

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 Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Анваров Алишер Акбаржанович

Разработка системы управления цепного конвейера Шин Лайн

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2025

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 Автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой АиУ

канд. тех. наук

Сарсенбаев Н.С.

2025 г.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка системы управления цепного конвейера Шин Лайн»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Анваров А. А.

Рецензент

Phd

(подпись)

«17» 06 2025 г.

Абжанова Л. К.

Научный руководитель

канд.техн.наук

Ширяева О. И.

(подпись)

«10» 06 2025 г.

Алматы 2025

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 Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Анварову А. А.

Тема: «Разработка системы управления цепного конвейера Шин Лайн».

Утвержден приказом Р. Ускенбаевой № 26-П/Ө от «29» января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы: «25» мая 2025 г.

Исходные данные к проекту: входные и выходные данные процессов насосной станции обратного водоснабжения.

Перечень подлежащих к разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) описание технологической части;*
- б) разработка структурной схемы системы автоматического управления;*
- в) разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом;*
- г) расчет математической модели асинхронного двигателя;*
- д) разработка программы и логики управления в TIA Portal.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
функциональная схема автоматизации конвейерной системы.

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Кожушко Г. Г., Лукашук О. А. Расчёт и проектирование ленточных конвейеров / Учебно-методическая литература изд. – Издательство Уральского университета. 2016 г. – 232 с
- 2 ГОСТ 21.208–2013. «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах».

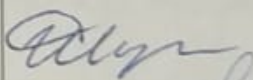
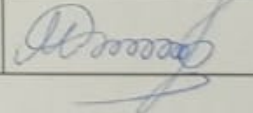
ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Описание процессов автоматизированного склада	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом	28. 03. 2025 г.	
Расчетный раздел Анализ и синтез систем управления цепным конвейером	14. 04. 2025 г.	
Расчетный раздел Разработка программы управления	25. 05. 2025	

Подписи

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

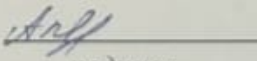
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	О. И. Ширяева канд. техн. наук	10.06.25	
Расчетный раздел	О. И. Ширяева канд. техн. наук	10.06.25	
Нормоконтролер	К. А. Манатов магистр техн. наук	11.06.2025	

Научный руководитель


подпись

Ширяева О. И.

Задание принял к исполнению обучающийся


подпись

Анваров А. А.

Дата

30. 01 2025 г.

АНДАТПА

Дипломдық жобаның мақсаты "Шин Лайн" тізбекті конвейерін басқару жүйесін әзірлеу болып табылады. Зерттеу нысаны екі тізбекті конвейерді қамтитын паллет жүктерін тасымалдаудың автоматтандырылған учаскесі болып табылады. Жұмыстың мақсаты-бағдарламаланатын логикалық контроллер (БЛК) негізінде заманауи басқару жүйесін енгізу арқылы көлік процесінің тиімділігі мен сенімділігін арттыру. Жобада жабдықтың жұмысын синхрондау, тасымалданатын жүктің массасын бақылау және желінің тұрақты және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз ету үшін басқаларын пайдалану мәселелері қарастырылады. Жобаның айрықша ерекшелігі-кәсіпорынның нақты пайдалану жағдайлары мен талаптарын ескере отырып, басқару логикасын әзірлеу.

АННОТАЦИЯ

Целью дипломного проекта является разработка системы управления цепным конвейером «Шин Лайн». Объектом исследования является автоматизированный участок транспортировки паллетного груза, включающий два последовательно работающих цепных конвейера. Цель работы — повышение эффективности и надёжности транспортного процесса за счёт внедрения современной системы управления на базе программируемого логического контроллера (ПЛК). В проекте рассматриваются вопросы синхронизации работы оборудования, контроля массы перемещаемого груза и использования различных для обеспечения устойчивой и безопасной работы линии. Отличительной особенностью проекта является разработка логики управления с учётом реальных условий эксплуатации и требований предприятия.

ABSTRACT

The diploma project is aimed to the develop the control system of chain conveyor “Shin Line”. The object of research is an automated pallet cargo transportation section, which includes two chain conveyors working in series. The aim of the work is to increase the efficiency and reliability of the transportation process by implementing a modern control system based on a programmable logic controller (PLC). The project considers the issues of synchronization of equipment operation, control of the mass of the transported cargo and the use of different sensors to ensure stable and safe operation of the line. A distinctive feature of the project is the development of control logic considering operating conditions and requirements of the enterprise.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Завод по производству мороженого Шин Лайн	8
1.2 Виды конвейеров	9
1.3 Области применения цепных конвейеров	10
1.4 Описание объекта автоматизации	11
1.5 Определение точек управления, контроля, сигнализации и регулирования конвейерной системы	13
1.6 Выбор аппаратной базы	14
1.7 Требование к системе управления цепным конвейером	16
1.8 Разработка функциональной схемы автоматизации	16
1.9 Структура системы управления цепным конвейером	17
2 Синтез регулятора для системы управления цепным конвейером	19
2.1 Постановка задачи	19
2.2 Анализ устойчивости системы	22
2.3 Оценки качества замкнутой системы	24
2.4 Синтез типового регулятора	25
2.5 Настройка регулятора	27
2.6 Итоговая оценка переходных процессов	33
3 Разработка программы управления цепным конвейером в TIA Portal	35
3.1 Разработка программы управления	36
3.2 Конфигурация оборудования	37
3.3 Разработка логики управления цепными конвейерами	38
3.4 Разработка интерфейса взаимодействия	40
Заключение	41
Список использованной литературы	42
Приложение А	43

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство предъявляет высокие требования к уровню автоматизации технологических процессов. Одним из значимых направлений в этой области является разработка систем управления для конвейеров, которые широко используются на предприятиях пищевой, фармацевтической, логистической и машиностроительной отраслей. Автоматизация таких систем позволяет повысить производительность, сократить энергозатраты, минимизировать влияние человеческого фактора и устойчивость производственных процессов.

Компания Шин Лайн занимается выпуском пищевой продукции, активно внедряет автоматизированные технологии на всех этапах производства. Одним из инновационных решений компании является полностью автоматизированный склад. Для таких систем требуется разработка гибкой и эффективной системы управления цепным конвейером, соответствующей современным стандартам промышленной автоматизации. Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью повышения эффективности транспортировки большого количества продукции, сокращения времени простоев оборудования, увеличения точности перемещения и обеспечения безопасности эксплуатации.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления цепным конвейером для предприятия Шин Лайн с использованием современных технических средств и программных решений. Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ объекта автоматизации, выбрать технические и программные средства, разработать алгоритм управления с учетом специфики производственного процесса, реализовать систему в среде TIA Portal с применением программируемого логического контроллера.

Теоретической и методологической основой работы являются принципы теории автоматического управления, методы синтеза логических алгоритмов и современные подходы к проектированию программируемых логических систем на базе контроллеров Siemens. Практической базой исследования выступают реальные производственные условия предприятия Шин Лайн, где планируется внедрение разработанной системы для повышения стабильности процессов транспортировки продукции. Обоснование необходимости выполнения данной работы заключается в стремлении увеличить производственную эффективность, обеспечить надежность и безопасность технологического оборудования, а также учесть особенности пищевого производства при построении системы управления.

1 Технологическая часть

1.1 Завод по производству мороженого Шин Лайн

Завод "Шин-Лайн" является крупнейшим производителем мороженого в Центральной Азии. Данная компания занимает 35% рынка на момент 2018 г. [1] Казахстан производит более 160 видов мороженого и замороженных продуктов, и активно развивает экспорт в разные страны, включая Китай, Монголию и страны СНГ. На рисунке 1.1 показан третий мороженный цех.



Рисунок 1.1 – Цех производства мороженого

Производственные мощности завода позволяют выпускать десятки тысяч тонн продукции ежедневно, строго соблюдая стандарты качества и безопасности. Предприятие оснащено передовым европейским оборудованием, обеспечивающим полный цикл производства – от приема сырья до упаковки готового продукта.

