

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

Липантьева Юлия Михайловна

Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного  
питателя

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

К дипломному проекту

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский  
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление



**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного  
питателя»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Липантьева Ю.М.

Рецензент

Доктор PhD

Порубов Д. А.

2023 г.



Научный руководитель

Доктор PhD

Кулакова Е.А.

(подпись)

«29» мая 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация



**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломного проекта**

Обучающемуся Липантьева Ю.М.

Тема: «Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного питателя»

Утверждена приказом Б. Жаутикова № 408-П/Ө от «23»11 2023г.

Срок сдачи законченной работы

«20» мая 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Технические характеристики ленточных питателей, требования к скорости объекта.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) Анализ технологического процесса.
- б) Разработка функциональной схемы автоматизации и структурной схемы управления.
- в) Решение задач анализа и синтеза системы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): принципиальная схема питателя, функциональная схема автоматизации ленточного питателя.

Рекомендуемая литература:

1 Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. С-П. «Профессия», 2004. – 752 с.

2 Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // Научно-технический журнал «СТА». – Москва, 2007. – №4. – С.86-97.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологическая часть	21 марта 2023 г.	
Раздел расчетной части Анализ объекта и синтез регулятора	17 апреля 2023 г.	
Раздел расчетной части Выбор технических средств	18 мая 2023	

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с  
указанием относящихся к ним разделов проекта

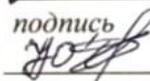
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологическая часть	Е.А.Кулакова PhD, ст. преподаватель	20.03.23	
Раздел расчетной части	Е.А.Кулакова PhD, ст. преподаватель	17.04.23	
Нормоконтролер	А. Б. Жеңіс маг. техн. наук, ассистент	25.05.2023	

Научный руководитель



Кулакова Е. А.

Задание принял к исполнению обучающийся

подпись  
  
подпись

Липантьева Ю. М.

Дата

«25» 05 2023 г.

## **АНДАТПА**

Таспалы қоректендіргіштің Автоматты өнімділігін бақылау жүйесі-таспалы қоректендіргіштің өнімділігін бақылайтын компьютерленген жүйе. Мұндай жүйені құрудың маңыздылығын асыра бағалау қиын, өйткені ол құбыр жүйелерінің тиімділігін, өнімділігін және қауіпсіздігін айтарлықтай жақсартатын бірқатар артықшылықтарды ұсынады.

Таспалы қоректендіргіштің Автоматты өнімділігін бақылау жүйесінің маңызды артықшылықтарының бірі-дәлдік пен дәйектіліктің жоғарылауы. Жүйе тасымалданатын материалдың шығынын дәл өлшеп, бақылай алады, бұл материалдың қажетті мөлшерінің қажетті уақытта берілуін қамтамасыз етеді. Бұл қалдықтарды азайтуға және өнімнің сапасын жақсартуға, сондай-ақ шамадан тыс жүктеме мен басқа да қауіпсіздік қатерлерінің алдын алуға көмектеседі.

## **АННОТАЦИЯ**

Автоматическая система контроля производительности ленточного питателя – это компьютеризированная система, которая отслеживает и контролирует производительность ленточного питателя. Важность создания такой системы невозможно переоценить, поскольку она предлагает ряд преимуществ, которые могут значительно повысить эффективность, производительность и безопасность конвейерных систем.

Одним из наиболее значимых преимуществ автоматической системы контроля производительности ленточного питателя является повышенная точность и согласованность. Система может точно измерять и контролировать скорость потока транспортируемого материала, обеспечивая выдачу нужного количества материала в нужное время. Это помогает сократить количество отходов и повысить качество продукции, а также предотвратить перегрузку и другие угрозы безопасности.

## **ANNOTATION**

An automatic belt feeder performance control system is a computerized system that monitors and controls the performance of a belt feeder. The importance of creating such a system cannot be overstated, as it offers several benefits that can significantly improve the efficiency, productivity, and safety of conveyor systems.

One of the most significant advantages of an automatic belt feeder performance control system is improved accuracy and consistency. The system can accurately measure and control the flow rate of material being transported, ensuring that the right amount of material is dispensed at the right time. This can help to reduce waste and improve product quality, as well as prevent overloading and other safety hazards.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Краткое описание технологического процесса	8
1.2 Устройство ленточного питателя	12
1.3 Общие принципы работы электропривода ленточного питателя	15
1.4 Постановка задачи дипломной работы	17
2 Разработка автоматической системы регулирования	18
2.1 Разработка функциональной и структурной схемы управления	18
2.2 Получение математической модели объекта	20
2.3 Анализ динамических свойств объекта управления	29
3 Синтез регулятора для управления производительностью объекта	35
3.1 Эмпирический метод настройки регулятора	36
3.2 Метод ручной настройки командой Tune программы MATLAB	40
4 Выбор аппаратной базы объекта управления	45
Заключение	50
Перечень принятых сокращений	51
Список использованной литературы	52
Приложение А	53
Приложение Б	54

## ВВЕДЕНИЕ

В результате длительного развития техники и технологии, промышленное производство повысило свою производительность, и в то же время снизилось использование ручного труда, таким образом, автоматизация технологических процессов стала неотъемлемой частью современного производства.

Ленточные питатели являются важнейшими компонентами во многих отраслях промышленности, и их эффективная работа необходима для бесперебойного протекания производственных процессов. Выход из строя ленточных питателей может привести к дорогостоящим простоям, снижению производительности и даже угрозе безопасности, особенно в таких отраслях, как горнодобывающая промышленность и строительство.

Кроме того, традиционные ручные методы регулирования ленточных питателей могут быть трудоемкими, неэффективными и склонными к ошибкам, особенно в случаях, когда нагрузка на питатель часто меняется. Поэтому разработка автоматической системы регулирования производительности ленточных питателей является неотложной задачей.

Разработка такой системы требует междисциплинарного подхода, включающего знания из таких областей, как системы управления, машиностроение и информатика. Разработав автоматическую систему для регулирования производительности ленточных питателей, мы сможем значительно снизить риск простоев, повысить эффективность и безопасность в отраслях, где используются ленточные питатели.

В заключение следует отметить, что актуальность разработки автоматической системы регулирования производительности ленточных питателей имеет первостепенное значение во многих отраслях промышленности. Данный диплом будет способствовать разработке более эффективных и надежных систем транспортировки материалов, а его результаты окажут значительное влияние на производительность, безопасность и прибыльность компаний, использующих ленточные питатели. Работа представляет собой комплексное исследование по проектированию и внедрению автоматизированной системы управления ленточными питателями. Предлагаемая система направлена на повышение точности и согласованности работы ленточных питателей путем автоматизации управления такими переменными, как скорость ленты, скорость подачи и плотность материала.

В данном дипломе будут рассмотрены технические аспекты разработки и внедрения системы, включая выбор датчиков и алгоритмов управления, а также тестирование и проверку работоспособности системы.

## 1 Технологическая часть

### 1.1 Краткое описание технологического процесса

Конвейерные системы являются основой промышленности и встречаются на многих предприятиях по всему миру. Без них производство, испытание, сборка и отгрузка остановились бы.

Ленточный питатель, также известный как ленточный конвейер, представляет собой механическое устройство, используемое для транспортировки материалов из одного места в другое. Он состоит из непрерывной петли материала, обычно сделанные из резины или пластика, которая поддерживается двумя или более шкивами и приводится в движение двигателем.

Рассмотрим некоторые примеры процессов, в которых обычно используются ленточные питатели.

В горнодобывающей промышленности ленточные питатели используются для транспортировки угля, руды и других материалов из шахты на обогатительные фабрики или для погрузки на грузовики для транспортировки в другие места.

На производственных процессах применяется для перемещения сырья, компонентов и готовой продукции между различными этапами производственной линии. Например, ленточный питатель может использоваться для перемещения пластиковых гранул из бункера для хранения в машину для литья под давлением.

В строительной отрасли (рисунок 1.1) ленточные питатели используют для перемещения таких материалов, как песок, гравий и бетон, с одного места на другое на стройплощадках. Они также могут понадобиться для транспортировки материалов на строительные площадки и обратно.

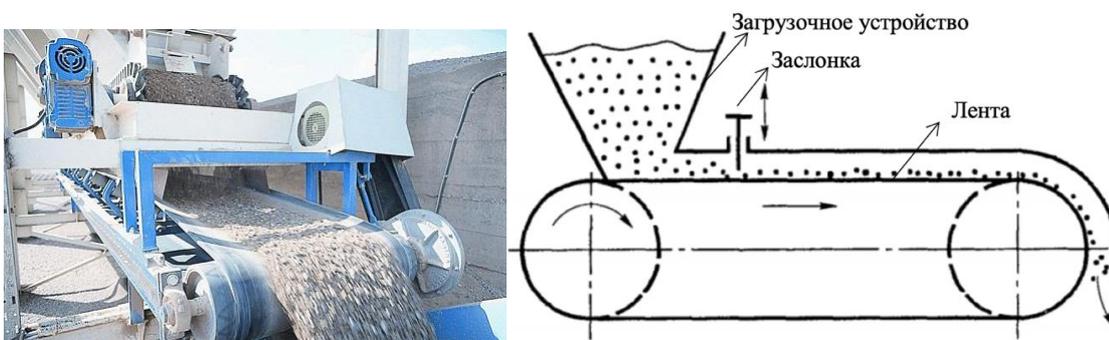


Рисунок 1.1 – Ленточный питатель для транспортировки щебня

На предприятиях по переработке отходов для перемещения таких материалов, как бумага, пластик и металл, из одной зоны предприятия в другую.

Возможно употребление для загрузки и выгрузки материалов из грузовиков и других транспортных средств.

Технологический процесс транспортировки полезных ископаемых (рисунок 1.2) может варьироваться в зависимости от вида транспортируемого полезного ископаемого, расстояния транспортировки и способа транспортировки. Тем не менее, вот общий обзор общих этапов технологического процесса транспортировки полезных ископаемых.



Рисунок 1.2 – Перемещение руды ленточным питателем PPV-1000

Добыча. Первым шагом в этом процессе является извлечение минерала из земли или шахты. Это может включать бурение, взрывные работы или другие методы добычи для доступа к месторождению полезных ископаемых.

Дробление и измельчение: после того, как минерал извлечен, может потребоваться его измельчение и измельчение до более мелких частиц. Это можно сделать с помощью дробилок и мельниц, чтобы облегчить транспортировку минерала.

Дробильная установка, в которой установлен ленточный питатель с управляемым электроприводом постоянного тока рассмотрен на рисунке 1.3.

Разделение: иногда минерал необходимо отделить от окружающей породы или других материалов. Это может включать использование гравитационных, магнитных или других методов разделения, чтобы изолировать минерал от остального материала.

Погрузка: как только минерал обработан и подготовлен к транспортировке, его загружают в грузовики, поезда, корабли или другие виды транспорта. Тип используемого транспорта будет зависеть от расстояния, необходимого для перевозки полезных ископаемых, и доступной инфраструктуры.

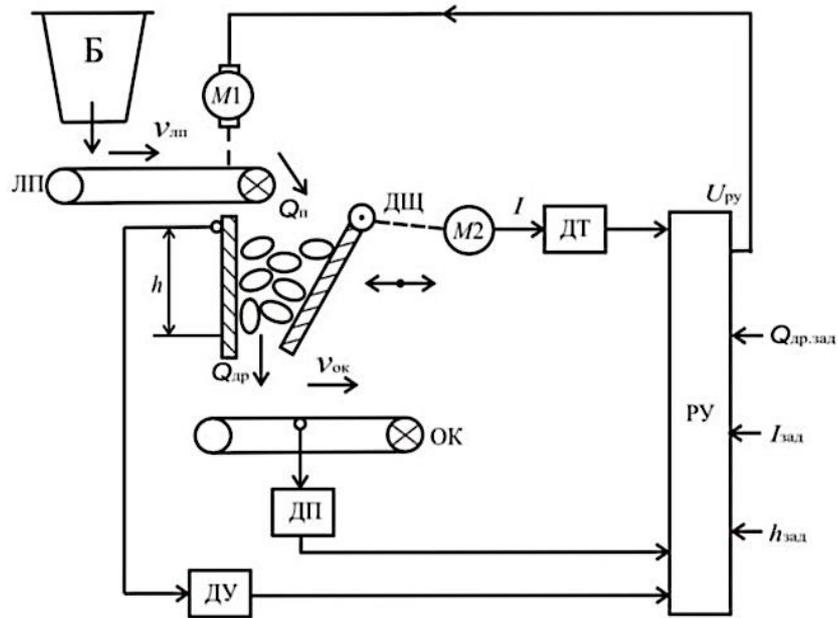


Рисунок 1.3 – Структурная схема САУ процесса дробления

Таблица 1.1 – Условные обозначения основных элементов в схеме

Обозначения	Наименование
Б	Бункер
ЛП	Ленточный питатель с регулируемым приводом
ДЩ	Дробилка щековая
ОК	Отгружающий конвейер
ДП	Датчик производительности дробилки
ДТ	Датчик производительности тока двигателя
ДУ	Датчик уровня заполнения камеры дробилки
РУ	Регулирующее устройство

Транспортировка: во время транспортировки минерал подвергается различным опасностям и рискам, таким как повреждение и разлив. Чтобы снизить эти риски, принимаются соответствующие меры безопасности, такие как крепление груза, использование специализированных контейнеров или перевозчиков и соблюдение соответствующих правил.

Разгрузка. По прибытии в пункт назначения минерал выгружается из транспортного средства и транспортируется на следующий этап переработки или использования.

В целом технологический процесс транспортировки полезных ископаемых включает несколько этапов и требует тщательного планирования, выполнения и контроля для обеспечения безопасной и эффективной транспортировки полезных ископаемых.

Однако конвейерное производство может также представлять различные факторы риска для безопасности работников и оборудования, если оно неправильно спроектировано, установлено, эксплуатируется и обслуживается. В этой главе изложен материал по технике безопасности и передовой практике в сфере конвейерного производства.

При конструировании и установке конвейерных систем следует учитывать конкретные требования и условия применения, а также соответствующие стандарты и нормы безопасности. Некоторые соображения по разработке и установке конвейерных систем включают:

- выбор подходящего типа и размера конвейера для конкретного применения;
- организация достаточного свободного пространства и расстояния для персонала и оборудования;
- обеспечение ограждений, барьеров и других элементов безопасности для предотвращения падений, столкновений и других опасностей;
- наличие надлежащего заземления и мер безопасности электрических компонентов конвейера;
- устанавливаются кнопки аварийной остановки, предупреждающие знаки и иные устройства безопасности для быстрого и легкого доступа в случае чрезвычайных ситуаций.

Эксплуатационные соображения. Безопасная эксплуатация конвейерных систем требует надлежащего обучения, контроля и мониторинга со стороны персонала, а также соблюдения стандартных рабочих процедур и предписаний по обеспечению производственной безопасности. Некоторые эксплуатационные соображения для конвейерных систем включают:

- обеспечение надлежащего обучения и контроля персонала, обслуживающего и эксплуатирующего конвейерную систему;
- контроль за соблюдением надлежащих процедур блокировки и контроля при проведении технического обслуживания и ремонта;
- регулярный осмотр и обслуживание компонентов конвейера, таких как ленты, шкивы и подшипники, для предотвращения износа и повреждений;
- контроль скорости, нагрузки и других параметров конвейера для предотвращения перегрузки и других угроз безопасности;
- внедрение системы своевременного и эффективного информирования и устранения проблем безопасности и инцидентов.

