to 95%;
- Vibration 10 ... 500 Hz with an acceleration of 5g;
- Single blows with a peak acceleration of 100g;
- Multiple shocks with a peak acceleration of 50g.

The high level of Quality System certified list of permissive documents:

- Permission to use in the oil and gas industry rostekhnadzor;
- Certificate of type approval of measuring the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology;
- Type Approval Certificate of the Russian Maritime Register of Shipping;
- The certificate of conformity of the Customs Union.

PLC module FASTWEL I / O - is used in various fields of automation systems:

- Nuclear power;
- Mining industry;
- Rail transport;
- Metrology;
- Oil and gas complex;
- Construction.

Software used with a modular PLC FASTWEL I / O:

- adapted CoDeSys development environment (for a network node controllers);
- Linux;
- Fastwel FBUS SDK (software developer kit for application software FBUS tires);

- Fastwel OPC.

Lowerlevel:

weight sensors: digital load cell ZET 7010

Characteristics:

- Power supplied to the PCB:
 - DC voltage - 4.2 ± 0.2 ;
 - maximum current - $25 \text{ A} \pm 1.5$;
 - update rate - 1 Hz.
- RS Data Interface - 485;
- exchange rate of 4800 - 230400 bit / s;
- Control definition:
 - 0 – no control;
 - 1 – control;
- Protection in the output interface:
 - over-voltage - 19 V;
 - Pulse - 28 V.

Speed sensors: absolute encoder - E6C - N

- Type - multi-turn;
- The range (min / max) - 500;
- Dimensions - D 50 (continuous or full shaft);
- Max. load (N) - 30 radial / axial 20;
- Degree of protection - IP50;
- Max. engine speed - 1500 mod / min..

Contactors: Contactor DILM12-01 230 B Control coil

Characteristics:

- Manufacturer Article - 276865
- Type - DILM12-01 (230V50HZ, 240V60HZ)
- Rated current, A - 12
- Utilization category - AC3

- Number of power contacts - 3
- control voltage, V - 230 B AC
- Nominal voltage, V - 690

Frequency converters: Schneider Electric.

Table 1 - Parameters of the frequency converter

Standard size	Max. engine power, kW	Rated output current, A	Maximum current, A
<i>ANV312HU15N4</i>	1,1	3,4	4,3

2.7 software on all levels of PCS

MehVIOS Development STUDIO - Wednesday designed for software development and simulation integrated in to the electric control system. The same can be applied to technological developments. Programmable logic controllers.

This software environment allows you to:

- Create needed for those. Process control of electrical drives, TC, PLC;
- Perform simulation of all systems;
- Perform reprogramming program for new works in the microcontroller;
- Install the required libraries when replacing microcontrollers.

2.8 Information Exchange between systems levels

Modern technology has a huge number of various inputs and outputs to exchange data with other devices. There are both wired and wireless interfaces. One very common wired interface is a universal serial bus, or USB. Virtually no one modern device operating information, can not do without it. The latest, the most modern version is USB 3.0, which speed reaches up to 4.8 Gbit / s.

RS-485 communication interface is the most common industry standard, which is realized bidirectional balanced transmission line and supporting multi-point connections, providing networking with the number of units to 32 (64, 128 - depending on the load characteristics of chips) and transfer to a distance of 1200 m.

Transmission of information on RS-485 can be performed at speeds up to 10 Mbit / s. The distance and speed with which the interface can be successfully used, depending on many points (the line length of wire type, the presence of noise,

presence and quantity terminator, etc.) which must be considered when designing a circuit device connections in the system.

The interaction between the upper (APM) and medium (control) levels carried out via RS-485.

The interaction between the middle (controller) and the bottom (IF) levels made via RS - 485.

2.9 Development of the general functioning of the ACS algorithms process

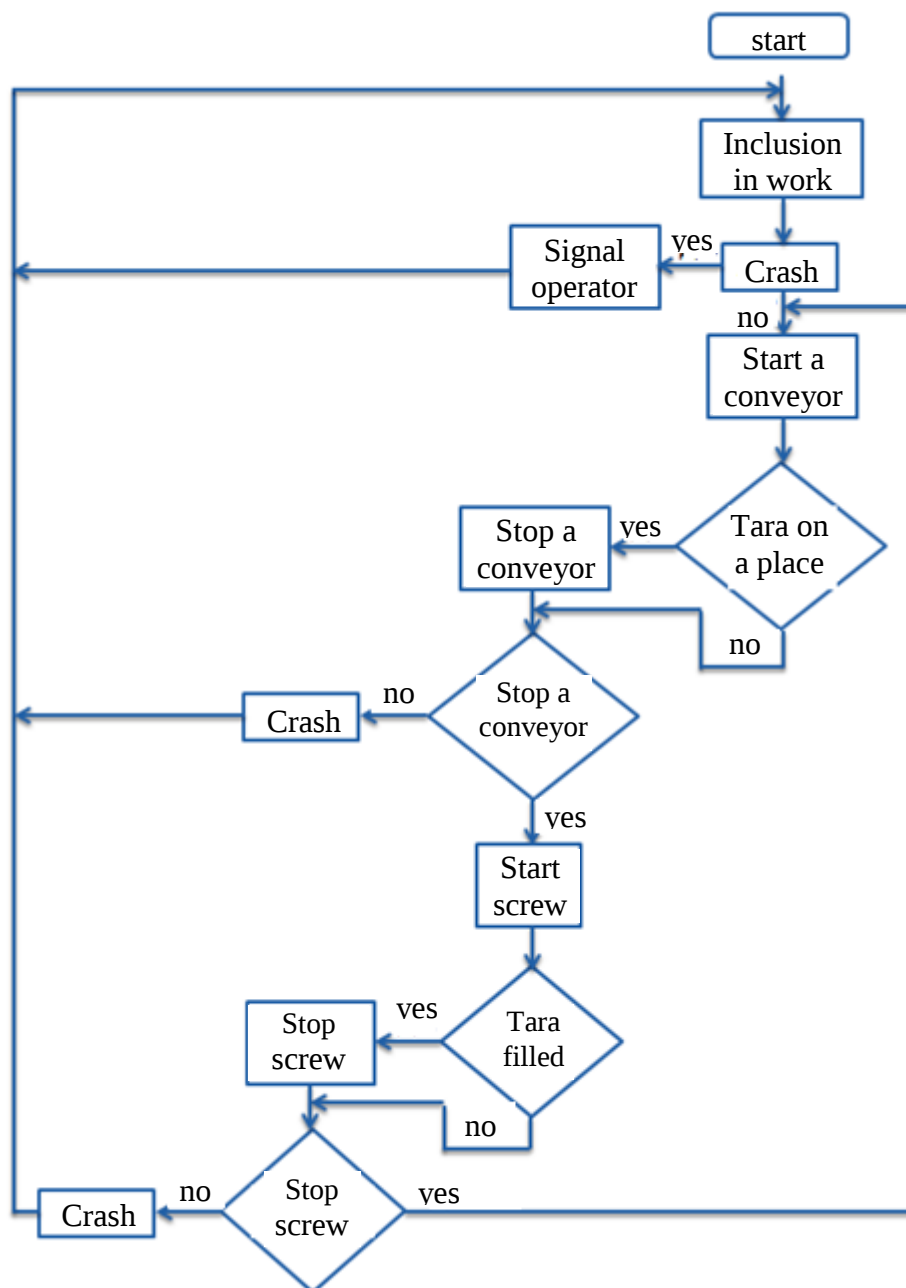


Figure 8 - The general algorithm of formation of ACS work events