Компания Шин-Лайн активно внедряет инновации, расширяя ассортимент и улучшая рецептуры. Благодаря этому продукция завода пользуется стабильным спросом не только в Казахстане, но и за его пределами.

Особое внимание на заводе уделяется контролю качества. На всех этапах производства внедрены системы HACCP и ISO, а лаборатории предприятия осуществляют постоянный мониторинг качества сырья и готовой продукции.

Одним из инновационных решений компании является полностью автоматизированный высотный склад, который состоит из 10 кран штабелеров со стеллажами двойной глубины высотой до 12 метров, грузовых шаттлов и цепных конвейеров, которые работают как на вход, так и на выход. Данная автоматизированная система работает 24 часа в сутки в холодном складе, где поддерживается температура -25 °C.

Программа системы управления складом работает в тандеме с другими программами это:

- 1С WMS или система менеджмента складом. В данной программе хранится вся информация о наличии груза и скором поступлении новых партий. Операторы 1С посылают задание на прием или отгрузку товара оператору склада;

- FLUX. Является связующей программой между WMS и WCS. Через эту программу оператор склада принимает задания для склада. В данной программе он может настроить количество палет, их тип (цельная или частично загруженная), также имеется возможность посмотреть точное расположение палеты. После проверки правильности задания отправляется команда на отгрузку в программу WCS;

- WCS – это система управления складом. С помощью данной программы оператор склада наблюдает за его работой. В программе есть карта, на которой транслируется движение роботов-штабелеров, с которыми можно взаимодействовать и управлять. Также на данной карте показывается наличие груза на конвейерах, сигналы об ошибках.

1.2 Виды конвейеров

Конвейеры представляют собой механические устройства, предназначенные для автоматизированного перемещения различных грузов в пределах производственных, складских и транспортных систем. В зависимости от особенностей перемещаемого материала, условий эксплуатации и задач конкретного технологического процесса применяются разные типы конвейеров, каждый из которых обладает своими конструктивными и функциональными особенностями.

Наиболее распространёнными являются ленточные конвейеры. Они состоят из замкнутой эластичной ленты, движущейся по роликам или гладкому настилу, и применяются для транспортировки сыпучих или штучных грузов - таких как песок, уголь, коробки или мешки. Благодаря простоте конструкции и возможности перемещения грузов на большие расстояния, ленточные конвейеры широко используются в горнодобывающей, пищевой и строительной промышленности, а также в логистике.

Рольганговые, или роликовые, конвейеры состоят из ряда вращающихся роликов, по которым перемещается груз. Они могут быть как с приводом, так и без него (в последнем случае используют уклон для движения груза под действием силы тяжести). Такие конвейеры идеально подходят для перемещения ящиков, поддонов и других твёрдых объектов с плоским основанием, особенно на складах и сборочных участках, благодаря своей модульности и простоте обслуживания.

Цепные конвейеры применяются там, где требуется перемещать тяжёлые или габаритные грузы. Они основаны на использовании металлической тяговой цепи, к которой могут быть прикреплены каретки, скребки или другие транспортирующие элементы. За счёт высокой прочности цепи такие конвейеры

надёжно работают в загрязнённой среде, при высоких температурах и в тяжёлых условиях эксплуатации, например, на металлургических или деревообрабатывающих производствах.

Пластинчатые конвейеры являются разновидностью цепных, но вместо гибкой поверхности имеют сплошную жёсткую ленту из металлических или пластиковых пластин. Их основное преимущество - лёгкость очистки и устойчивость к агрессивным средам, что делает их особенно востребованными в пищевой промышленности, фармацевтике и упаковке, где важны санитарные требования и гигиеничность.

Скребокковые конвейеры предназначены для перемещения сыпучих и пылевидных материалов внутри закрытых желобов. Внутри корпуса движется цепь со скребками, которые проталкивают материал по трубе. Подобные системы широко применяются в цементной, сельскохозяйственной и химической промышленности, особенно там, где требуется герметичное и компактное решение для пыльных и загрязнённых условий.

Винтовые или шнековые конвейеры используют вращающийся винт (шнек), расположенный внутри трубы или короба, для перемещения материала. Они эффективны при дозированной подаче муки, цемента, зёрен и других мелких сыпучих веществ. Благодаря своей компактности и возможности установки в наклонном или вертикальном положении, шнековые транспортёры часто применяются в дозаторах и загрузочных системах.

Для транспортировки лёгких или пылевидных материалов на большие расстояния в полностью закрытой среде применяются пневмотранспортные системы. Они перемещают материал с помощью воздушного потока - как правило, под разрежением или давлением. Это решение особенно эффективно для токсичных, взрывоопасных или мелкодисперсных веществ, где важна полная герметизация процесса.

Таким образом, каждый тип конвейера имеет свои преимущества и применяется в зависимости от характера груза, длины маршрута, требований к скорости, точности и условиям окружающей среды. Правильный выбор конвейерной системы - ключ к надёжной, безопасной и энергоэффективной работе производственной линии [2].

1.3 Области применения цепного конвейера

Цепные конвейеры широко используются в различных отраслях промышленности, где требуется перемещение крупногабаритного и тяжелого груза при экстремальных условиях среды.

Логистика и склады: цепные конвейеры часто используются в автоматизированных складских системах. на современных распределительных складах продукция с зон приемки поступает на цепные конвейеры, которые перемещают поддоны к местам хранения. При поступлении заказа цепной конвейер подает нужные поддоны в зону комплектации, где груз собирается для отгрузки. Такие системы позволяют оптимизировать внутреннюю логистику,

ускорить обработку заказов и минимизировать использование погрузочно-разгрузочной техники.

Автомобильное производство: при производстве автомобилей цепные конвейеры необходимы для перемещения уже готовых собранных автомобилей и транспортировки различных крупных компонентов и обеспечения непрерывный процесс сборки за счет синхронизированной подачи.

Металлургия и машиностроение: применяются для перемещения тяжелых заготовок, деталей и готовых изделий. Например, перемещение готовых горячих заготовок в прокатные станки. В машиностроение цепные конвейеры перемещают узлы и детали между станками на участках механической обработки, что позволяет уменьшить количество ручных операций.

В аэропортах и транспортных терминалах цепные конвейеры используются для транспортировки грузов и багажа. Например, в грузовых терминалах цепные конвейеры перемещают поддоны с посылками и грузами в зоны сортировки, где происходит автоматизированное распределение по направлениям. Это позволяет значительно ускорить обработку грузов, сократить время на погрузочно-разгрузочные операции и повысить точность сортировки [2].

1.4 Описание объекта автоматизации

Цепной конвейер, выбранный в качестве объекта автоматизации, представляет собой промышленное транспортирующее устройство производства компании НАМСО (Рисунок 1.2), предназначенное для перемещения грузов, размещённых на европоддонах. Данный тип конвейера разработан специально для работы в условиях экстремально низкой температуры склада. Его конструкция основана на использовании прочной тяговой цепи, движущейся по направляющим, на которую устанавливаются несущие элементы, обеспечивающие равномерное и устойчивое перемещение паллет.



Рисунок 1.2 – Цепной конвейер НАМСО

Одной из ключевых особенностей данного конвейера является его способность работать в широком температурном диапазоне, что делает его

пригодным для эксплуатации как в отапливаемых производственных помещениях, так и в холодных складах или зонах с переменными климатическими условиями. Это особенно важно в логистических и складских комплексах, где требуется бесперебойная подача паллет вне зависимости от внешних факторов.

Конвейер рассчитан на перемещение груза массой до 3000 кг, что указывает на его высокую грузоподъёмность и устойчивость к деформациям и перегрузкам. Такая нагрузочная способность делает его подходящим для транспортировки тяжёлой продукции, включая металлические изделия, крупное оборудование, строительные материалы и другие виды промышленной тары. Благодаря прочной раме и надёжной механической части, конвейер способен выдерживать длительную эксплуатацию с минимальными затратами на техническое обслуживание.