Техническое обслуживание и ремонт. Надлежащее техническое обслуживание и ремонт конвейерных систем необходимы для обеспечения их безопасной и надежной работы. Некоторые рекомендации по техническому обслуживанию и ремонту конвейерных систем включают:

- регулярный осмотр и очистка компонентов конвейера для предотвращения скопления мусора и материалов;
- смазка подшипников, цепей и других движущихся частей для уменьшения трения и износа;
- своевременная замена изношенных или поврежденных компонентов;
- проведение регулярного тестирования и калибровки устройств безопасности, таких как кнопки аварийной остановки и датчики;
- обеспечение надлежащего заземления и защиты всех электрических компонентов от влаги и других опасностей.

В заключение следует отметить, что конвейерное производство может быть безопасным и эффективным, если на всех этапах проектирования, установки, эксплуатации и технического обслуживания конвейерной системы соблюдаются надлежащие требования безопасности и передовые методы. Соблюдение стандартов и правил безопасности, обеспечение надлежащего обучения и контроля, внедрение.

## 1.2 Устройство ленточного питателя

Ленточный питатель — это тип конвейерной системы (рисунок 1.4), предназначенный для транспортировки и дозирования сыпучих материалов, таких как зерно, песок или гравий.

Основной принцип работы ленточного питателя заключается в следующем: ленту питателя поддерживают роlikоопоры: верхнюю ветвь — прямые или желобчатые, нижнюю — прямые. В движение ленту приводит приводной барабан, вал которого соединяется с приводом. Натяжной барабан с винтовым натяжным устройством отвечает за натяжение ленты.

Питатель оборудован загрузочной воронкой, через которую идет подача груза, регулируемая шиберным затвором. Разгрузка осуществляется через приводную станцию. Очистка ленты осуществляется скребком для очистки ленты. Если транспортируемый продукт пылевидный, питатель может быть оборудован укрытиями [3].

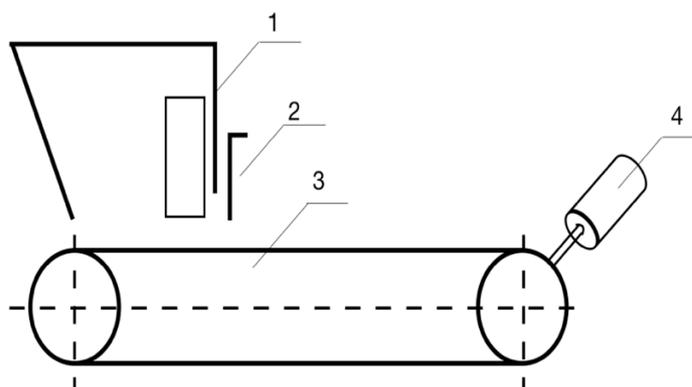


Рисунок 1.4 – Типовая схема ленточного питателя

Таблица 1.2 – Составные части конструкции питателя

№	Наименование	Назначение
1	Расходный бункер	Устройство для загрузки
2	Вертикальный шибер	Исполнительный механизм
3	Транспортерная лента	Перемещение материала
4	Частотный привод	Управление скоростью движения ленты

Лента обычно изготавливается из металла, полимеров, ПВХ или других прочных материалов, способных выдерживать большие нагрузки и истирание. Питатель обычно устанавливается под накопительным бункером, воронкой или контейнером, и материал подается на ленту под действием силы тяжести.

Устройство работает с постоянной скоростью и несет материал по своей длине, пока он не достигнет точки разгрузки, где он падает на конвейер или весы. Скорость и расход материала можно регулировать, контролируя скорость ленты и угол наклона желоба.

Одной из наиболее распространенных проблем, влияющих на работу транспортировки материала, является смещение ленты и проблемы с ее отслеживанием. Проблемы с отслеживанием ленты возникают, когда лента неправильно движется по раме, что приводит к её смещению в одну или другую сторону.

Для дальнейшего расчёта будет выбран ленточный питатель ПЛ-1000 (рисунок 1.5). Данные, которые потребуются в вычислениях указаны в таблицах 1.3 и 1.4 соответственно.



Рисунок 1.5 – Ленточный питатель ПЛ-1000

Таблица 1.3 – Технические характеристики ленточного питателя ПЛ-1000

Характеристика	Значение
Верхний предел производительности, м <sup>3</sup> /ч	55
Ширина ленты, мм	1000
Угол наклона питателя по трассе, град.	От 0 до 18
Скорость движения ленты, м/с	1,0 до 2,0
Установленная мощность, кВт	от 2,2 до 15

Таблица 1.4 – Габаритные размеры ПЛ-1000

Характеристика	Значение
Длина ленты, мм	2000
Ширина (по приводу), мм	3300
Высота (по патрубкам), мм	1560
Масса, кг	до 450

Заводская схема ленточного питателя ПЛ-1000 представлена на рисунке 1.6. Преимуществом является наличие мотор-редуктора у электродвигателя, данное решение является современным и используется во многих производствах.

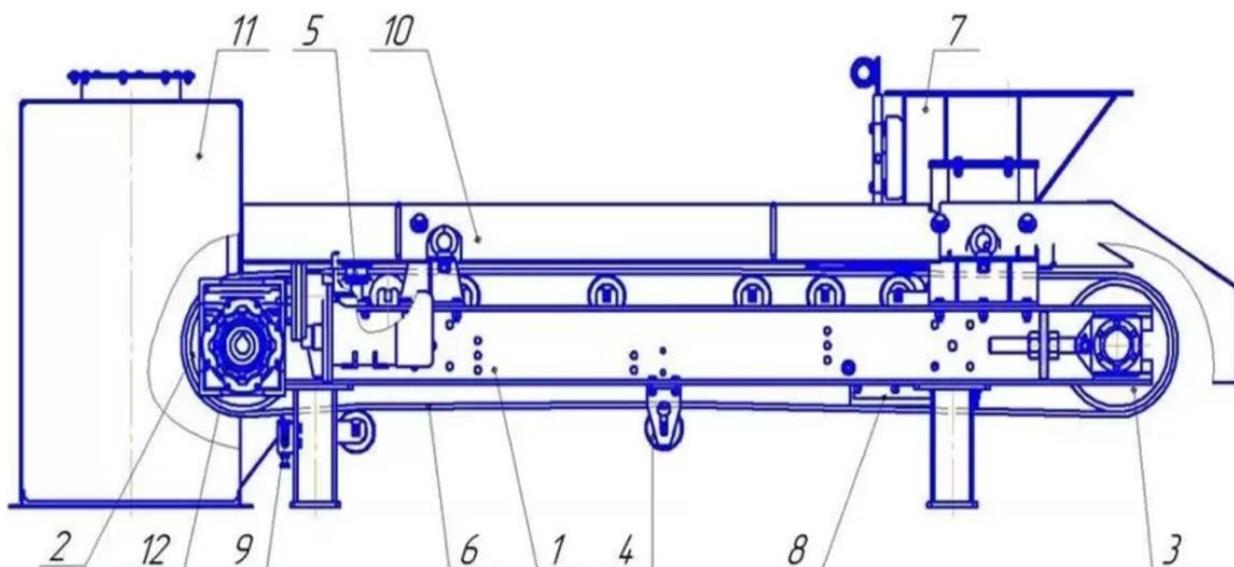


Рисунок 1.6 – Схема ленточного питателя ПЛ-1000

Описание указанных обозначений на схеме на рисунке 1.6, можно увидеть на таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Обозначения в схеме

№	Назначение
1	Рама
2	Приводной барабан
3	Натяжной барабан
4	Ролики конвейерные
5	Ролики дефлекторные
6	Лента (температурный диапазон минус 35 до плюс 60°С)
7	Формирующая воронка
8,9	Очистители ленты
10	Ограждение
11	Кожух аспирационный
12	Мотор-редуктор NMRV

### 1.3 Общие принципы работы электропривода ленточного питателя

Электропривод ленточного питателя – это важнейший компонент, который отвечает перемещение материалов по пути подачи (рисунок 1.7). В большинстве случаев электропривод состоит из электродвигателя, редуктора, который подсоединен к валу приводящий ленту в движение.

Электродвигатель – это сердце системы электропривода. Он преобразует электрическую энергию в механическую, которая используется для привода конвейерной ленты. Обычно в ленточных питателях используются электродвигатели переменного или постоянного, в зависимости от конкретных требований применения.



Рисунок 1.7 – Электрический привод ПЛ-1000

Для установки привода используется отдельная рама, обеспечивающая независимый от ленточного питателя монтаж и регулировку, а также удобство обслуживания и ремонта. Привод состоит из асинхронного электродвигателя и редуктора, установленных на общей раме, в свою очередь компенсирующие муфты применяют для передачи крутящего момента от вала двигателя к входному валу редуктора и от выходного вала редуктора к валу привода питателя.

Принципиальная схема изображена на рисунке 1.8.

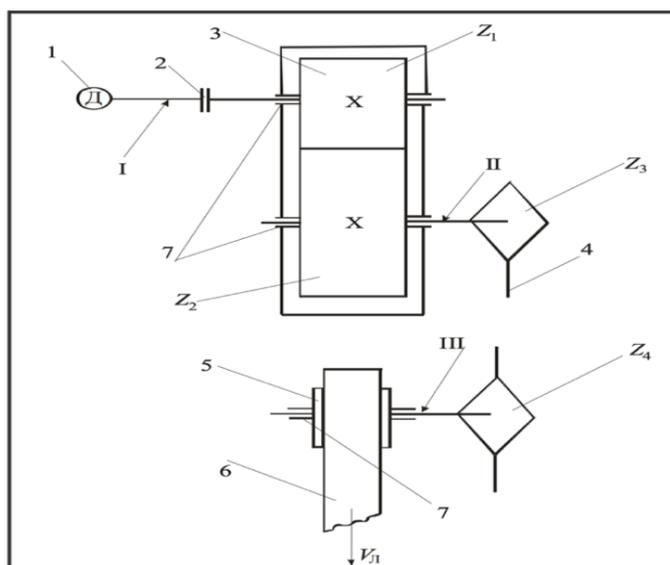


Рисунок 1.8 – Принципиальная схема привода ленточного питателя

Таблица 1.6 – Описание принципиальной схемы

№	Назначение
1	Электродвигатель
2	Муфта
3	Редуктор цилиндрический
4	Цепная передача
5	Барабан
6	Лента
7	Подшипники качения
I	Вал шестерни (ведущий вал)
II	Вал колеса (ведомый)
III	Вал приводного барабана

Система управления электроприводом ленточного питателя обычно включает датчики, которые измеряют скорость ленты, нагрузку и положение и посылают сигналы обратной связи на привод.

Одним из преимуществ электропривода ленточного питателя является то, что он обеспечивает высокую эффективность и экономию энергии по сравнению с другими типами приводов, такими как гидравлические или пневматические приводы. Электропривод может работать на высоких скоростях и обеспечивать точное управление скоростью ленты и скоростью потока, при этом уменьшая потери энергии и выбросы.

Еще одним преимуществом электропривода ленточного питателя является то, что он прост в установке и обслуживании и может быть интегрирован с другими системами управления и технологиями автоматизации.

Электропривод может управляться и контролироваться дистанционно, а также может быть запрограммирован на регулировку скорости ленты и расхода в соответствии с конкретными требованиями и условиями процесса.

Как итог, принцип работы электропривода ленточного питателя является надежным и эффективным методом транспортировки и дозирования сыпучих материалов и может обеспечить значительные преимущества в плане производительности, энергоэффективности и эксплуатационной гибкости.

### **1.3 Постановка задачи дипломной работы**

Основной задачей при разработке системы управления регулирования скорости ленточного питателя является точное измерение скорости потока материала и соответствующая регулировка скорости ленты.

Это требует использования датчиков и исполнительных механизмов, которые могут отслеживать и контролировать движение ленты, а также алгоритмов, которые могут интерпретировать данные датчиков и вносить соответствующие изменения в скорость ленты.

Дипломная работа требует выполнения следующих заданий:

- Создать систему регулирования работы объекта;
- Выбрать оборудование;
- Получить функциональную схему процесса автоматизации;
- Вычислить математическую САР канала управления скоростью ленты;
- Выполнить настройку регулятора эмпирическими методами и сравнить ее с ручной настройкой ПИД-регулятора Tune.

## 2 Разработка автоматической системы регулирования

Для обеспечения эффективной и безопасной работы важно регулировать производительность ленточного питателя. Один из способов сделать это – разработать автоматическую систему, которая может отслеживать и регулировать производительность ленточного питателя в режиме реального времени.

Производительность пластинчатых и ленточных питателей определяется из выражения

$$Q = kBhv\delta\varphi, \quad (2.1)$$

где  $Q$  – производительность, т/ч;

$k$  – безразмерный коэффициент ( $k \approx 3,6$ );

$B$  – ширина ленты, м;

$h$  – высота слоя материала, м;

$v$  – скорость ленты, м/с;

$\delta$  – плотность массы материала, т/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коэффициент наполнения ленты ( $\varphi = 0,75 \div 0,80$ ).

Производительность пластинчатых и ленточных питателей можно регулировать плавно изменением скорости ленты  $v$  или высоты слоя  $h$  материала на ленте. Например, пусть привод ленточного транспортера будет регулировать скорость перемещения ленты используя реостат для цепи обмотки возбуждения, таким образом расходные характеристики, на рисунке 2.1 линейные [1].

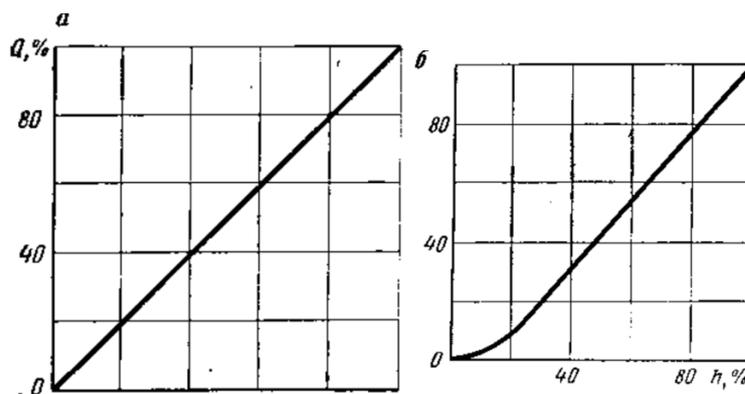


Рисунок 2.1 – Расчетная и рабочая характеристики питателя  $Q = f(h)$   
а – теоретическая; б – рабочая

### 2.1 Разработка функциональной и структурной схемы управления

В промышленной автоматизации и управлении процессами объект управления – это материальный или искусственный объект, который используется для регулирования процесса или системы. Целью использования

объектов управления является поддержание желаемого уровня производительности или выхода при минимизации отходов, ошибок и других негативных последствий.