Таким образом, цепной конвейер НАМСО представляет собой универсальное и прочное решение для автоматизированных логистических и производственных систем, где требуется надёжная транспортировка тяжёлых грузов на паллетах с возможностью интеграции в общее управление технологическим процессом [3].

1.5 Определение точек управления, контроля, сигнализации и регулирования конвейерной системы

Конвейерная система в автоматизированном складе выполняет функцию транспортировки груза между автоматизированным шаттлом и роботом штабелером.

Через станцию оператора можно проводить мониторинг состояния датчиков, находящихся на конвейере. Положение груза регистрируется на трех точках: на первом конвейере (GI-1), на втором конвейере (GI-2) и на краю второго конвейера для предотвращения выхода палеты за пределы (GIA-3). Это позволяет точно определить положение груза и при возникновении ошибки, установить причину ее возникновения. Для измерения веса груза предусмотрен тензодатчик (WRA). Измерение веса необходимо для избежания повреждения телескопических вилок, с помощью которых робот-штабелер забирает палету с конвейера.

На таблицах 1.1, 1.2 и 1.3 показаны все точки управления, которые имеются в данной системе. Начиная от сигналов контроля и заканчивая аварийными сигналами

Таблица 1.1 – Таблица сигналов контроля

Наименование сигнала	Описание	Диапазон значений
Оптический датчик 1 GI-1	Регистрирует наличие груза на первом конвейере	0-1

Продолжение таблицы 1.1

Наименование сигнала	Описание	Диапазон значений
Датчик веса WR	Измеряет вес груза, поставленного на конвейер	0–200 кг
Оптический датчик 2 GI-2	Регистрирует наличие груза на втором конвейере	0-1
Предельный датчик GIA-3	Регистрирует достижение грузом конечной точки	0-1
Частота вращения двигателя M1	Приводит в движение первый конвейер	0–1500 об/мин
Частота вращения двигателя M2	Приводит в движение первый конвейер	0–1500 об/мин

Таблица 1.2 – Таблица сигналов регулирования

№	Наименование	Описание	Диапазон значений
1	Частота вращения M1	Скорость движения первого конвейера	0-1500 об/мин
2	Частота вращения M2	Скорость движения второго конвейера	0–1500 об/мин

Таблица 1.3 – Таблица сигналов аварийных сигналов

№	Наименование	Описание
1	WR превышение веса	Груз превысил допустимое значение веса
2	GI-1, GI-2 ошибка данных о наличии груза	Ложное срабатывание датчика (датчик обнаружил груз, но датчик весов показывает 0)
3	Превышение лимита ожидания	Груз не достиг датчика GI-2 в течение установленного времени (падение или застревание груза)
4	GIA-3 Выход за пределы	Выход груза за пределы датчика GIA-3, предотвращение падения груза

1.6 Выбор аппаратной базы

Для обеспечения надежного и стабильного питания элементов системы был выбран блок питания Mean Well NDR-240–24 (рисунок 1.3) с номинальной мощностью 240 Вт. Он обеспечивает выходное напряжение 24 В и способен выдавать ток в диапазоне от 0 до 10 А, что делает его подходящим для питания

как ПЛК (программируемого логического контроллера), так и других компонентов электрического шкафа.

Одним из преимуществ данной модели является встроенная защита от перенапряжений, короткого замыкания и перегрузки, что повышает общую надежность и безопасность системы. Кроме того, блок питания поддерживает возможность регулировки выходного напряжения в пределах от 24 до 28 В, что позволяет при необходимости точно подстроить параметры питания под особенности подключаемого оборудования. Благодаря компактному форм-фактору и установке на DIN-рейку, устройство удобно монтируется в распределительном шкафу и не требует дополнительного пространства.



Рисунок 1.3 – Блок питания Mean Well

Для измерения веса груза в системе был выбран тензодатчик Zemic H8C с максимальным диапазоном до 500 кг. Этот датчик выполнен по балочной схеме, что обеспечивает высокую точность и устойчивость к механическим нагрузкам. Класс точности С3 гарантирует надежные измерения даже при длительной эксплуатации, что особенно важно для автоматизированных систем, где требуется стабильность и повторяемость данных.

Благодаря выходному сигналу 4–20 мА, датчик легко интегрируется в промышленную систему управления и обеспечивает помехоустойчивую передачу сигнала на большие расстояния. Корпус из нержавеющей стали и алюминия очень прочный не подвергается коррозии, что делает устройство надежным даже при работе в сложных условиях, таких как повышенная влажность или температурные колебания.



Рисунок 1.4 – Блок питания Mean Well

Электродвигатель SEW-Eurodrive DRN80-160 (рисунок 1.4) был выбран для применения в конвейерной системе благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам и надежности. Это трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, мощностью 1,5 кВт. Он обеспечивает номинальный крутящий момент 4,95 Нм и частоту вращения около 1400 об/мин, что делает его оптимальным для привода конвейеров средней нагрузки.

Класс энергоэффективности двигателя IE3 обеспечивает экономичный расход электроэнергии и снижает эксплуатационные затраты. Он надежно защищён от пыли, что позволяет использовать его в сложных промышленных условиях, включая пыльные и влажные помещения.

Диапазон рабочей температуры окружающей среды от -30 до $+40$ °C и класс изоляции обмоток F обеспечивают устойчивую работу двигателя в условиях низкой температуры, что особенно важно для эксплуатации на морозильном складе Шин Лайн.



Рисунок 1.5 – Электродвигатель SEW Eurodrive

Для позиционирования и обнаружения паллет в системе используется фотоэлектрический датчик Omron E3Z-LT86-L/D. Это высокоточный лазерный сенсор пролётного типа, обеспечивающий надёжное сквозное обнаружение объектов на больших расстояниях – до 60 метров. Благодаря встроенному

усилителю датчик демонстрирует стабильную работу даже в условиях повышенной запылённости и переменной освещённости, что делает его идеальным решением для использования в автоматизированных конвейерных системах и логистических приложениях.



Рисунок 1.6 – Оптический датчик Omron

Датчики получают питание от БП с напряжением 12–24 В $\pm 10\%$ и потребляет всего 35 мА, что позволяет эффективно интегрировать его в системы с ограниченными энергетическими ресурсами. Он имеет выходной сигнал типа PNP и способен управлять нагрузками до 100 мА, с малым падением напряжения, что обеспечивает совместимость с большинством промышленных контроллеров.

Высокая скорость отклика – не более 1 мс – позволяет точно засекать момент появления груза без задержки, что очень важно в системах с высокой производительностью. Уровень защиты корпуса IP67 гарантирует надёжную работу в условиях пыли и влаги, а рабочий температурный диапазон от -10 до $+55$ °C делает датчик пригодным для эксплуатации в большинстве промышленных сред. Все эти характеристики делают Omron E3Z-LT86-L/D оптимальным выбором для точного и надёжного позиционирования паллет в автоматизированной транспортной системе.

1.7 Требования к системе управления цепным конвейером

Так как данная автоматическая система управления цепным конвейером будет применяться для работы на десяти конвейерах, она должна обеспечить круглосуточную и бесперебойную работу с минимальным участием человека.

Конвейеры работают на основе сигнала полученного от оптического датчика присутствия груза и обработанного программным логическим контроллером, который посылает сигнал на электродвигатели. Все конвейеры работают по идентичному принципу и на одинаковой логике. Данный подход способствует стабильной работе и равномерному распределению палетного груза по складу в краткие промежутки времени.

Данная система должна иметь подходящие характеристики, быть устойчивой к внешним возмущениям, поддерживать связь с пультом оператора и SCADA системой. Главным требованием является высокая робастность системы и быстрый отклик.

У оператора должен быть быстрый доступ к SCADA-системе для наблюдения за работой и системы, мониторинг за ошибками, которые могут возникнуть в процессе работы системы и возможность их скорого устранения.

1.8 Разработка функциональной схемы автоматизации

Данный этап является очень важным в проектировании систем управления технологическими процессами. ФСА является основным техническим документом, который отражает архитектуру и принципы функционирования системы. В этих схемах представлена информация о применяемом оборудовании, способах его взаимодействия и связи с управляемым объектом. Также отображаются средства автоматизации – включая удалённые модули и вычислительные компоненты, – что позволяет получить полное представление о работе системы управления.

Функциональная схема автоматизации представляет собой графическое отображение основных элементов системы и их взаимосвязей. Все компоненты обозначаются стандартными условными знаками и иллюстрируют процесс обмена сигналами между устройствами, а также реализацию управляющих алгоритмов. Такая схема способствует лучшему пониманию логики системы, помогает проследить маршруты прохождения сигналов и их назначение, а также упрощает процессы наладки, технического обслуживания и последующей модернизации оборудования.

Разработка схем автоматизации выполняется в соответствии с установленными нормативными документами – государственными стандартами, нормами, правилами и техническими регламентами. При этом учитываются как общепринятая проектная практика, так и опыт реализации аналогичных проектов. Итоговая схема (см. Приложение А) должна соответствовать всем требованиям и обеспечивать корректную работу системы управления в заданной конфигурации.

1.9 Структура системы управления цепным конвейером

Система управления цепным конвейером представляет собой логическую систему транспортировки груза, которая обеспечивает стабильную и своевременную подачу груза на робот-штабелер. Система состоит из трех уровней: нижним уровнем являются датчики и исполнительные механизмы, средний уровень – это шкаф управления и на третьем уровне находится управляющая часть

На полевом уровне находятся электродвигатели и оптические датчики, которые установлены на самом конвейере. Эти датчики определяют наличие груза на обоих конвейерах и устанавливают предел движения груза на конце конвейера и измеряют его вес, а исполнительные механизмы в виде электродвигателя приводят конвейеры в движение и перемещают груз

На втором уровне находится шкаф управления, внутри которого находится ПЛК и является связующим звеном между полевым уровнем и уровнем управления. Программирующий логический контроллер обрабатывает данные и посылает команды на основе заранее спроектированной логики. Вместе с контроллером в шкафу управления установлены модули ввода вывода, расширения, реле и блок питания.

Третьим уровнем является SCADA система, в реальном времени показывающая информацию о состоянии системы. Через SCADA систему оператор может следить за работой конвейеров, обрабатывать ошибки и при необходимости управлять конвейерами в ручном режиме. Система также ведет журнал ошибок, архивирует изменения параметров.

В итоге данная структура системы управления цепным конвейером была разработана с ориентацией на обеспечения полного контроля над системой на каждом уровне. Такая система дает возможность оператору своевременно устранять и даже предотвращать возможные ошибки в работе конвейеров.

2 Синтез регулятора для системы управления цепного конвейера

2.1 Постановка задачи

В данном разделе решается задача разработки регулятора для системы управления цепным конвейером. Цель синтеза состоит в обеспечении стабильной работы и быстрой реакции к поступающим командам из контроллера. Так как объем транспортируемого груза достигает сотен палет с сутки, необходимо разработать систему, которая обеспечит бесперебойную работу системы.

Для этого необходимо разработать алгоритм управления, который сможет поддерживать частоту вращения электродвигателя на допустимых значениях, быстро реагировать на обнаружение груза и соответствовать требованиям к качеству процессов. На основе созданной математической модели объекта управления проводится анализ динамики системы и выбирается метод синтеза регулятора, обеспечивающий требуемую устойчивость и управляемость.

Функциональная схема управления представляет собой логически организованную структуру, отображающую ключевые элементы системы и связи между ними. В её состав входят блоки управления, датчики, регуляторы, исполнительные механизмы, а также источники внешних воздействий и возмущений. Такая схема служит наглядным представлением архитектуры системы, позволяя проследить траектории прохождения сигналов и выделить основные элементы, оказывающие влияние на точность и устойчивость регулирования. Функциональная схема (рисунок 2.1) играет роль основы для разработки моделей управления и выбора подходящих методов, обеспечивающих оптимальное поведение системы в условиях реального технологического процесса.

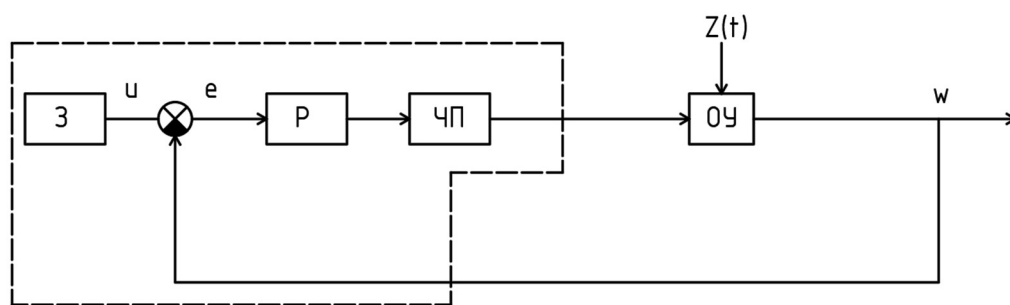


Рисунок 2.1 – Общий вид функциональной схемы управления

Где З – задающее устройство
 Р – регулятор
 ЧП – частотный преобразователь
 ОУ – объект управления
 $Z(t)$ – внешнее возмущение
 w – регулируемый параметр
 $e = w - w_3$ отклонение от уставки

Теперь на основе данной функциональной схемы можно построить контуры управления и обратной связи для синтеза подходящего регулятора. Переходим к этапу математического моделирования и типа управления, чтобы обеспечить устойчивости и точность работы конвейерной системы.

Уравнения физических параметров электродвигателя

А) Электромагнитная постоянная времени статора:

$$T_1 = \frac{L_s}{R_s} \quad (2.1)$$

Б) Электромагнитная постоянная времени ротора:

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r} \quad (2.2)$$

В) Электромеханическая постоянная времени:

$$T_3 = \frac{J_r}{B_r} \quad (2.3)$$

Где L_s – индуктивность статора, Гн

L_r – индуктивность ротора, Гн

R_s – сопротивление статора, Ом

R_r – сопротивление ротора, Ом

J_r – момент инерции, кг*м²

B_r -

Таблица 2.1 – Исходные данные

P кВт	U_n В	f Гц	I_n А	R_s Ом	R_r Ом	L_s Гн	L_r Гн	J кг*м ²	B Н*м*с
1.5	400	50	3.5	3.5	2.2	0.3	0.25	0.0022	0.002

Г) Расчет постоянных времени:

1) Электромагнитная:

$$T_1 = \frac{L_s}{R_s} = \frac{0.3}{3.5} \approx 0.086 \text{ с}, \quad (2.4)$$

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r} = \frac{0.25}{2.2} \approx 0.114 \text{ с} \quad (2.5)$$

2) Электромеханическая:

$$T_3 = \frac{J_r}{B_r} = \frac{0.0022}{0.002} = 1.1 \text{ с} \quad (2.6)$$

Д) Расчет коэффициента усиления K

Коэффициент усиления можно рассчитать следующим образом:

$$K = \frac{\omega_n}{U_n}, \quad (2.7)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 1500}{60} = 157.08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.8)$$

$$K = \frac{\omega_n}{U_n} = \frac{157.08}{400} \approx 0.393 \quad (2.9)$$

Е) Итоговая математическая модель имеет следующий вид:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{0.393}{(0.086s + 1)(0.114s + 1)(1.1s + 1)} \quad (2.10)$$

3) Следовательно разомкнутая передаточная функция выглядит так:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{0.393}{0.01078s^3 + 0.2298s^3 + 1.1s + 1} \quad (2.11)$$

Формула замкнутой передаточной функции:

$$G_{\text{зс}}(s) = \frac{G_{\text{pc}}(s)}{1 + G_{\text{pc}}(s)} \quad (2.12)$$

Подставив разомкнутую систему, получаем:

$$\frac{\omega(s)}{U(s)} = \frac{0.393}{0.01078s^3 + 0.2298s^3 + 1.1s + 1.393} \quad (2.13)$$

Постановка задачи. Необходимо синтезировать типовой регулятор на основе построенной математической модели замкнутой системы управления цепного конвейера и требований к качеству регулирования. Типовой регулятор должен поддерживать устойчивость системы и иметь быстрый отклик.