Разработка функциональной схемы автоматического управления предполагает создание графического представления, которая иллюстрирует различные компоненты и их взаимодействие в системе управления. Ниже перечислены шаги, связанные с разработкой функциональной схемы автоматического управления:

- определить конкретный объект или процесс, требующий управления. В случае автоматического управления скоростью ленточного питателя объектом управления является система ленточного питателя;

- определить соответствующие входы и выходы системы управления. Входы могут включать заданные значения расхода, измерения плотности материала или обратную связь от датчиков. Выходные сигналы обычно включают управляющие сигналы для регулировки скорости ленты;

- определить датчики, необходимые для измерения соответствующих переменных в системе. Для управления скоростью ленточного питателя могут потребоваться такие датчики, как датчики расхода, датчики уровня или тензодатчики для обеспечения обратной связи с потоком материала;

- определить исполнительные механизмы, отвечающие за регулировку скорости ленты. В данном случае исполнительным механизмом может быть контроллер двигателя, который регулирует скорость двигателя ленточного питателя;

- определить стратегии управления, исходя из требований и целей системы. Общие стратегии управления для регулирования скорости ленточного питателя включают пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) управление, управление с прогнозированием модели или усовершенствованные алгоритмы управления;

- определите блоки управления или модули, представляющие различные функции управления. Эти блоки включают обработку входных данных, сбор данных с датчиков, управление исполнительными механизмами и сам алгоритм управления. Соедините блоки, чтобы представить поток информации и сигналов управления.

Стоит рассмотреть возможность включения мер безопасности, таких как кнопки аварийного останова, концевые выключатели или алгоритмы обнаружения неисправностей для защиты оборудования и предотвращения опасных ситуаций. Проверьте функциональную схему с помощью моделирования или тестирования, чтобы убедиться, что она соответствует желаемым целям управления. При необходимости проведите итерации проекта, чтобы доработать схему управления на основе требований к производительности и системе.

Разработанная функциональная схема служит чертежом для реализации системы автоматического управления и обеспечивает руководство для выбора и

интеграции аппаратных и программных компонентов, необходимых для успешной реализации.

Функциональная схема ленточного питателя с учетом всех вышеуказанных требований представлена в Приложении А.

Разработка структурной схемы управления предполагает создание иерархической структуры, которая описывает организационную структуру, функции, задачи и взаимосвязи подчинения в рамках управленческой системы. Она дает четкое представление о том, как устроена организация и как различные отделы или подразделения взаимодействуют друг с другом.

Для структурной схемы нужно включить контуры обратной связи, чтобы обеспечить управление по замкнутому контуру. Это предполагает сравнение желаемой уставки с фактическими измеренными значениями и использование сигнала ошибки для корректировки управляющего сигнала.

Структурная схема ленточного питателя (рисунок 2.2).

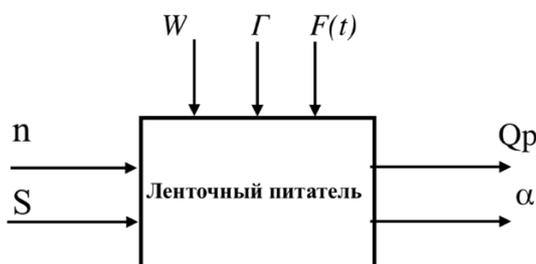


Рисунок 2.2 – Структурная схема ленточного питателя как объект управления

Таблица 2.1 – Условные обозначения на схеме

Воздействия	Обозначение	Описание
Входные управляющие воздействия	$n$ , об/мин	Частота вращения электрического двигателя
	$S$ , мм	Положение заслонки выпускного отверстия бункера
Входные возмущающие воздействия	$W$ , %	Влажность исходного материала
	$\Gamma$ , %	Наличие глин, нарушающих сыпучесть материала
	$F(t)$	Помехи (например, износ оборудования)
Выходные параметры	$Q_p$ , т/ч	Производительность ленточного питателя
	$\alpha$ , %	Содержание контрольного класса крупности в руде

## 2.2 Получение математической модели объекта

Вычислим производительность питателя ПЛ-1000 исходя их данных таблицы 1.3. В характеристике ПЛ-1000 производительность указана в  $\text{м}^3/\text{ч}$  для перехода на т/ч используем формулу

$$Q_p(\text{т / ч}) = Q(\text{м}^3/\text{ч}) \times \delta \quad (2.2)$$

Плотность агломерата железной руды  $\delta$  равняется  $2(\text{т}/\text{м}^3)$ .

$$Q_p(\text{т/ч}) = 55 \times 2 = 110 \quad (2.3)$$

Исходя из данных научной литературы применим метод под названием «Q-параметризация» [5]. Допустим, входной параметр – расход вещества  $p(t)$ , выходной – вес  $m(t)$ , тогда передаточная функция ленточного питателя имеет вид

$$W_{\text{тр}}(s) = \frac{M(s)}{P(s)} \quad (2.4)$$

Поток вещества от бункера  $p_1(t)$ , а поток, направляемый на ленту  $p(t)$ . Используя равенство материального баланса, вычислим массу производного материала:

$$\frac{dm}{dt} = p - p_1 \quad (2.5)$$

Скорость питателя неизменна, значит

$$\begin{cases} p_1(t) = p(t - \tau), \\ \tau = \frac{v}{L} \end{cases} \quad (2.6)$$

где  $\tau$  – время запаздывания, [с];

$v$  – скорость 2[м/с];

$L$  – длина транспортной ленты, 2[м].

Уравнение материального баланса после преобразования имеет вид:

$$\frac{dm(t)}{dt} = p(t) - p(t - \tau) \quad (2.7)$$

Применим преобразование Лапласа:

$$\begin{cases} L\left\{\frac{dm(t)}{dt}\right\} = sM(s), \\ L\{p(t)\} = P(s), \\ L\{p(t - \tau)\} = P(s)e^{-\tau s}, \\ sM(s) = P(s) - P(s)e^{-\tau s} \end{cases} \quad (2.8)$$

Следовательно:

$$\frac{M(s)}{P(s)} = W_{\text{пл}}(s) = \frac{1-e^{-s\tau}}{s} \quad (2.9)$$

Преобразуем  $e^{-s\tau}$  используя аппроксимацию ряда Паде:

$$e^{-s\tau} \approx \frac{1-s\frac{\tau}{2}}{1+s\frac{\tau}{2}} \quad (2.10)$$

Получим номинальную передаточную функцию ленточного питателя:

$$W_{\text{пл}}^0(s) = \frac{\tau}{\frac{\tau}{2}s+1} = \frac{1}{0,5s+1} \quad (2.11)$$

Для того чтобы привести ленту в движение необходим электропривод, в конструкцию которого входит электродвигатель, передаточное устройство и преобразователь частоты.

Характер движения электропривода описывает уравнение моментов:

$$M = M_{\text{ст}} + M_{\text{д}} \quad (2.12)$$

где  $M$  – вращающий момент двигателя;

$M_{\text{ст}}$  – статический момент сопротивления механизма;

$M_{\text{д}}$  – динамический момент.

Таблица 2.2 – Исходные данные для расчета

$Q_p$	$f$	$L$	$\eta_{\text{п}}$
т/ч	-	м	%
110	0,7	2	0,8

При работе электродвигателя в установившемся режиме  $M = M_{\text{ст}}$ , выбор проводится исходя из выполнения условия:

$$P_{\text{ном}} \geq P_p \quad (2.13)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность [Вт];

$P_p$  – расчетная мощность [Вт].

Расчетная мощность для горизонтального ленточного питателя

$$P_p = \frac{Q_p f L}{\eta_{\text{п}}}, \quad (2.14)$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$\eta_{\text{п}}$  – КПД передачи червячного мотор-редуктора.

Подставим значения параметров по данным таблицы 2.2 и вычислим расчетную мощность питателя:

$$P_p = \frac{110 \times 0.7 \times 2}{0.008} = 19250 \text{Вт} \quad (2.15)$$

Выбираем по каталогу электродвигатель (таблица 2.3) закрытый, серии 4А, типоразмер 90L4, так как для питателя требуется номинальная мощность 2,2кВт.

Таблица 2.3 – Каталожные данные асинхронного двигателя

Тип двигателя	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	N, об/мин	Энергетические и механические параметры				
			КПД, %	$\cos\varphi$ , %	$s_{\text{НОМ}}$ , %	$s_{\text{К}}$ , %	$m_{\text{К}}$
4А90L4УЗ	2,2	1500	80	0,83	5,1	33	2,4

Асинхронный двигатель – это тип электродвигателя, широко используемый в различных промышленных процессах. Его работа основана на принципе электромагнитной индукции, когда вращающееся магнитное поле создается за счет взаимодействия обмоток статора и ротора.

В отличие от синхронных двигателей, асинхронные двигатели не требуют внешней синхронизации с частотой источника питания. КПД асинхронного двигателя показывает, насколько эффективно он преобразует электрическую энергию в механическую. Двигатели с более высоким КПД приводят к снижению потребления энергии и уменьшению эксплуатационных расходов.

Коэффициент мощности – это показатель того, насколько эффективно двигатель использует подводимую к нему электрическую энергию. Низкий коэффициент мощности может привести к увеличению потерь энергии и снижению общей эффективности системы.

Пуск и управление. Пусковой момент – это крутящий момент, создаваемый двигателем при запуске. Он зависит от различных факторов, таких как конструкция двигателя, сопротивление ротора и приложенное напряжение при запуске.

Методы запуска. Асинхронные двигатели могут запускаться различными методами, включая пуск по прямой линии, пуск по схеме "звезда-треугольник", автотрансформаторный пуск и электронные устройства плавного пуска. Эти методы помогают ограничить пусковой ток и снизить механические напряжения при запуске двигателя.

Регулирование скорости. Асинхронные двигатели могут управляться с помощью различных методов, таких как частотно-регулируемые приводы (ЧРП), которые позволяют точно контролировать скорость двигателя путем регулировки частоты и напряжения, подаваемого на двигатель.

Асинхронные двигатели универсальны, надежны и экономически эффективны, что позволяет широко использовать их в таких приложениях, как насосы, вентиляторы, компрессоры, конвейеры и многие другие промышленные процессы.

Понимание параметров асинхронного двигателя необходимо для правильного выбора двигателя, эффективной работы и надежной производительности в различных промышленных приложениях.

При сокращении параметров асинхронного двигателя в названии принято использовать стандартные сокращения, обозначающие конкретные параметры.

Таблица 2.4 – Сокращения для параметров асинхронного двигателя

Наименование	Описание
P	Мощность
ST	Пусковой момент
RV	Напряжение ротора
RR	Сопротивление ротора
THD	Коэффициент нелинейных искажений

Асинхронные двигатели в каталогах часто классифицируются по типоразмерам и их характеристикам. В асинхронных двигателях типоразмеры обычно обозначают физические размеры и мощность двигателя. Типоразмеры могут быть представлены в виде буквенно-цифровой комбинации, где буквы указывают на физический размер, а числа обозначают мощность.

Однако, точные обозначения типоразмеров могут различаться в зависимости от производителя и региона. Типоразмер асинхронного двигателя – это стандартная размерная классификация, которая определяется по внешним габаритам и крепежным отверстиям корпуса двигателя. Размеры корпусов асинхронных двигателей стандартизованы, и типоразмеры обычно обозначаются буквенно-цифровыми обозначениями (например, АБ, А, В, Г, 63, 71 и т.д.), в зависимости от мощности, диаметра и высоты корпуса.

В каталогах асинхронных двигателей обычно указывают типоразмер, мощность, частоту, напряжение и скорость вращения вала, а также другие технические параметры, такие как КПД, крутящий момент, ток и т.д. В зависимости от конструкции и характеристик, асинхронные двигатели могут быть разделены на несколько типов.

Перегруженный двигатель может привести к ряду проблем, которые могут вызвать его преждевременный выход из строя. С другой стороны, недогруженный двигатель также может стать причиной таких проблем, как снижение эффективности использования топлива и увеличение выбросов.

Проверка нагрузки на двигатель является важной частью обеспечения надлежащего функционирования и долговечности двигателя.

Работа двигателя под оптимальной нагрузкой может повысить эффективность использования топлива, тем самым снижая расходы на топливо. Двигатель, работающий с недостаточной нагрузкой, может потреблять больше топлива, чем необходимо, что приводит к пустой трате топлива и денег.

Перегрузка двигателя может привести к выходу его работы за пределы безопасного рабочего диапазона, что может привести к авариям и травмам. Регулярная проверка нагрузки на двигатель может помочь убедиться, что двигатель работает безопасно и в пределах рекомендуемых рабочих параметров.

Правильный контроль и регулировка нагрузки могут предотвратить перегрев, максимально повысить эффективность использования топлива, снизить уровень выбросов, увеличить долговечность и обеспечить безопасную эксплуатацию.

Проверим выбранный двигатель по нагрузке, приведенный к валу, на перегрузочную способность при перегрузках в рабочем режиме, во время пуска.

Проверка по перегрузочной способности сводится к проверке выполнения условий:

$$P_{\text{ном}} \geq \frac{P_{\text{max}}}{\lambda_{\text{м.доп}}}, \quad (2.16)$$

где  $P_{\text{max}}$  – максимальная мощность двигателя по нагрузке, кВт;  
 $\lambda_{\text{м.доп}}$  – допустимая перегрузочная способность.

С учетом требований правил устройств электроустановок (ПУЭ)

$$\lambda_{\text{м.доп}} \approx 0,64 \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}, \quad (2.17)$$

где  $M_{\text{max}}$  – максимальный момент двигателя;  
 $M_{\text{ном}}$  – номинальный момент двигателя.

По каталогу двигателя кратность моментов составляет 2,4.

$$\lambda_{\text{м.доп}} = 0,64 \times 2,4 = 1,536. \quad (2.18)$$

Максимальная мощность электродвигателя по нагрузке определяется по формуле 2.19, подставим значения моментов из расчетов 2.20 и 2.21:

$$P_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} \times n}{9575}, \quad (2.19)$$

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \times 9575}{n(1-s_{\text{н}})}, \quad (2.20)$$

$$M_{max} = M_{ном} \times 1,536 = \frac{2,2 \times 9575}{1500(1-0,051)} \times 1,536 = 22,7, \quad (2.21)$$

$$P_{max} = \frac{22,7 \times 1423,5}{9575} = 3,3. \quad (2.22)$$

Максимальная мощность по нагрузке составляет  $P_{max} = 3,3$  [кВт], проверим выполнение условия перегрузочной способности 2.15:

$$2,2 \geq 2,14 \quad (2.23)$$

Вывод: выбранный электродвигатель 4А90L4УЗ прошел проверку на перегрузочную способность.

Построим естественную механическую характеристику выбранного асинхронного двигателя для анализа статических и динамических режимов электрического привода. Она также известна как "кривая механической характеристики двигателя" или "характеристика крутящего момента-скорости".

Важно отметить, что на естественную механическую характеристику асинхронного двигателя влияют различные факторы, такие как конструкция двигателя, сопротивление ротора, инерция ротора и тип нагрузки, к которой он подключен. Кроме того, электрические характеристики двигателя, такие как напряжение питания и частота, также влияют на механические характеристики.

Понимание естественных механических характеристик асинхронного двигателя имеет решающее значение для правильного выбора, управления и эксплуатации двигателя. Оно помогает определить производительность двигателя при различных условиях нагрузки и помогает в разработке эффективных и надежных систем управления двигателем.

График зависимости  $n = f(M)$  частоты вращения ротора от момента на валу получают, учитывая связь скольжения и числа оборотов двигателя в минуту.

Формула скольжения

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad (2.24)$$

где  $s$  – скольжение;

$n_1$  и  $n$  – синхронная и номинальная частота вращения об/мин.

Таким образом, используя данные таблицы 2.4 получим механическую характеристику асинхронного двигателя.

Для построения графика рекомендовано найти данные минимум по десяти точкам. Данные по частоте вращения и моменту кроме основных режимов, вычислим меняя значение скольжения.

Таблица 2.4 – Расчетные данные

s	0	0,051	0,2	0,22	0,3	0,33	0,4	0,54	0,8	1
M, Нм	0	14,7	20,12	20,9	22,59	22,7	22,28	20,2	14,4	13,5
n, об/мин	1500	1423,5	1200	1170	1050	1005	900	700	300	0

На рисунке 2.3 показаны четыре основные точки:

- холостой ход  $s = 0$ ,  $n_1 = 1500$  об/мин,  $M = 0$  Нм;
- номинальный режим  $s = 0,051$ ,  $n = 1423,5$  об/мин,  $M_H = 14,7$  Нм;
- критический режим  $s_K = 0,33$ ,  $n = 1005$  об/мин,  $M = 22,7$  Нм;
- пусковой режим  $s_{II} = 1$ ,  $n = 0$  об/мин,  $M = 13,5$  Нм.

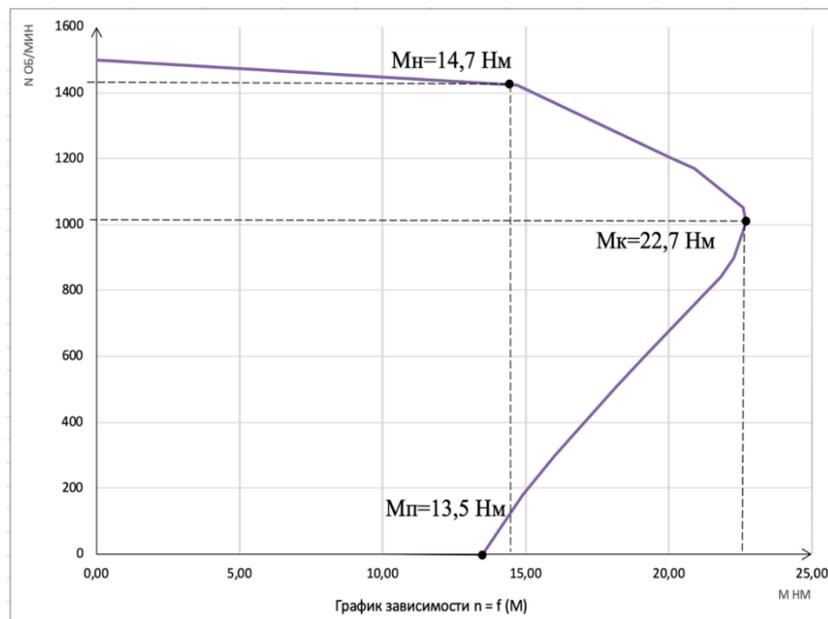


Рисунок 2.3 – Естественная механическая характеристика двигателя

Производительность  $p(t)$  ленточного питателя прямо пропорциональна угловой скорости  $\omega(t)$  приводного барабана.

$$p(t) = K_{\text{пит}} \times \omega(t) \quad (2.25)$$

Используя преобразование Лапласа, получим

$$\Omega(s) = L\{\omega(t)\}, \quad (2.26)$$

$$P(s) = K_{\text{пит}} \times \Omega(s). \quad (2.27)$$

Угловая скорость имеет зависимость от величины задания, вычисляемым напряжением управления ПЧ  $U_{\text{упр}}$ , согласно [6,7] имеет инерционный характер:

$$P(s) = K_{\text{пит}} \frac{K_{\text{п}} \beta}{T_{\text{э}} s + 1} H_{\text{упр}}(s), \quad (2.28)$$

где  $K_{\text{пит}} = 0,32$  [кг] – коэффициент передачи;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент передачи;

$T_{\text{э}}$  – механическая постоянная времени двигателя;

$H_{\text{упр}}$  – управляющее напряжение преобразователя частоты.

Параметры двигателя, согласно [7], вычислим используя паспортные данные электродвигателя из таблицы 2.2:

$$T_{\text{э}} = \frac{1}{\omega_0 s_k} = 0,034 \text{ с}, \quad (2.29)$$

$$\beta = \frac{2M_k}{\omega_0 s_k} = 2,2 \text{ Нм/с}, \quad (2.30)$$

$$K_{\text{п}} = \frac{\omega_0}{U_y} = 15,7 \text{ с}^{-1} \text{ В}^{-1} \quad (2.31)$$

Получим номинальную передаточную функцию двигателя ленточного питателя:

$$W_{\text{пит}}^0(s) = 0,32 \frac{34,54}{0,034s + 1} \quad (2.32)$$

В работе используется частотный способ регулирования скорости асинхронного двигателя с использованием преобразователя частоты (рисунок 2.4).

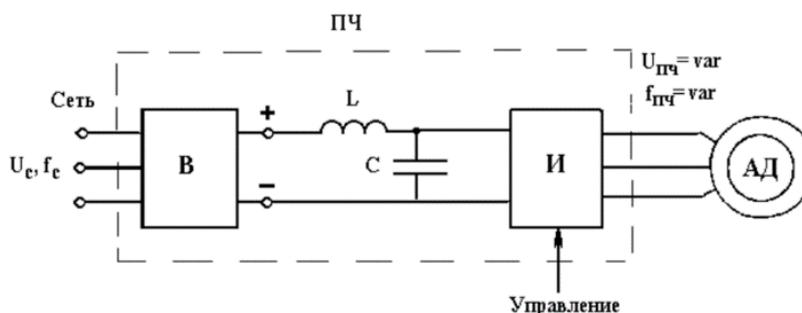


Рисунок 2.4 – Типовая схема преобразователя частоты

Передаточную функция преобразователя частоты можно описать по его коэффициенту:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{f_{\text{max}}}{U_{3f}} = K_{\text{пч}} \quad (2.33)$$

$K_{пч}$  определится по отношению максимальной частоты тока статора и максимального напряжения, подаваемое с устройства управления

$$K_{пч} = \frac{f_{max}}{U_{3f}} = \frac{50[\text{Гц}]}{10[\text{ВТ}]} = 5[\text{Гц/ВТ}] \quad (2.34)$$

Датчик скорости определяется пропорциональным звеном и принимается равным единице.

$$W_{дск}(p) = 1 \quad (2.35)$$

Таким образом математическое описание САУ управления производительностью ленточного питателя может быть записана в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} W(p) = \frac{M(p)}{P(p)} = \frac{1-e^{-p\tau}}{p} \\ W_P(p) = K_{пит} \times \Omega(p) = K_{пит} \times \frac{K_{п} \times \beta}{T_3(p)+1} \\ W_{пч}(p) = \frac{f(p)}{U_{3f}(p)} = K_{пч} \\ W_{дск}(p) = K_c \end{array} \right. \quad (2.36)$$

### 2.3 Анализ динамических свойств объекта управления

Математическая модель объекта системы служит основой для проведения анализа и получения представления о поведении системы. Данный анализ системы управления включает в себя изучение ее поведения, устойчивости и эксплуатационных характеристик. Его цель – понять, как система реагирует на входные сигналы, как она достигает устойчивого или переходного состояния, и как она работает с точки зрения достижения желаемых целей.

Состав анализа и синтеза управления (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Задачи управления

Структурная схема математической модели питателя по каналу скорости движения ленты (рисунок 2.6).

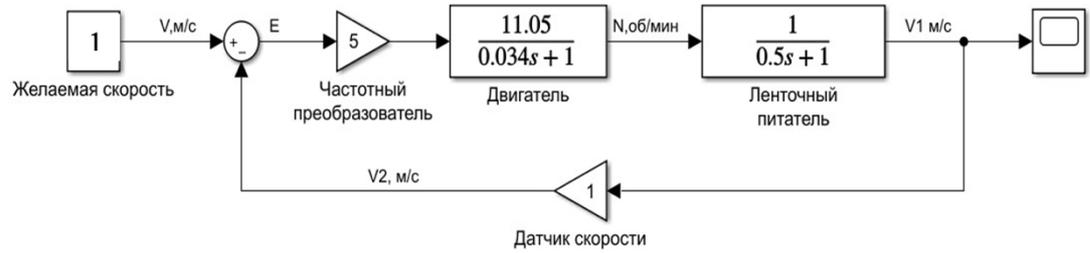


Рисунок 2.6 – Система управления скоростью ленты питателя

Передаточная функция разомкнутой системы ленточного питателя:

$$G(s) = \frac{55.25}{0.017s^2 + 0.534s + 1} \quad (2.37)$$

Получим результаты моделирования разомкнутой системы (рисунок 2.7).

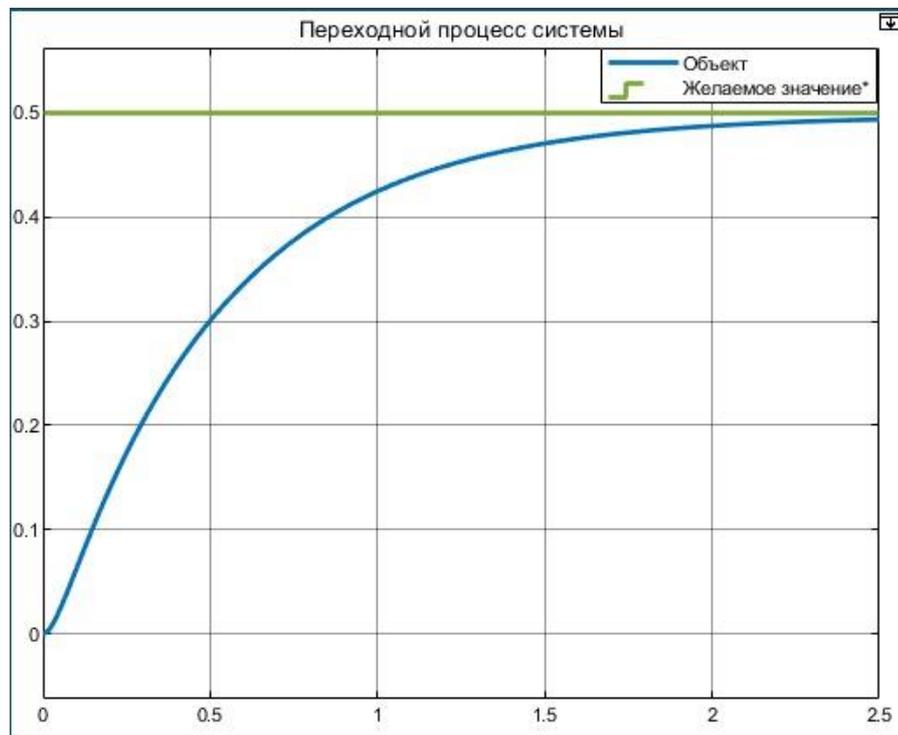


Рисунок 2.7 – Переходной процесс разомкнутой системы

На рисунке 2.7 видно, что система без возмущений имеет монотонный переходной процесс. Предварительно можно сделать вывод, что система устойчива.

Исследование устойчивости алгебраическим методом. Для проверки вывода об устойчивости системы исследуем РСАР (2.37).

Алгоритм определения устойчивости по критерию Гурвица.  
Шаг 1. Определим характеристическое уравнение.

$$(a_0s^n + a_1s^{n-1} + a_2) = 0, \quad (2.38)$$

$$0.017s^2 + 0.534s + 1 = 0 \quad (2.39)$$

Заметим, что  $a_0$  положительное,  $n$  равно 2.

Шаг 2. Построение матрицы Гурвица ( $n$  строк и  $n$  столбцов):

$$H = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.534 & 0 \\ 0.017 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.40)$$

Шаг 3. Найдем определители главных диагональных миноров матрицы Гурвица:

$$\Delta_1 = 0.534 > 0, \quad (2.41)$$

$$\Delta_2 = \det \begin{vmatrix} 0.534 & 0 \\ 0.017 & 1 \end{vmatrix} = 0.534 > 0 \quad (2.42)$$

Шаг 4. Вывод по результатам. Разомкнутая САР устойчива по критерию Гурвица, так как:

- а) все элементы характеристического уравнения положительны;
- б) все определители главных диагональных миноров положительны.

Кроме критерия Гурвица, для определения устойчивости, в автоматическом управлении активно применяется первый метод Ляпунова. Данный метод включает в себя три теоремы (рисунок 2.8).

#### Теоремы Ляпунова (первый метод):

- Теорема 1. *Динамическая система устойчива, если и только если все ее полюса имеют отрицательные действительные части (полюса левые).*
- Теорема 2. *Динамическая система неустойчива, если и только если хотя бы один из ее полюсов имеет положительную действительную часть (полюса правые).*
- Теорема 3. *Динамическая система на границе устойчивости, если и только если она имеет хотя бы один нулевой или пару чисто мнимых полюсов, при отрицательности остальных полюсов.*

Рисунок 2.8 – Условия устойчивости по первому методу Ляпунова

Определим устойчивость системы используя первый метод Ляпунова.  
Алгоритм метода.

Шаг 1. По характеристическому уравнению (2.39) определим корни полинома, т.е. полюса.

$$s_1 = -29.4118, \quad (2.43)$$

$$s_2 = -2 \quad (2.44)$$

Шаг 2. Вывод по результатам. Так как все действительные части корней характеристического уравнения отрицательные, то согласно теореме один, по первому методу Ляпунова, разомкнутая САР устойчива.

Таким образом, с помощью критерия Гурвица и применения первого метода Ляпунова, удалось доказать предположение об устойчивости системы.

Графическое изображение (2.9) расположения полюсов РСАР на комплексной области получим с помощью команды pzmap(G), а корневой годограф командой rlocus(G).