2.2 Анализ устойчивости системы

Для анализа системы управляемого объекта в среде была построена передаточная функция, которая равна отношению входного значения к реакции системы. На основе данной функции была построена модель в среде SIMULINK, которая показана на рисунке 2.3 [3].

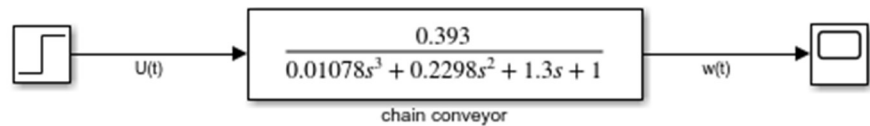


Рисунок 2.3 – Модель разомкнутой передаточной функции

Была так же собрана модель замкнутой системы управления цепным конвейером (рисунок 2.4).

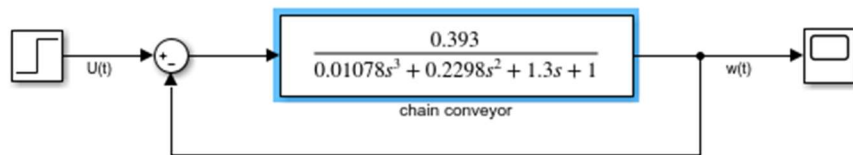


Рисунок 2.4 – Модель замкнутой системы управления

Для исследования разомкнутой системы на устойчивость по первому методу Ляпунова была использована команда `pole(s)` в MATLAB. Результат показан на рисунке 2.5.

```
>> s = tf([0.393],[0.01078 0.2298 1.1 1])
s =

          0.393
-----
0.01078 s^3 + 0.2298 s^2 + 1.1 s + 1

Continuous-time transfer function.

>> pole(s)

ans =

-14.8777
-5.2525
-1.1871
```

Рисунок 2.5 – Полюса разомкнутой системы

Согласно первому методу Ляпунова, система является асимптотически устойчивой. Так как, все собственные значения данной системы находятся в отрицательной части [3].

Также с помощью команды `margin(s)` была получена ЛАЧХ для нахождения запаса устойчивости по фазе и амплитуде. Итоговые данные показаны на рисунке 2.7.

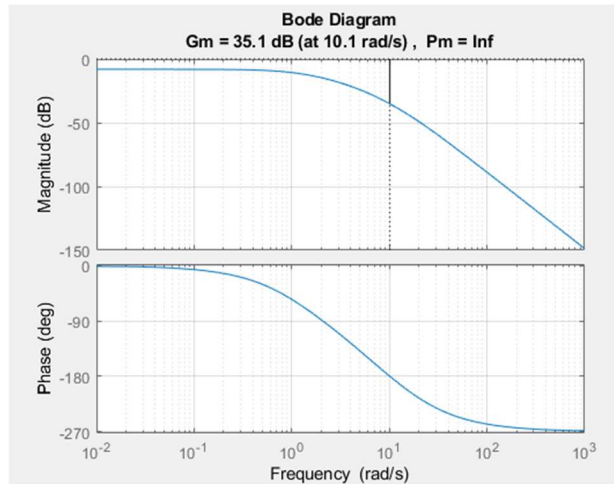


Рисунок 2.6 – ЛАЧХ передаточной функции

Вследствие использования команды `margin(s)` был получены следующие данные:

Запас устойчивости по амплитуде: $G_m = 35.1 \text{ dB}$

Запас устойчивости по фазе: $P_m = \infty$.

2.3 Оценка качества замкнутой системы

Проведение оценки качества системы необходимо провести для анализа динамических свойств системы. У переходного процесса оцениваются следующие параметры:

Время регулирования (T_{set}) – время, требуемое для достижения системы установившегося значения, то есть для $t \geq T_{set}$. Время регулирования определяется как время, требуемое для разгона и установления в определённых границах относительно установившегося значения y_{ss} . Максимальная граница – 5%.

$$\delta = \frac{y - y_{ss}}{y} * 100\% \quad (2.14)$$

Перерегулирование (P_{ov}) – значение, которое показывает превышение выходного сигнала над конечным значением.

$$P_{ov} = \frac{y_{max1} - y_{ss}}{y_{ss}} * 100\% \quad (2.15)$$

Число колебаний M – число колебаний переходного процесса в течение времени регулирования T_{set} .

Период колебаний T_{osc} – время, требуемое для полного цикла колебания.

$$T_{osc} = \frac{2\pi}{\omega_{osc}} \quad (2.16)$$

Установившаяся ошибка e_{ss} определяется как разница между установившемся значением выходной величины и задающим сигналом в установившемся процессе.

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) \quad (2.17)$$

Время нарастания T_p – время, которое требуется для того, чтобы переходной процесс пересек установившееся значение выходного сигнала. При различных переходных процессах время нарастания определяется как: от 10% до 90%, от 5% до 95%, или 0% до 100% от установившегося значения.

На рисунке 2.7 показан переходной процесс замкнутой системы, с данными оценки, качества внесенными в таблицу 2.2.

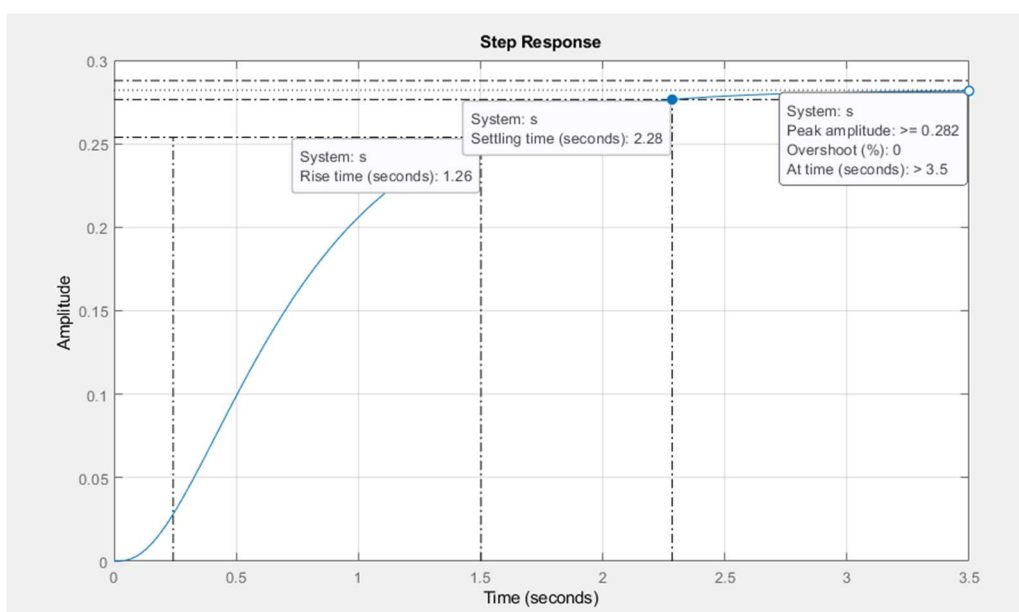


Рисунок 2.7 – Переходной процесс замкнутой системы

Таблица 2.2 - Прямые оценки качества

Прямые оценки качества	Значения
Время регулирования T_{set} [с]	2.28
Время нарастания T_r [с]	1.26
Перерегулирование P_{ov} [%]	0
Установившаяся ошибка	0.11

В результате анализа замкнутой системы без регулятора были получены результаты, не подходящие для работы на объекте. Слишком высокое время регулирования в 2.28 секунд сигнализирует об очень медленном отклике системы на входные сигналы, что препятствует стабильной и качественной работе системы. Вдобавок очень большая установившаяся ошибка, что делает систему неточной. Для улучшения данных параметров необходим синтез типового регулятора.