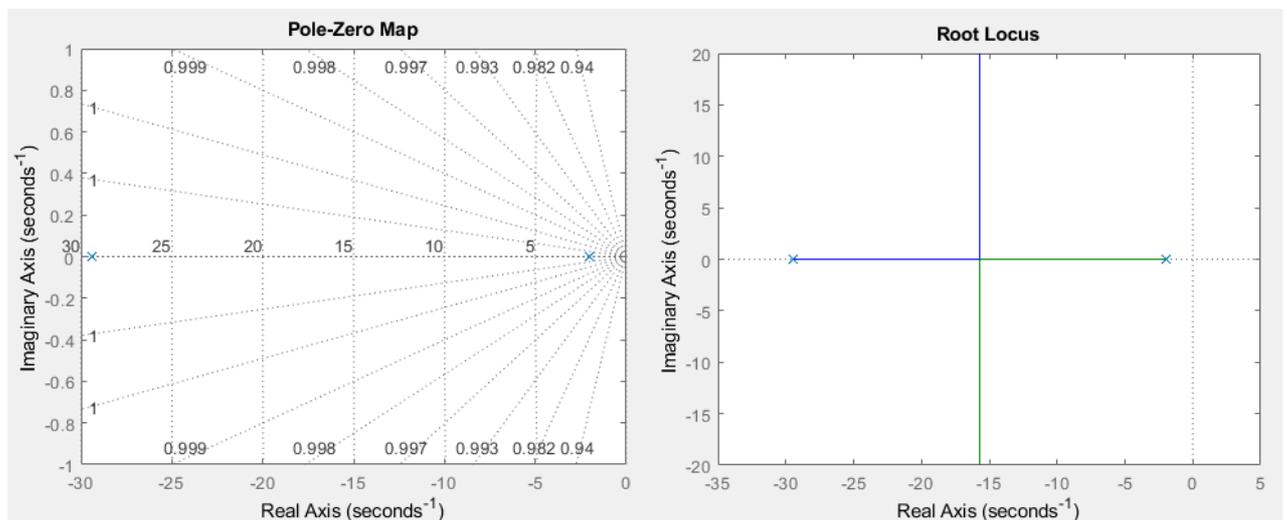


Рисунок 2.9 – Полюса и нули РСАР на комплексной области и корневой годограф RL

Так как разомкнутая система устойчива, определим её прямые оценки качества. Прямые оценки качества системы анализируется по ее переходному процессу (рисунок 2.7).

Для монотонного процесса проводится анализ двух оценок, а именно время регулирования и время нарастания. Получим следующие оценки качества разомкнутой системы.

Характеристика 1. Время регулирования  $T_{set}$  – время затраченное на достижение системы установившегося значения  $y_{ss}$  :

$$T_{set} = 1.99 \text{ с} \quad (2.45)$$

Характеристика 2. Время нарастания:

$$T_R = 1.1 \text{ с} \quad (2.46)$$

Исходя из критерия Найквиста система устойчива, если АФЧХ разомкнутой САР не охватывает точку  $(-1, j_0)$ . Проверим устойчивость по графику АФЧХ разомкнутой системы (рисунок 2.10), выполним построение с помощью команды `nyquist(G)`.

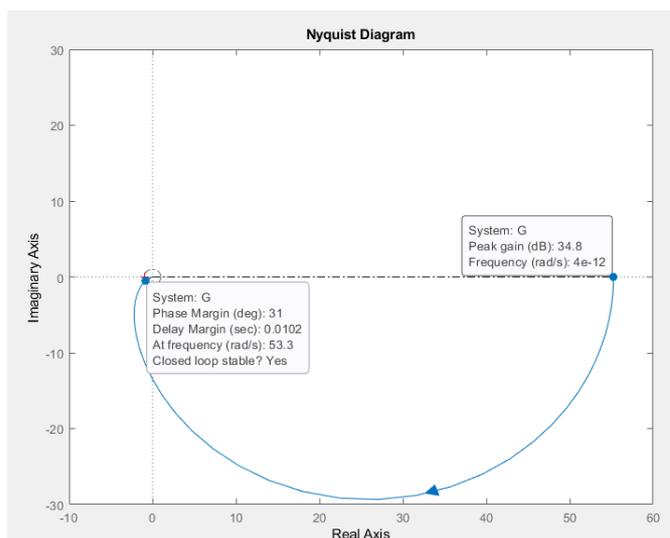


Рисунок 2.10 – АФЧХ разомкнутой системы

Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ изображены на рисунке 2.11. Анализируя графики делаем вывод, что система устойчива. Запасы устойчивости по амплитуде составляет 0.086 дБ, а по фазе минус 149 градусов.

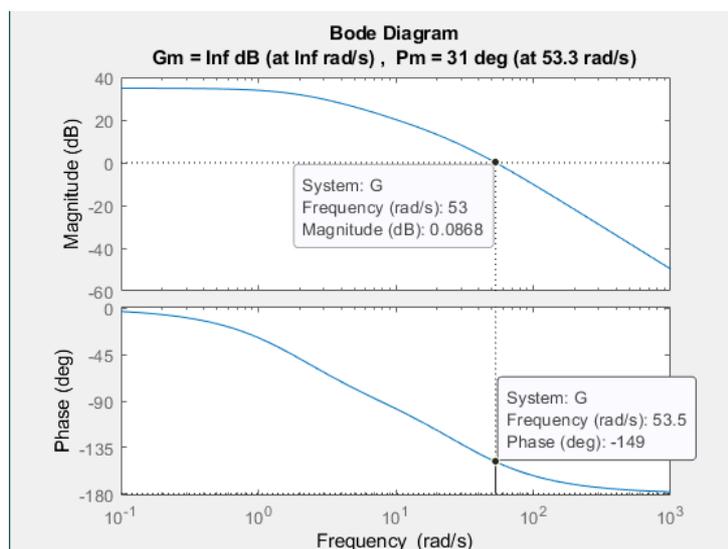


Рисунок 2.11 – ЛАЧХ и ЛФЧХ с запасами устойчивости по амплитуде и по фазе

Передаточная функция замкнутой системы управления:

$$T(s) = \frac{55.25}{0.017s^2 + 0.534s + 56.25} \quad (2.47)$$

Получим график переходного процесса (рисунок 2.12), относительно которого найдем прямые оценки качества для анализа системы.

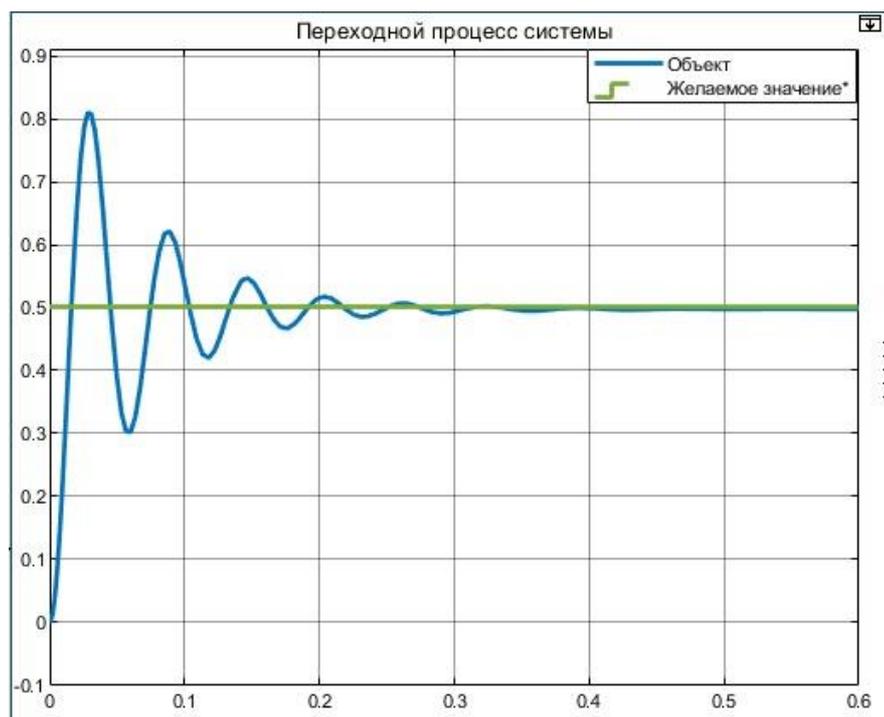


Рисунок 2.12 – Замкнутая система объекта без регулятора

Таблица 2.5 – Прямые оценки качества переходного процесса

Оценка качества	Обозначение	Значение	Норма	Соответствие требованиям
Время регулирования	$T_{set}$	0.25с		-
Перерегулирование	$P_{ov}$	40.14%	10-20%	Не соответствует
Число колебаний	$M$	3	0-1	Не соответствует
Колебательность	$\mu$	15.7%		-
Период колебаний	$T$	0.13с		-
Установившаяся ошибка	$\varepsilon_{ss}$	0	0	Соответствует
Время достижения первого максимума	$T_p$	0.06		-
Время нарастания	$T_R$	0.028с		-
Декремент затухания	$\chi$	6.33		-

### 3 Синтез регулятора для управления производительностью объекта

В автоматическом регулировании регулятор является ключевым компонентом, который необходим для поддержания и контроля желаемого выходного сигнала или регулирующей переменной процесса системы.

Основная задача регулятора – постоянно контролировать выходное значение системы и сравнивать его с желаемой уставкой. На основе этого сравнения регулятор предпринимает соответствующие действия по корректировке входов или параметров системы, чтобы вернуть выход к желаемому значению и поддерживать его в заданных пределах.

Использование П, ПИ, ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференцирующего) может способствовать достижению ленты питателя желаемой скорости 0.5 м/с. Такие регуляторы – распространенный способ регулирования выходной величины, который постоянно корректирует управляющий сигнал в зависимости от ошибки между заданным значением и полученной скоростью. Ниже описано как ПИД-регулятор может быть реализован для управления скоростью питателя.

Пропорциональное (P) управление. Пропорциональный член ПИД-регулятора прямо пропорционален ошибке между желаемой скоростью (уставкой) и измеренной скоростью. Пропорциональное управление генерирует сигнал управления, который пропорционален величине ошибки. Он обеспечивает немедленную реакцию на ошибку и помогает быстро ее уменьшить. Регулируя пропорциональный коэффициент усиления, можно управлять чувствительностью реакции регулятора на ошибку.

Интегральное (I) управление. Интегральный член ПИД-регулятора учитывает накопленную ошибку с течением времени. Он интегрирует сигнал ошибки для создания управляющего сигнала, который корректирует любую устойчивую или установившуюся ошибку. Интегральный коэффициент помогает устранить ошибки смещения и обеспечивает долгосрочную коррекцию. Регулируя интегральный коэффициент усиления, можно управлять реакцией регулятора на устойчивые ошибки.

Производное (D) управление. Производный член ПИД-регулятора учитывает скорость изменения ошибки. Он прогнозирует будущую ошибку на основе текущей скорости изменения, помогая демпфировать любые быстрые изменения в системе. Член D обеспечивает корректирующее действие, которое противодействует перерегулированию или недорегулированию. Регулируя коэффициент усиления производной, можно управлять реакцией контроллера на резкие изменения ошибки.

Чтобы достичь желаемой скорости 0.5 м/с, с помощью ПИД-регулятора, контроллер будет постоянно измерять фактическую скорость питателя и вычислять ошибку (разницу между желаемой и фактической скоростью).

Вначале реакция контроллера будет определяться пропорциональным членом, чтобы быстро уменьшить ошибку скорости. Интегральный член будет постепенно накапливаться и корректировать любую ошибку в установившемся

режиме. Производный член помогает гасить любые колебания или быстрые изменения скорости, улучшая стабильность и отклик.

При соответствующей настройке коэффициентов усиления ПИД-регулятора путем экспериментов и моделирования, регулятор может достичь желаемой скорости 0.5 м/с минимальным перерегулированием, быстрым откликом и высокой надежностью.

Постановка задачи синтеза регулятора:

а) Для объекта управления получить результаты настройки типовых регуляторов эмпирическими методами, которые подходят для переходного процесса разомкнутой системы (ZN1, CHR);

б) Провести анализ оценок качества по переходным процессам: без и с регуляторами;

в) Обосновать, какой тип регулятора и метод настройки обеспечивает желаемый режим.

### 3.1 Эмпирический метод настройки регулятора

По переходному процессу разомкнутой системы получим коэффициенты для настройки типовых регуляторов по эмпирическим методам Циглера-Никольса №1 и Чина Хронеса-Ресвика.

Алгоритм метода ZN №1.

Шаг 1. Проведем касательную (рисунок 3.1) для монотонного процесса. Таким образом получим параметры для дальнейшего расчета:

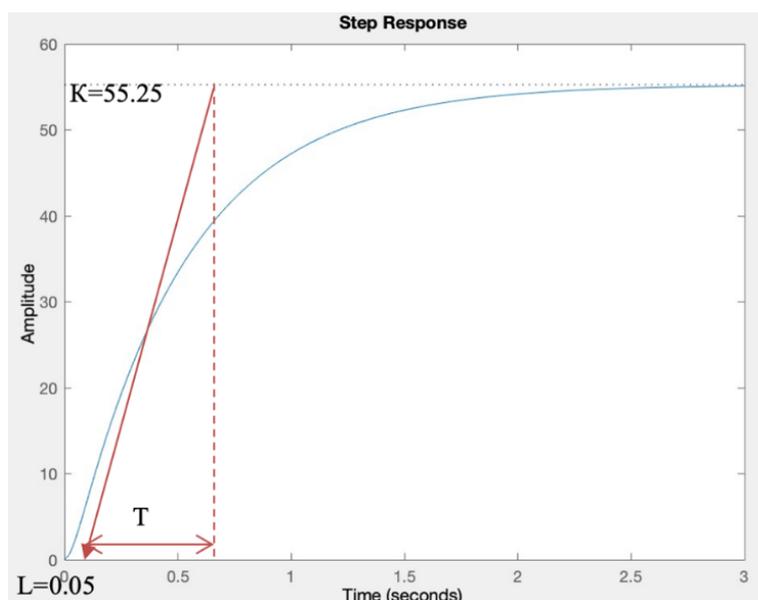


Рисунок 3.1 – Поиск параметров для расчета

Таким образом получим параметры для дальнейшего расчета:

$$K = 55.25, \quad (3.1)$$

$$L = 0.05, \quad (3.2)$$

$$T = 0.6 \quad (3.3)$$

Шаг 2. Выполним расчет параметров ПИД-регулятора методом ZNN№1, полученные данные занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Коэффициенты для настройки регулятора

	P	I	D
P	0.22	0	0
PI	0.198	0.16	0
PID	0.264	0.1	0.025

Шаг 3. Про моделируем типовые регуляторы в программе MATLAB. Схема для моделирования представлена на рисунке 3.2, по данной схеме будут выполнены все методы настройки регулятора.

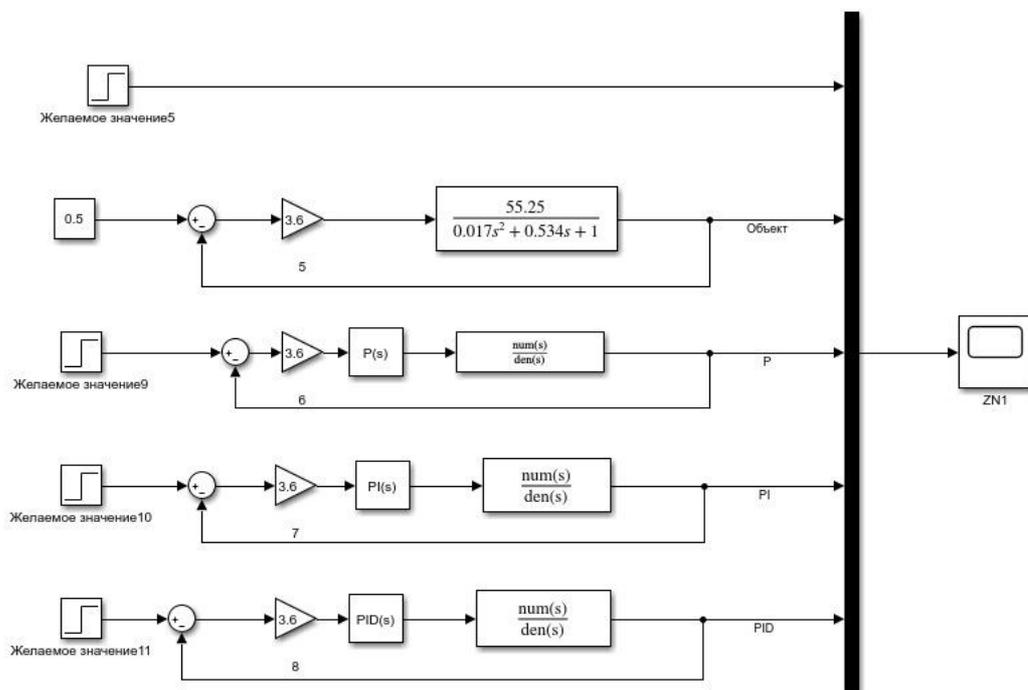


Рисунок 3.2 – Модель схемы

Шаг 4. Анализ результата моделирования. График (рисунок 3.3) показал, что классический ПИД-регулятор ZN №1 дает более качественные оценки переходного процесса при использовании ПИ-регулятора.

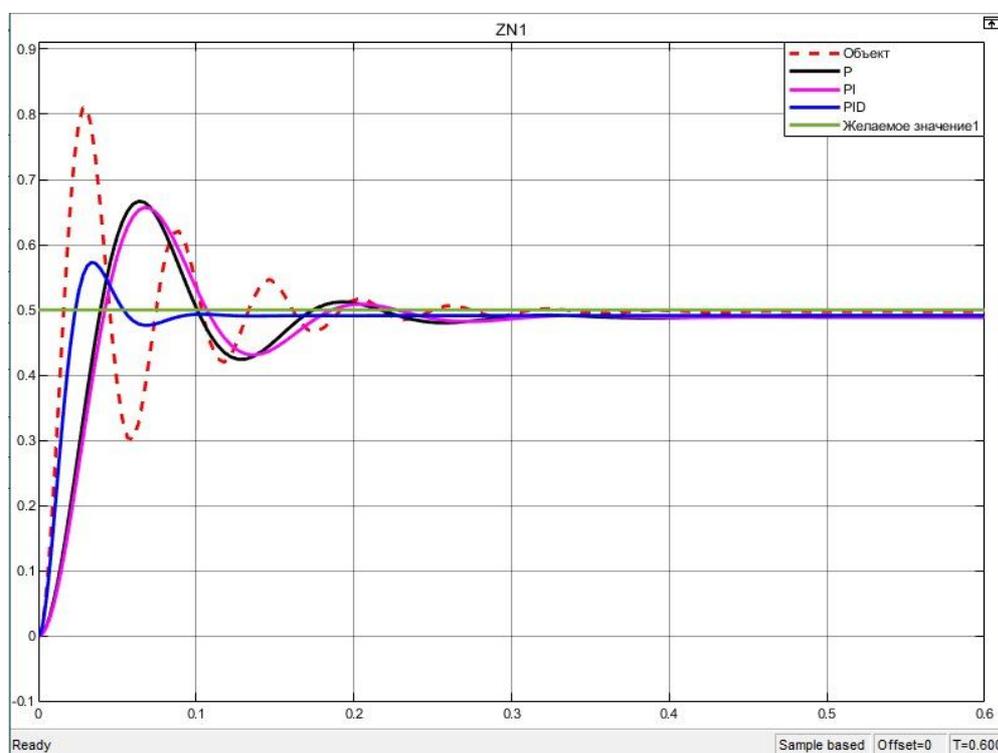


Рисунок 3.3 – Получение результатов моделирования в среде MATLAB

Таблица 3.2 – Прямые оценки качества

Оценки качества	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Время регулирования	0.25 с	0.32 с	0.28 с	0.55 с
Перерегулирование	40.14%	11.7%	1.53%	-
Число колебаний	3	1	1	1
Установившаяся ошибка	0	0.1	0	0.1

Вывод: ПИД-регулятор исходя из данных таблицы 3.2 настроенный методом ZN №1 соответствует желаемым требованиям. Перерегулирование достигло минимального значения 1.53%, таким образом достигнута требуемая скорость питателя 0.5 м/с. Значит производительность так же улучшилась благодаря данному типовому регулятору.

Алгоритм настройки регулятора методом CHR.

Шаг 1. Используя рассчитанные коэффициенты по формулам (3.1, 3.2, 3.3), произведем настройку регулятора. Данные внесем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Расчет коэффициентов регулятора

	P	I	D
P	0.066	0	0
PI	0.132	0.2	0
PID	0.209	0.1	0.021

Шаг 2. Моделирование системы. Для этого необходимо в блоке регулятора Simulink открыть окно настроек (рисунок 3.4), а затем с помощью блока scope получить результаты в виде графика(рисунок 3.5).

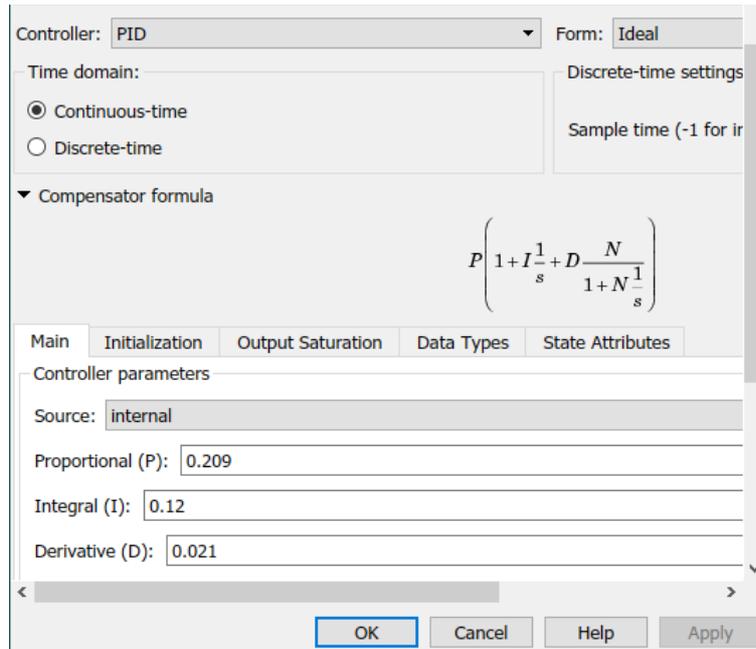


Рисунок 3.4 – Окно настроек параметра ПИД- регулятора

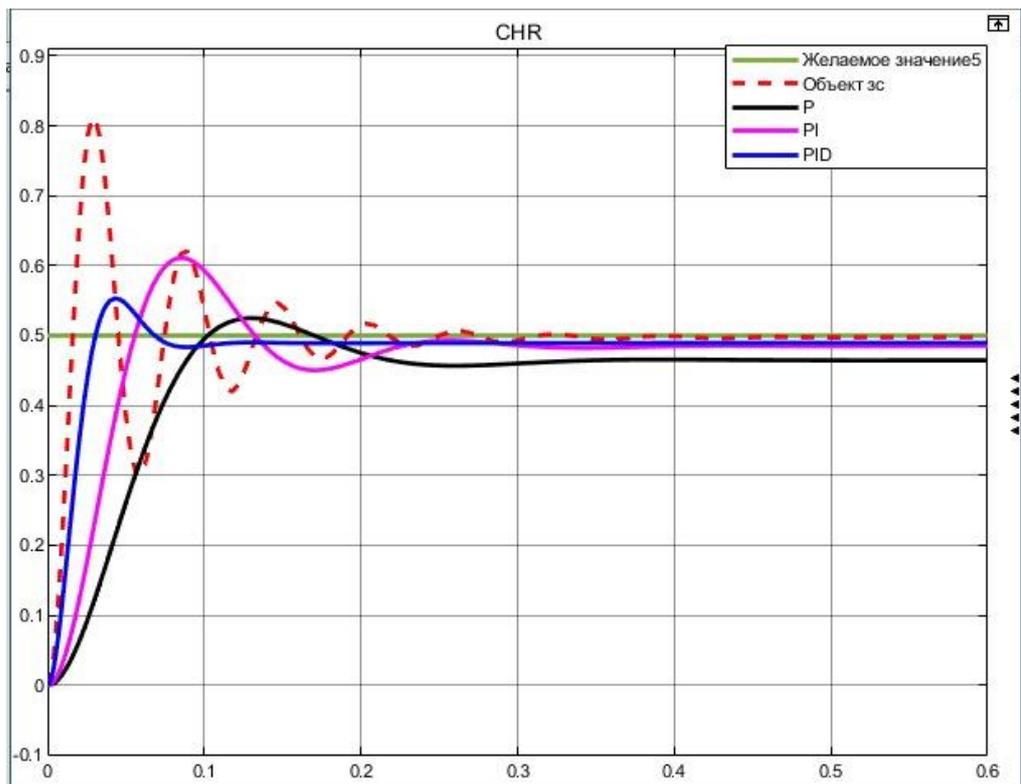


Рисунок 3.5 – Результаты моделирования

Шаг 3. Анализ результатов по прямым оценкам качества.

Таблица 3.4 – Прямые оценки качества

Оценки качества	Без регулятора	P- регулятор	PI- регулятор	PID- регулятор
Время регулирования	0.25 с.	0.47 с.	0.3 с.	0.25 с.
Перерегулирование	40.14%	23.1%	1.3%	17.6%
Число колебаний	3	1	1	1
Установившаяся ошибка	0	0.02	0	0.01

Вывод: ПИ-регулятор методом CHR соответствует желаемым требованиям. В данном случае этот метод минимизирует ошибку относительно случайных возмущений.

### 3.2 Метод ручной настройки командой Tune программы MATLAB

Для настройки регулятора программой MATLAB используются различные встроенные функции и инструменты, доступные в MATLAB Control System Toolbox.

Инструментарий предоставляет несколько методов проектирования и настройки контроллера, включая ручную настройку, классические методы и передовые методы оптимизации, упрощая достижение желаемых характеристик управления и стабильности системы. Для ручной настройки Tune можно воспользоваться расчетом коэффициентов типового регулятора с помощью командной строки.

Листинг программы для расчета представлен в приложении Б. После выполнения алгоритма, MATLAB самостоятельно выведет результаты моделирования системы с регулятором.

Полученные данные внесем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Коэффициенты регулятора Tune методом

	P	I	D
P	0.234	0	0
PI	0.0225	0.104	0
PID	0.029	0.0972	0.00123

График моделирования представлен на рисунке 3.6.

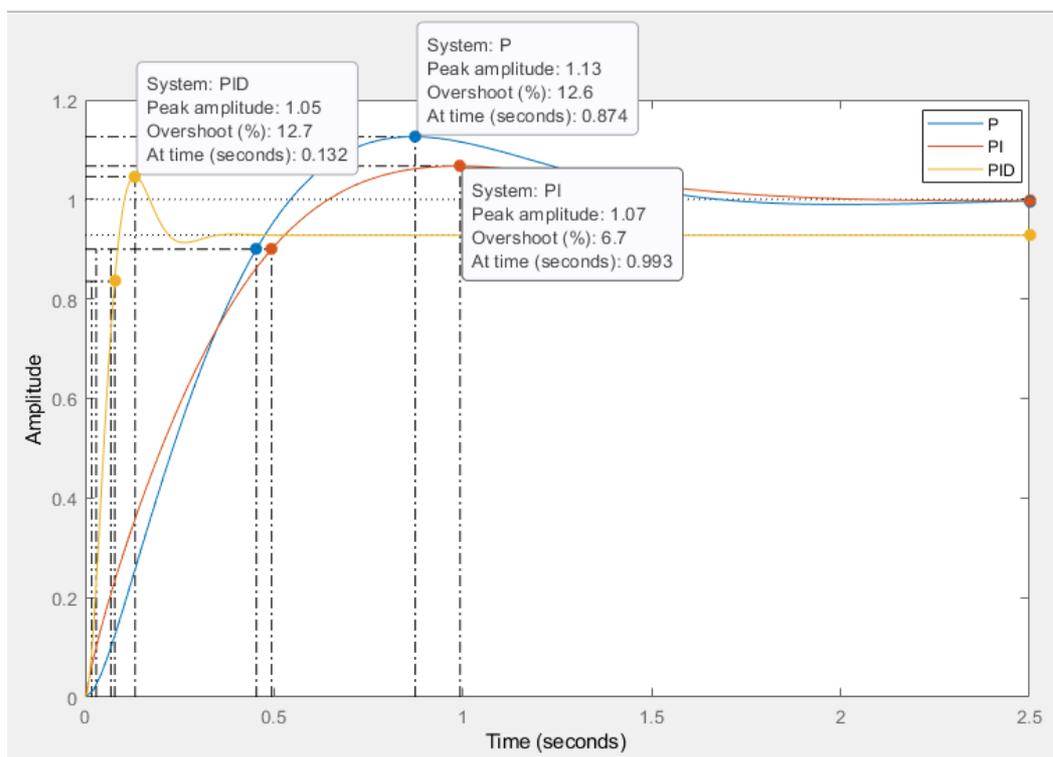


Рисунок 3.6 – Результат моделирования регуляторов

Анализ системы с регуляторами занесем в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Прямые оценки качества

Оценки качества	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Время регулирования	2.2 с.	1.5 с.	0.35 с.
Перерегулирование	12.6%	6.7%	12.7%
Число колебаний	1	1	1
Время нарастания	0.385	0.464	0.16
Установившаяся ошибка	0	0	0.02

Так как программа не учитывает желаемую скорость питателя, необходимо самостоятельно собрать схему для моделирования системы и выполнить настройку уже имеющихся коэффициентов с дальнейшим улучшением их оценок качества.

Обратим внимание, что настройка параметров для эмпирических методов выполняются в идеальной форме, в то время как для Tune требуется параллельная.

Окно настроек ПИ-регулятора изображено на рисунке 3.7.