2.4 Синтез типового регулятора

Пропорционально интегрально дифференцирующий регулятор – устройство регулирования в управляющем контуре с наличием обратной связи. Используется в системах автоматического регулирования для формирования управляющего сигнала для получения нужной точности переходного процесса. ПИД регулятор формирует управляющее воздействие, которое является суммой выходных значений сигналов трёх звеньев, первое из которых пропорционально разности заданного входного значения сигнала и сигнала обратной связи, второе – интеграл значения ошибки регулирования, третье – производная значения ошибки регулирования. Если какие-то из этих трех звеньев не функционируют, то регулятор называют пропорционально интегрирующим, пропорционально дифференцирующим, пропорциональным, интегрирующим и т. д. [4]

Р-регулятор – это простейший тип непрерывного управления, которую можно использовать в замкнутой системе. Пропорциональное управление минимизирует колебания переменной процесса, но не всегда приводит систему к желаемому заданному значению. Оно обеспечивает более быстрый отклик, чем большинство других контроллеров, что первоначально позволяет пропорциональному контроллеру реагировать на несколько секунд быстрее. Однако по мере усложнения системы (т. е. при использовании более сложного алгоритма) разница во времени отклика может накапливаться, что позволит Р-контроллеру реагировать даже на несколько минут быстрее. Несмотря на то, что Р-контроллер обладает преимуществом более быстрого времени отклика, он создает отклонение от заданного значения. Это отклонение называется смещением, и оно обычно нежелательно в технологическом процессе. Существование смещения означает, что система не может поддерживаться в желаемом заданном значении в устойчивом состоянии. Смещение можно минимизировать, скомбинировав пропорциональное звено с другими звеньями, например, I и D-регулятором. Однако важно отметить, что невозможно полностью устранить смещение, которое неявно включено в каждое уравнение [5].

PI-регулятор – это форма управления с обратной связью. Он обеспечивает более быстрое время отклика, чем просто интегральное управление, благодаря добавлению пропорционального воздействия. PI-регулирование останавливает колебания системы, а также способно вернуть систему к заданному значению. Хотя время отклика при PI-регулировании быстрее, чем при I-регулировании, оно все равно на два раза медленнее, чем при Р-регулировании [5].

PD-регулирование – это комбинация управления с прямой и обратной связью, поскольку оно работает как с текущими условиями процесса, так и с прогнозируемыми условиями процесса. При PD-регулировании выходной сигнал управления представляет собой линейную комбинацию сигнала ошибки и его производной. PD-регулирование содержит демпфирование колебаний с помощью пропорционального управления и прогнозирование ошибки процесса с помощью производного управления [5].

PID-регулятор – это комбинация всех трех типов методов управления. PID-регулирование, поскольку оно сочетает в себе преимущества каждого типа управления. Это включает в себя более быстрое время отклика из-за Р-образного управления, а также уменьшенное/нулевое смещение от комбинированного производного и интегрального регуляторов. Это смещение было устранено дополнительным использованием I-регулятора. Добавление D-регулятора значительно увеличивает отклик контроллера при его совместном использовании, поскольку он предсказывает возмущения в системе, измеряя изменение ошибки. Напротив, как упоминалось ранее, при использовании по отдельности он имеет более медленное время отклика по сравнению с более быстрым пропорциональным управлением. Однако несмотря на то, что PID-регулятор кажется наиболее подходящим, он также является самым дорогим регулятором [5].

Выходное значение $u(t)$ описывается следующим выражением:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

Где K_p – коэффициент пропорциональности

K_i – коэффициент интегрирования

K_d – коэффициент дифференцирования

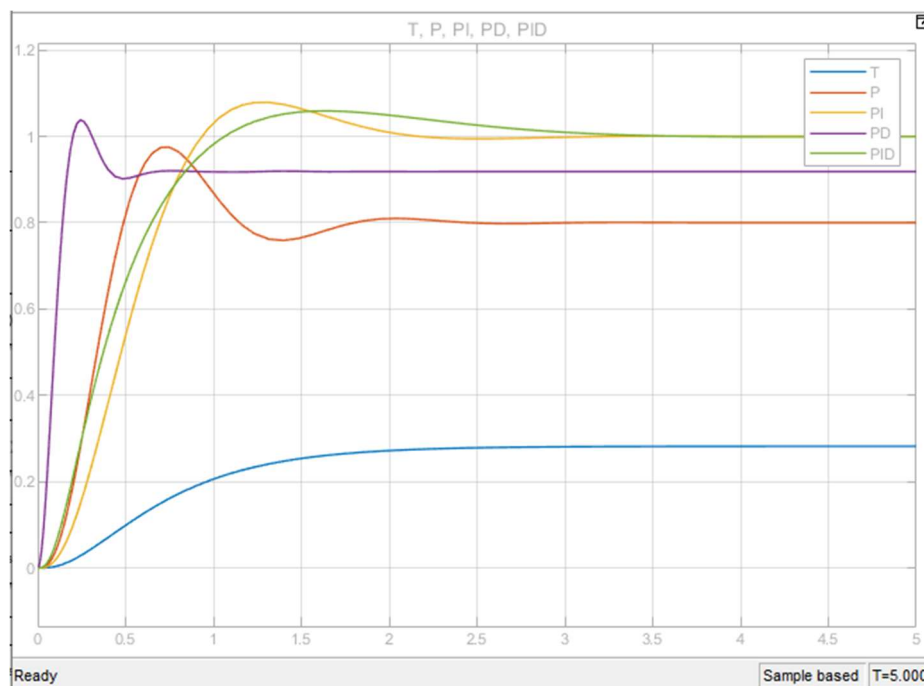


Рисунок 2.8 – Сравнение переходных характеристик

2.5 Настройка регулятора

Параметры необходимые для расчетов:

Коэффициент усиления: $K = 0.393$

Постоянная времени: $T = 1.3$ с

Время запаздывания: $L = 0.2$ с

В программном обеспечении MATLAB имеется встроенный инструмент автоматической настройки ПИД регуляторов. Можно выбрать между всеми типами регуляторов. Данный инструмент очень полезен для подбора регулятора, но как единственный метод настройки он, к сожалению, не подходит, так как переходной процесс требует дополнительной настройки. На рисунке 2.9 изображен переходной процесс системы с автоматически настроенным PID регулятором

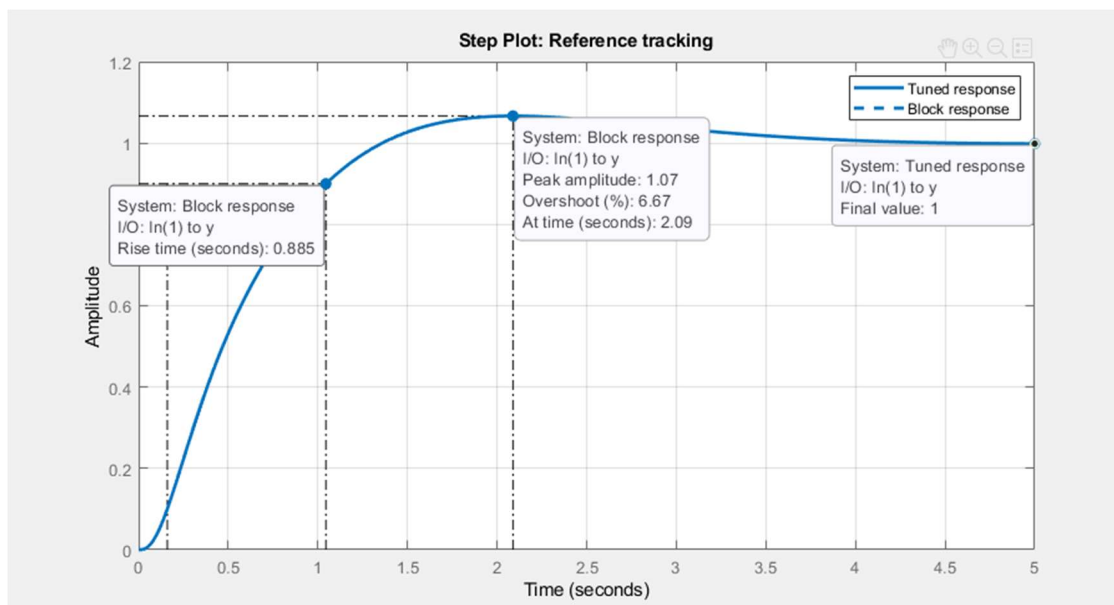


Рисунок 2.9 – Переходная характеристика PID регулятора, настроенного с помощью PID tune

Выражение данного регулятора имеет следующий вид:

$$u(t) = 4.462e(t) + 1.307 \int e(t)dt + 0.1082 \frac{de(t)}{dt} \quad (2.19)$$

Анализ прямых оценок качества системы показан на таблице 2.2. В результате автоматической настройки через PID tune был получен переходной процесс с оценками качества. После их анализа можно сделать вывод, что система стала работать медленнее с возросшим до 3.44 секунд временем регулирования.

Таблица 2.2 – Прямые оценки качества системы

Прямые оценки качества	Значения
Время регулирования T_{set} [с]	3.44
Время нарастания T_r [с]	0.885
Перерегулирование P_{ov} [%]	6.67
Установившаяся ошибка	0

Метод Циглера-Никольса является эмпирическим методом. Он хорошо подходит для данной системы, потому что она является монотонной и имеет большой запас устойчивости [6]. Коэффициенты регулятора, рассчитанные первым методом ZN1 внесены в таблицу 2.3 и переходные характеристики показаны на рисунке 2.11.

Таблица 2.3 – Расчетные коэффициенты ZN1

Тип регулятора	K_p	T_i	T_d
P-регулятор	$0,55 * K = 0,216$	–	–
PI-регулятор	$0.45 * K = 0,17$	$\frac{T}{1.2} = 1,08$	–
PID-регулятор	$0,6 * K = 0,23$	$\frac{T}{2} = 1,3$	$\frac{T}{8} = 0,16$

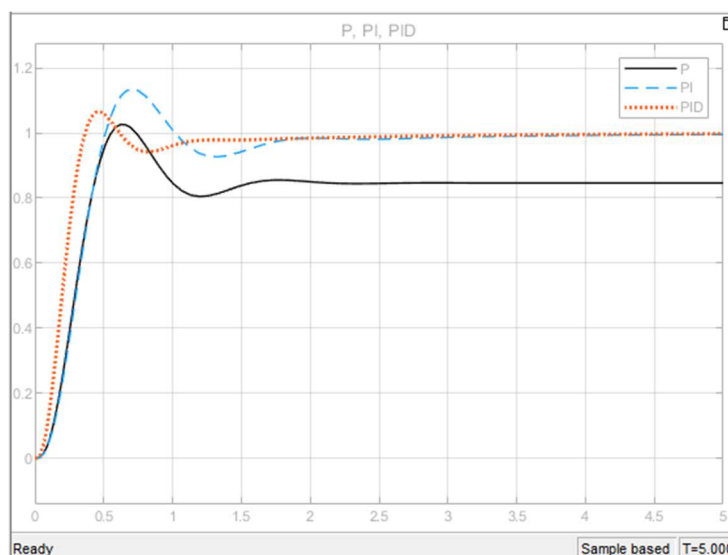


Рисунок 2.11 – Переходные процессы, полученные методом ZN1

Подставив данные значения в модель SIMULINK, получаем переходные процессы, показанные на рисунке 2.10. Сравнив переходные процессы, полученные методом Циглера Никольса вывод остается таким же. Лучшими показателями обладает переходной процесс ПИД регулятора. Подставим коэффициенты в уравнение и получим:

$$u(t) = 16.8e(t) + 0.6 \int e(t)dt + 0.1 \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

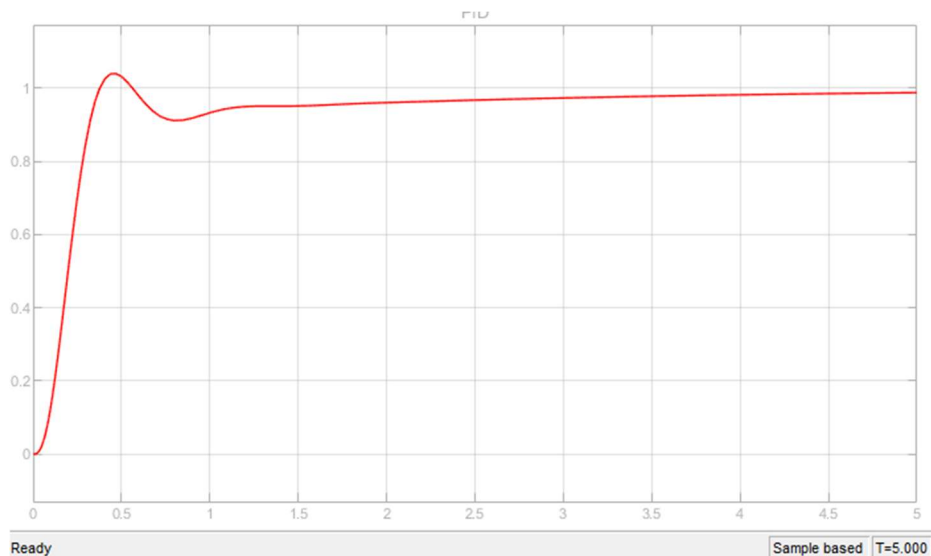


Рисунок 2.10 – Переходной процесс ПИД регулятора ZN1

По данной переходной характеристике уже можно сказать, что качественные показатели (таблица 2.4) немного улучшились.

Таблица 2.4 – Прямые оценки качества ZN1

Оценки качества	Значения
Время регулирования T_{set} [с]	1.66
Время нарастания T_r [с]	0.223
Перерегулирование [%]	6.58
Установившаяся ошибка e_{ss}	0

Метод Чина-Хронеса-Рескивка особенно подходит для данной системы с монотонным переходным процессом и с допустимым перерегулированием. Он обеспечивает больший запас устойчивости по сравнению с предыдущим методом. Алгоритм настройки имеет сходство с методом Циглера – Никольса, что делает процесс регулировки более удобным. Расчёт параметров регулятора выполняется по эмпирическим формулам, ориентированным на минимизацию или отсутствие перерегулирования, при этом используются заранее определённые характеристики объекта управления [6].