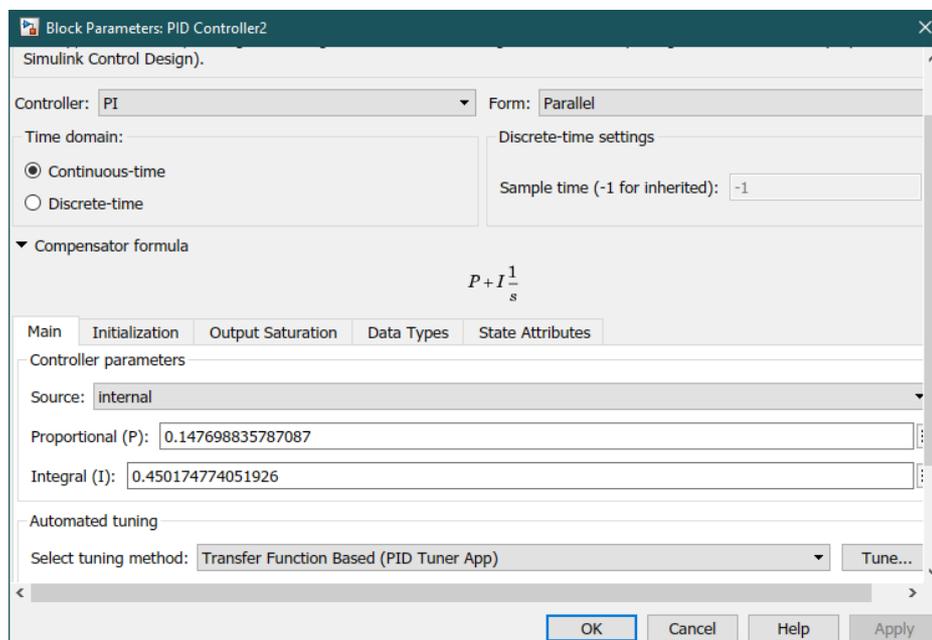


Рисунок 3.7 – Настройка ПИ-регулятора

В результате ручной настройки способом Tune, на графике моделирования (рисунок 3.8) можно заметить уставку 2 м/с, к которой приходят типовые регуляторы. Наилучшим считается ПИ-регулятор.

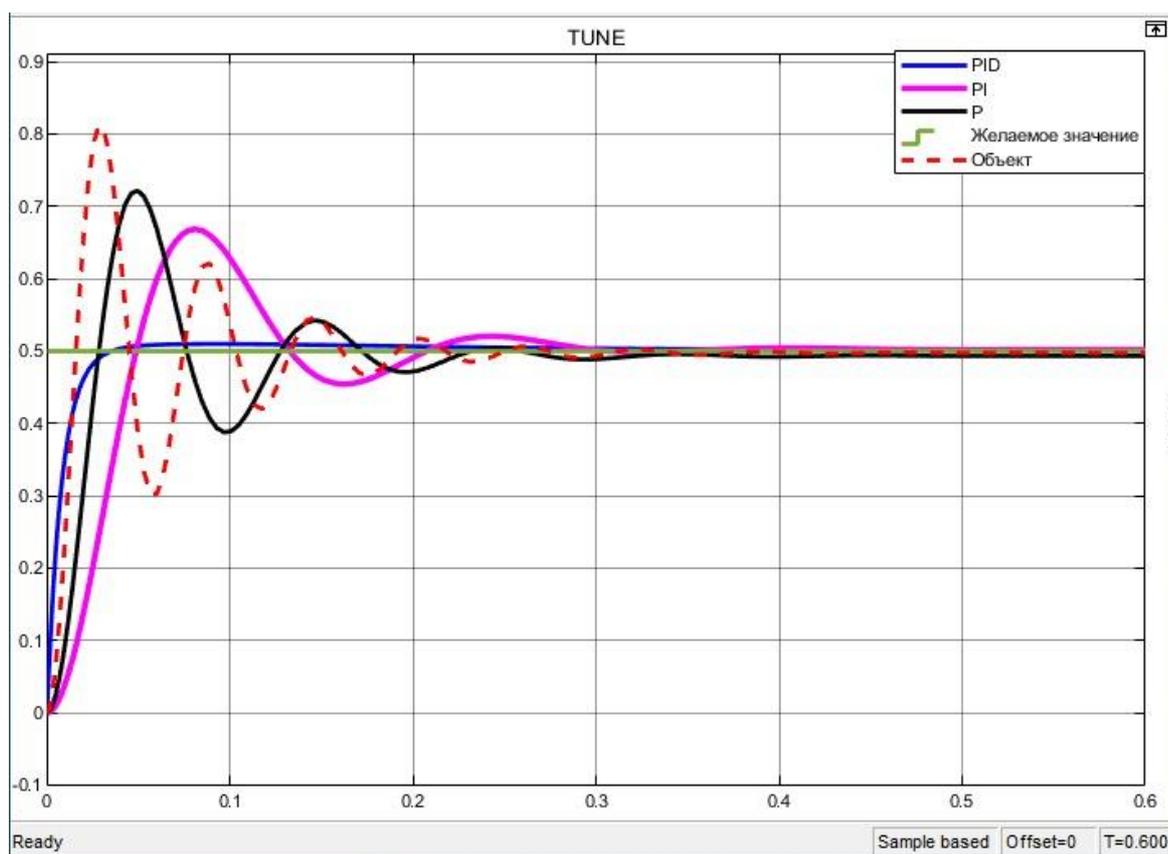


Рисунок 3.8 – Результаты ручной настройки

Таблица 3.7 – Прямые оценки качества регулятора методом Tune

Оценки качества	Без регулятора	P-регулятор	PI-регулятор	PID-регулятор
Время регулирования	0.25 с.	0.45 с.	0.81 с.	0.73 с.
Перерегулирование	40.14%	32.6%	11.7%	5.8%
Число колебаний	3	2	1	-
Установившаяся ошибка	0	0.02	0	0.02

Для принятия решения, какой из вышеописанных методов имеет максимальное соответствие желаемым требованиям оценок качества переходного процесса с регулятором, следует провести сравнительный анализ всех ПИ-регуляторов. Составим схему, в которой будут ПИ-регуляторы, настроенные методом ZN №1, CHR и Tune.

Графическое изображение итогов моделирования системы (рисунок 3.9).

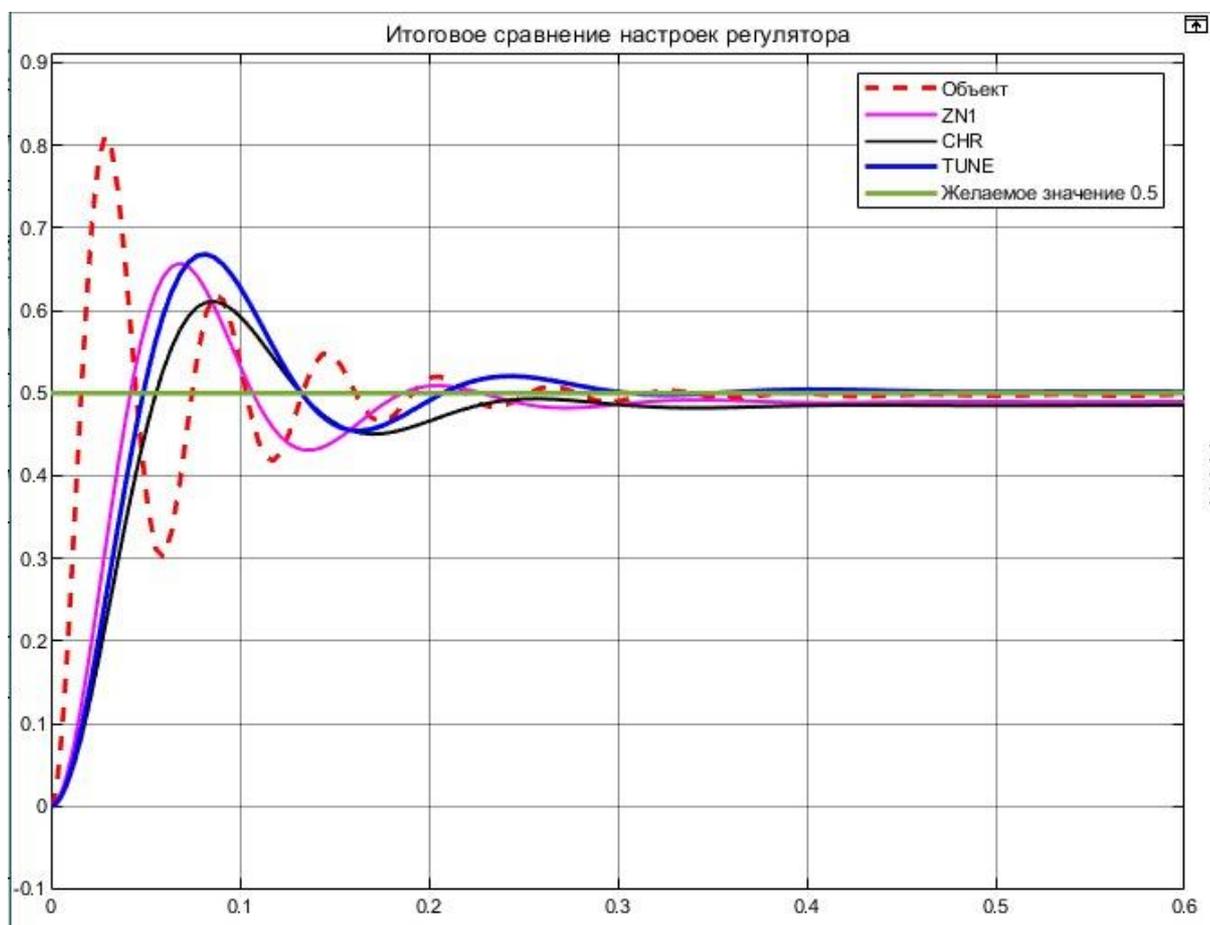


Рисунок 3.9 – График сравнения настроек

Анализ оценок качества переходного процесса приведен в сравнительной таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Оценки качества

Прямые оценки качества	Система без регулятора	Tune	CHR	ZN №1
$T_{set}$	0.28с	0.37с	2.1с	1.9с
$P_{ov}$	40.14%	1.798%	14.1%	10.05%
$T_R$	0.022с	0.04с	0.037с	0.05с
$e_{ss}$	0	0	0	0
M	3	1	1	1

Вывод: Самым эффективным методом настройки оказался Tune. Главным преимуществом ручной настройки является его простота поиска коэффициентов регулятора и понятность регулировки.

Таким образом была достигнута задача линейной системы управления ленточным питателем, при котором используя ПИ-регулятор, оператор может достичь регулирования скорости ленты на заданную уставку 2 м/с, тем самым влияя на производительность работы объекта.

## 4 Выбор аппаратной базы объекта управления

При осуществлении отбора устройств для автоматике в целях регулирования производительности питателя можно изучить устройства компании Siemens. Ниже приведен список, используемый в таких системах.

Программируемый логический контроллер (рисунок 4.1) служит центральным блоком управления для системы автоматизации. Siemens предлагает ряд ПЛК, подходящих для различных приложений, например, серию SIMATIC S7. Выбор модели ПЛК, отвечающую конкретным требованиям вашей системы ленточного питателя, принимая во внимание такие факторы, как емкость ввода/вывода, вычислительная мощность и коммуникационные возможности.

Человеко-машинный интерфейс (ЧМИ) позволяет операторам контролировать и управлять системой ленточного питателя. Siemens предлагает различные решения HMI, включая панели SIMATIC HMI и программное обеспечение WinCC. При выборе устройства HMI учитывают такие факторы, как размер дисплея, сенсорные функции, возможности подключения и простота программирования.

Датчики используются для измерения таких важных параметров, как скорость ленты, расход материала, уровень и контроля схода ленты. Siemens предлагает ряд датчиков, подходящих для промышленного применения, включая ультразвуковые, радарные и лазерные датчики.

Частотно-регулируемые приводы используются для управления скоростью и крутящим моментом двигателя ленточного питателя. Siemens предлагает ряд приводов SINAMICS, подходящих для различных типов двигателей и номинальной мощности. При выборе частотного преобразователя учитывают такие факторы, как совместимость с двигателем, функции управления и энергоэффективность.

Устройства автоматизации Siemens поддерживают различные коммуникационные протоколы, такие как PROFIBUS, PROFINET и Ethernet/IP. Выбранные аппаратные устройства должны быть совместимы с инфраструктурой коммуникационной сети на вашем предприятии.



Рисунок 4.1 – Siemens S7-1500 программируемый контроллер

Таблица 4.1 – Характеристики

Степень защиты	IP20 согласно стандарту IEC 60 529
Диапазон рабочих температур	
Горизонтальная установка	0... + 60°C (при 50°C дисплей отключается)
Относительная влажность	5%...95%, без конденсата
Атмосферное давление	1080 ... 795 гПа ( - 1000 ... + 2000 м над уровнем моря)
Испытательное напряжение изоляции	
для цепей до 50 В	707 В (типовой тест)
для цепей 250 В	2500 В

Для выбранного ПЛК выберем частотный преобразователь АВВ acs880 01 той же фирмы (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Преобразователь частоты Siemens SINAMICS V20 2,2 кВт, 380В

Таблица 4.2 – Характеристики

Диапазон напряжений	208-240В; 380-480 В
Выходная частота	0- 550 Гц
КПД	97%
Степень защиты	IP20/NEМА 1
Входы	4 цифровых входа; 2 аналоговых входа
Выходы	2 цифровых выхода; 1 аналоговый выход

Для качественной работы ленты питателя, необходимо предусмотреть аварийные ситуации. Для этого будет не лишним установить датчик контроля схода ленты ДКСЛ-6320 НПК "ТЕКО" (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Датчик схода ленты

Таблица 4.3 – Характеристика датчика

Параметр	НПК «ТЕКО»
Напряжение питания, В	250 В А/С/до 400 мА
Угол срабатывания	30
Присоединение	Кабель 4x0,25 кв мм
Тип контакта	переключающий
Цена, тг	44380

Выберем датчик скорости фирмы Siemens MD-256 (рисунок 4.4), он совместим для работы с датчиком контроля веса.



Рисунок 4.4 – Датчик скорости

Таблица 4.4 – Характеристики датчика скорости

Питание	от +10 до +1 5В пост. тока, 30 мА - от интегратора
Температура	от -40 до 55 0С
Вход	вращение вала от 0,5 до 470 об/мин, в двух направлениях
Выход	однонаправленный понижающий выход с открытым коллектором +5В пост. тока, макс. 25 мА (к интегратору) 256 импульсов на оборот от 2 до 2000 Гц
Сертификаты	CE, NEMA 4X, IP65

Для питателя можно применить конвейерные весы (рисунок 4.5), поскольку объект имеет одинаковую конструкцию и назначение. Выберем из каталога весы конвейерные PCS-100Б фирмы CST.

Таблица 4.5 – Основные характеристики весов

Характеристики	Ед. изм.	Параметры
Наибольшая производительность	Т/ч	до 10 000
Точность взвешивания	%	0,1 - 0,5
Диапазон температур для весоприёмной платформы	С°	-45...+70
Диапазон температур для блока индикации	С°	-10...+40

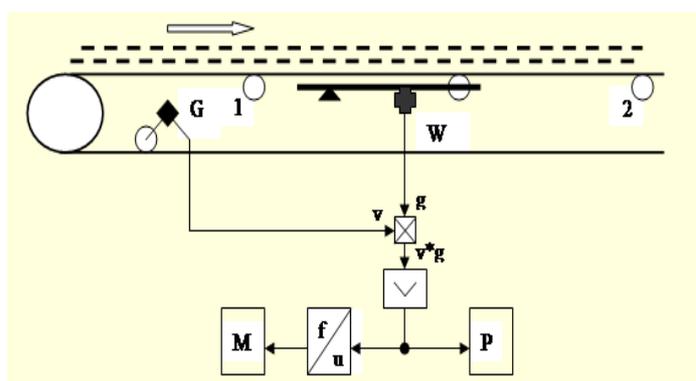


Рисунок 4.5 – Принцип работы ленточных весов

Таким образом была собрана аппаратная база для объекта управления. Визуализация работы питателя отображается в НМІ на Roots Screen на выбранном ПЛК Simatic S7-1500. Оператор должен будет следить за работой регулирующих органов и не допускать аварийных ситуаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве заключительного вывода можно утверждать, что разработка САР производительности ленточного питателя имеет весомые преимущества с точки зрения производительности, точности и безопасности. Автоматическая система устраняет необходимость ручного вмешательства, снижая количество человеческих ошибок и обеспечивая последовательный и оптимизированный поток материала.

Благодаря использованию датчиков и алгоритмов управления автоматическая система может постоянно контролировать и регулировать скорость и работу ленточного питателя. Это позволяет точно контролировать скорость потока материала, предотвращая перегрузку или недогрузку и обеспечивая работу процесса в пределах требуемых параметров.

Автоматическая система позволяет собирать и анализировать данные в режиме реального времени, что дает ценную информацию о работе ленточного питателя. Эти данные могут быть использованы для оптимизации процесса, профилактического обслуживания и принятия решений, что ведет к повышению производительности и экономической эффективности.

Итог разработки САУ для регулирования производительности ленточного питателя дает многочисленные преимущества с точки зрения эффективности и оптимизации на основе полученных данных. Она может значительно улучшить работу в таких отраслях, как горнодобывающая промышленность, производство, сельское хозяйство и строительство.

## Перечень принятых сокращений

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами

САУ – система автоматического управления

САР – система автоматического регулирования

ЗСАР – замкнутая система автоматического регулирования

РСАР – разомкнутая система автоматического регулирования

ТАУ – теория автоматического управления

Д регулятор – дифференцирующий регулятор

ПД регулятор – пропорционально-дифференцирующий регулятор

ПИД регулятор – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор

ПЛК – промышленный логический контроллер

ПЛ – питатель ленточный

ЧП – частотный преобразователь

ЧРП – частотно-регулируемый привод

ЧМИ (НМИ) – человеко-машинный интерфейс

ПУЭ – правила устройств электроустановок

ZN №1 – Циглер -Никольс

СНР – Чина - Хронес – Ресвик

ДКСЛ – датчик контроля схода ленты

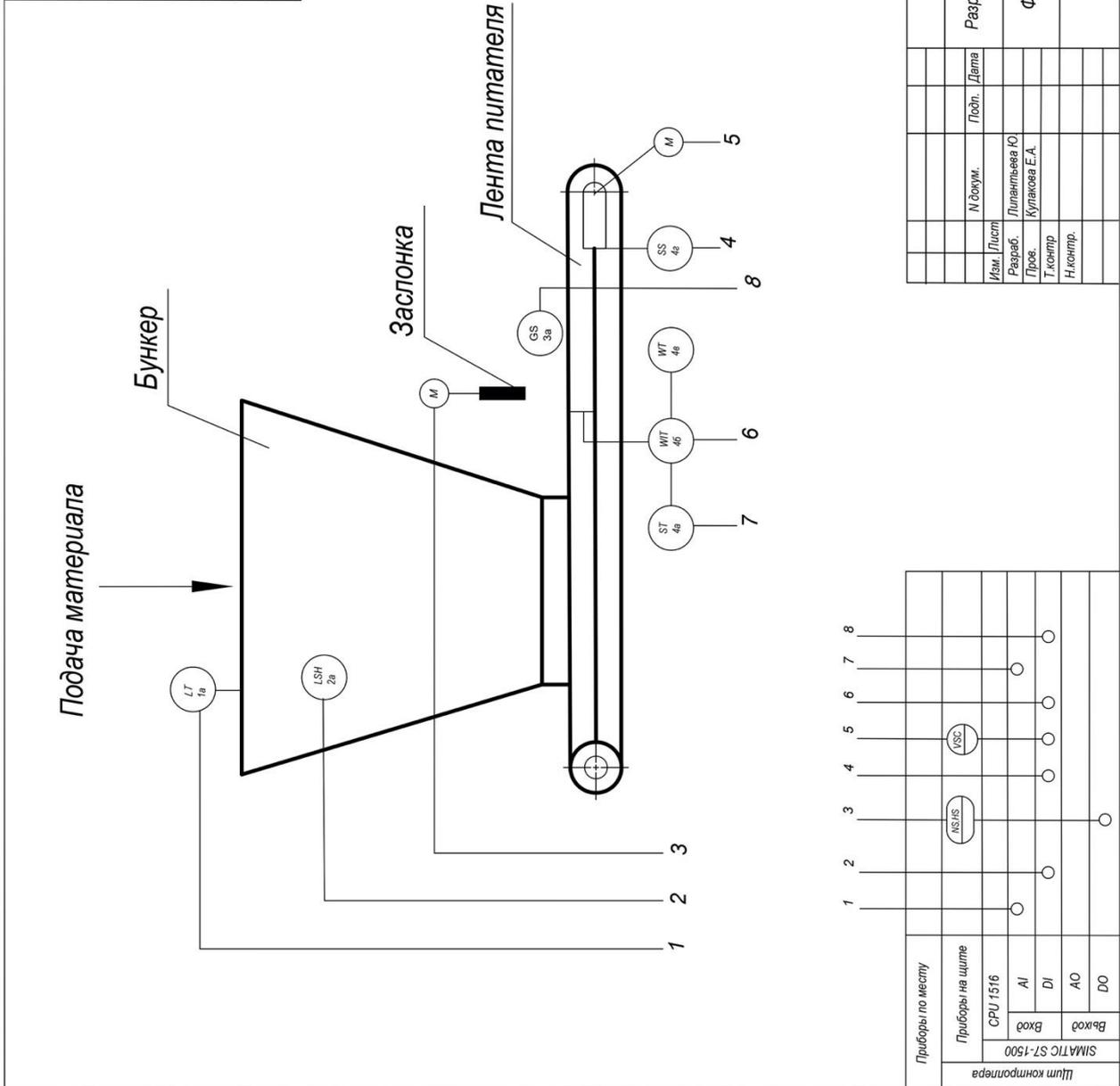
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хан Г.А., Картушин В.П., Сорокер Л.В., Скрипчак Д.А. Автоматизация обогатительных фабрик, Москва: Издательство Недра, 2004. – 280 с.
- 2 Автоматические системы управления процессами дробления. Характеристика элементов как управляемых объектов. 20.07.2020, [https://studbooks.net/2575518/tovarovedenie/harakteristika\\_elementov\\_upravlyaemyh\\_obektov](https://studbooks.net/2575518/tovarovedenie/harakteristika_elementov_upravlyaemyh_obektov)
- 3 Гудвин Г.К., Гребен С.Ф., Сальдаго М.Э Проектирование систем управления, Москва: Издательство БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 911 с.
- 4 Глухов В.С., Терещенко З.А., Дикой А.А Расчет привода к ленточному транспортеру. Учебно-методическое пособие, Армавир: АГПУ, 2009. – 59 с.
- 5 Синтез системы управления ленточным дозатором методом Q-параметризации. 16.04.2018, <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-sistemy-upravleniya-lentochnym-dozatorom-metodom-q-parametrizatsii>
- 6 Браславский И.Я Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. Учебное пособие, Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 224с.
- 7 Дудников Е.Г Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов. Москва: Издательство Химия, 2009. – 368 с.
- 8 Виденеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов/ И.М.Лифиц. – 2-ое перераб. – Москва: Издательство Машиностроение, 2001. – 470 с.
- 9 Ключев В.И. Теория электропривода : учебник для вузов / А.П. Бург. – 5-е изд., перераб. – Москва: Энергоатомиздат, 2005. – 560 с.
- 10 Агейкин Д.И. Датчики контроля и регулирования: Справочные материалы / И.В. Камп. – 4-е перераб. – Москва: Издательство Машиностроение, 2016. – 928 с.
- 11 Деревякин Н.А Современное оборудование для подачи сыпучих материалов // Обзорная информация. – Москва: Издательство ЦНИИТХимнефтемаш, 2008. – 239с.

# Приложение А

## Функциональная схема автоматизации

Позиция	Наименование	Кол.
1а	Датчик уровня заполнения материалом ILT	1
2а	Датчик заштыбовки ДЗ6010Б НПК "ТЕКО"	1
3а	Датчик расхода ленты ДКСЛ-6320 НПК "ТЕКО"	1
4а	Весы конвейерные PCS-100Б фирма CST	1
4г	Датчик скорости ленты питателя MD-256	1
5	Преобразователь частоты ABB acs880 01	1
1б	Контроллер Simatic ST-1500	1
1в	Панель оператора SIMATIC HMI	1



Приложение Б			
Разработка автоматической системы ленточного питателя			
Функциональная схема		Статья	Лист
		ДП	1
		КазНИТУ им. К.И. Сатпаева г. Алматы	

Приборы по месту	1	2	3	4	5	6	7	8
Приборы на щите								
CPU 1516								
Вход AI								
Вход DI								
Выход AO								
Выход DO								

## Приложение Б

### Листинг настройки PID-Tune регулятора

```
>> T1=tf([1],[0.5 1]);  
>> T2=tf([11.05],[0.034 1]);  
>> T3=tf([5]);  
>> G=T1*T2*T3
```

```
G =  
      55.25  
-----  
0.017 s^2 + 0.534 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

```
>> C1=pidtune(G,'PI')
```

$C1 = K_p + K_i 1/s$

with  $K_p = 0.0225$ ,  $K_i = 0.104$

Continuous-time PI controller in parallel form.

```
>> C2=pidtune(G,'PID')
```

$C2 = K_p + K_i*1/s + K_d * s$

with  $K_p = 0.029$ ,  $K_i = 0.0972$ ,  $K_d = 0.00123$

Continuous-time PID controller in parallel form.

```
>> C3=pidtune(G,'P')
```

$C3 = K_p = 0.234$

P-only controller.

```
>> sys1= feedback(G*C1,1);  
>> sys2=feedback(G*C2,1);  
>> sys3=feedback(G*C3,1);  
>> step(sys1,sys2,sys3)  
>> legend('P','PI','PID','Location','SouthEast')
```

**Протокол анализа Отчета подобия  
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Липантьева Ю.М.

**Название:** Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного питателя

**Координатор:** Елена Кулакова

**Коэффициент подобия 1:** 2.34%

**Коэффициент подобия 2:** 1.08%

**Замена букв:** 1

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 29

**Белые знаки:** 0

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 2.34% и Коэффициент подобия 2: 1.08%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«29» мая 2023 г.

Дата

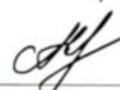
  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**

Дипломный проект допускается к защите.

«29» мая 2023 г.

Дата

  
\_\_\_\_\_  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

### Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Липантьева Ю.М.

**Название:** Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного питателя

**Координатор:** Елена Кулакова

**Коэффициент подобия 1:** 2.34%

**Коэффициент подобия 2:** 1.08%

**Замена букв:** 1

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 29

**Белые знаки:** 0

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 2.34% и Коэффициент подобия 2: 1.08%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«29» мая 2023 г.

Дата

  
Подпись Научного руководителя

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект  
Липантьева Юлия Михайловна  
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: «Разработка автоматической системы регулирования производительности ленточного питателя»

Дипломный проект на тему "Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного питателя" представляет собой углубленное исследование объекта, разработки функциональной схемы и внедрения автоматической системы регулирования для улучшения эффективности ленточного питателя. Исследование направлено на повышение производительности работы питателя, регулируя скорость его ленты, а также точности и надежности процессов перемещения материалов.

Ниже описана оценка работы, выделены ее сильные стороны и области для улучшения.

В первой части работы рассматриваются теоретические сведения о ленточном питателе и его роли в различных видах промышленности. Приводится описание устройства питателя и принцип работы электродвигателя, ставится задача для дипломного проекта.

Во второй части студент описывает этапы разработки автоматической системы регулирования скорости ленты. Предоставлены изображения структурной и функциональной схем, приведены расчеты математической модели ленточного питателя, выполнен анализ динамических свойств объекта.

Третья часть описывает синтез регулятора для управления производительностью транспортера. Произведена настройка регулятора двумя эмпирическими методами ZN № 1и CHR, дополнительно использован метод ручной настройки Tune программы Matlab. В дипломе представлен всесторонний анализ результатов, полученных при внедрении системы автоматического управления. Студент демонстрирует способность системы улучшить работу ленточного питателя, включая повышение точности и повышение производительности, Выводы подкреплены количественными данными, графиками и статистическим анализом, что придает достоверность результатам исследования.

В четвертой части описан выбор аппаратной базы для технической реализации проекта. Произведён выбор ПЛК, подходящего преобразователя частоты и датчиков объекта.

Графический и текстовый материал оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ, предъявляемыми к оформлению учебных работ.

### Оценка работы

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «отлично», а бакалавр Липантьева Ю. М., присвоения академической степени бакалавр по специальности 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

#### Рецензент

руководитель Центра компетенций и трансфера технологий в области автоматизации и мехатроники  
ВКГТУ им. Д. Серикбаева,  
доктор PhD



Порубов Д.А.

## **ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект  
Липантьевой Юлии Михайловны  
6В07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка автоматической системы регулирования производительностью ленточного питателя»

Перед дипломантом ставилась задача разработки автоматической системы регулирования ленточного питателя.

В ходе выполнения дипломного проекта была выполнена работа по сбору информации для описания функционирования системы регулирования производительности ленточного питателя. На основе данного материала была разработана функциональная схема САР ленточного питателя.

Для системы регулирования была выведена математическая модель управления и смоделирована замкнутая система. На основании анализа полученной системы была поставлена задача синтеза типового регулятора эмпирическими методами. Был получен ПИ-регулятор, настроенный эмпирическим методом Циглера Николса 1, CHR. Дополнительно получен регулятор, синтезированный методом ручной настройки Auto - tune в среде MATLAB.

Для стабилизации заданной скорости дипломант промоделировала процесс в программе MATLAB, добавив в схему типовой регулятор, на графиках изображено улучшение производительности ленточного питателя благодаря регулированию скорости. В заключении студент приводит сравнительную характеристику трех использованных методов настройки регулятора.

В процессе работы автора проекта показал себя дисциплинированным, исполнительным и трудолюбивым с высоким уровнем теоретической подготовки.

Заключение: Считаю, что дипломант справилась с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 6В07103 – Автоматизация и роботизация. На основании характеристики выполненных работ, уровня и качества выполненных результатов студент Липантьева Юлия Михайловна допускается к защите.

**Научный руководитель**  
PHD, старший преподаватель



Кулакова Е.А.

«29» мая 2023 г.