Таблица 2.5 – Коэффициенты регулятора методом CHR

Тип регулятора	K_p	K_i	K_d
P-регулятор	$0.3 * \frac{T}{KL} = 4.96$	–	–
PI-регулятор	$0.6 * \frac{T}{KL} = 9.92$	$4L = 8$	–
PID-регулятор	$0.9 * \frac{T}{KL} = 14.88$	$2.4L = 0.8$	$0.42L = 0.084$

Подставив вычисленные значения в модель SIMULINK, были получены переходные характеристики, которые показаны на рисунке 2.11

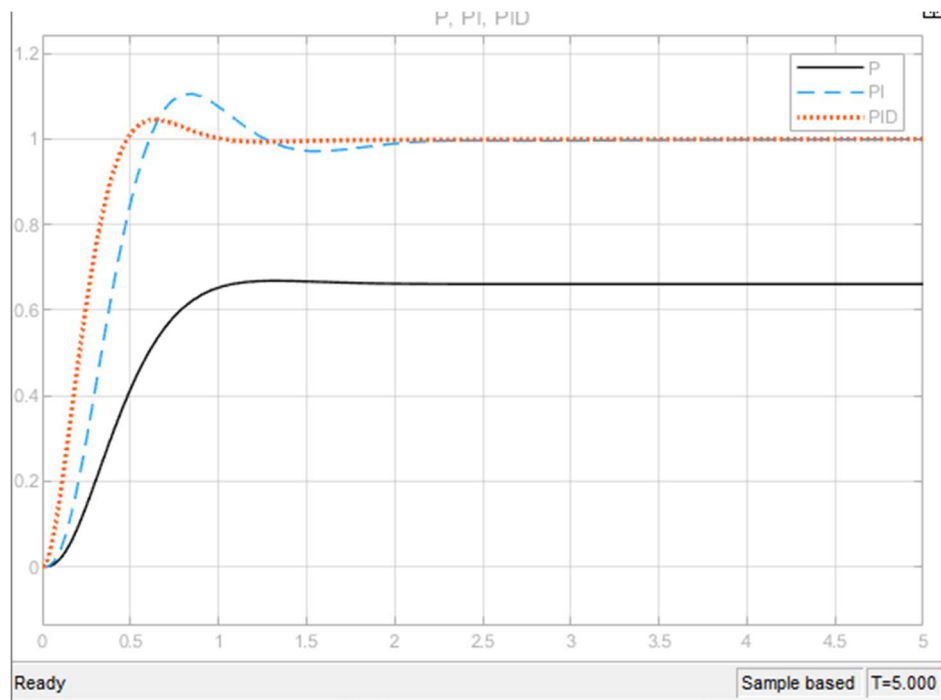


Рисунок 2.11 – Переходные процессы CHR

Анализируя данные переходные характеристики, был снова выбран ПИД-регулятор, так как он имеет лучшие показатели качества по сравнению с П и ПИ регуляторами. На основе выбранного регулятора выражение будет иметь следующий вид:

$$u(t) = 14.88e(t) + 0.8 \int e(t)dt + 0.084 \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$

Проведем оценку качества переходной характеристики с применённым регулятором. Переходная характеристика показана на рисунке 2.12 и значения прямых оценок качества были внесены в таблицу 2.6.

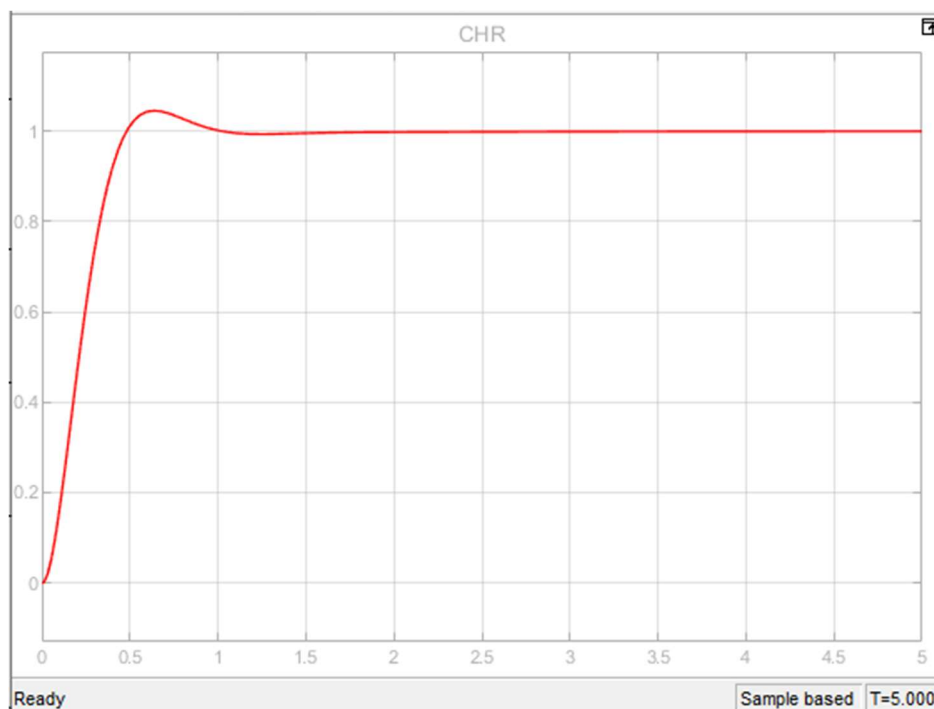


Рисунок 2.12 – Переходной процесс с ПИД рег-ра настроенного методом CHR

Таблица 2.6 – Прямые оценки качества переходного процесса

Прямой показатель качества	Значение
Время регулирования T_{set} [с]	0.849
Время нарастания T_r [с]	0.311
Перерегулирование Pov [%]	4.55%
Установившаяся ошибка e_{ss}	0

2.6 Итоговая оценка переходных процессов

Для выбора лучшей настройки ПИД регулятора были использованы три эмпирических метода его настройки: PID tune, метод Циглера Никольса и Чина-Хронеса-Ресквики. Главной целью было определить какой метод приведет динамические параметры системы к значениям, которые удовлетворяют требованиям, обеспечит быстрый отклик системы, устойчивость и высокую точность. На рисунке 2.13 изображены переходные процессы, полученные в результате настройки ПИД. После их сравнения в таблице 2.7 был сделан вывод, что наиболее подходящим требованиям к работе системы регулятором является регулятор, настроенный методом CHR.

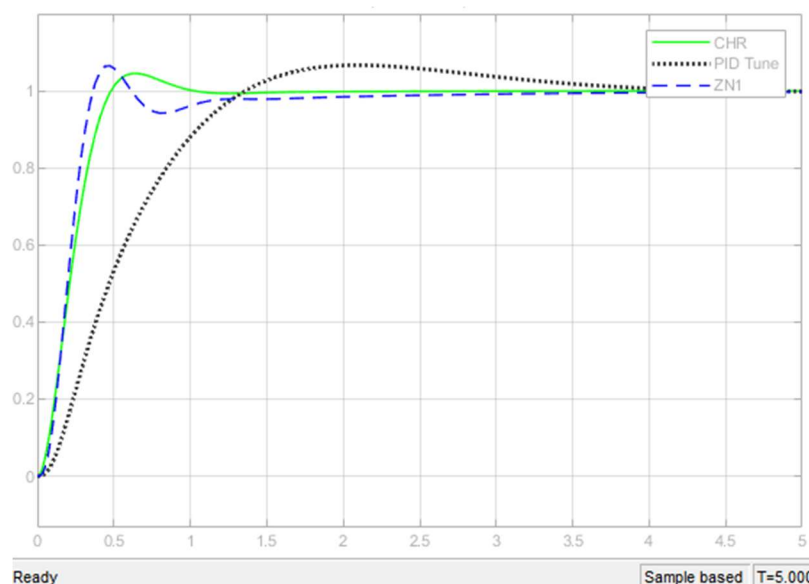


Рисунок 2.13 – Переходные характеристики

Таблица 2.7 – Сравнения прямых оценок качества

Наим.	Без регулятора	CHR	ZN1	PID Tuner
Время регулирования T_{set} [с]	2.28 сек	0.849	1.66	3.44
Перерегулирование P_{ov} [%]	0	4.55	6.58	6.67
Время нарастания T_r [сек]	1.25	0.311	0.223	0.885
e_{ss}	0.111	0	0	0

В ходе сравнительного анализа трёх различных методов настройки типового ПИД-регулятора — автоматической настройки с помощью инструмента PID Tuner, первого метода Циглера Никольса (ZN1) и Чина-Хронеса-Ресквика, - были получены количественные и качественные показатели, позволяющие оценить эффективность каждого из методов

На основании проведённых испытаний было установлено, что наиболее эффективной оказалась настройка регулятора с использованием методом Чина-Хронеса-Ресквика. Данный подход позволил достичь оптимального баланса между быстродействием, устойчивостью системы и точностью регулирования, что особенно критично в рамках конвейерной системы, где предъявляются жёсткие требования к быстрому отклику, минимальному отклонению от заданного значения и отсутствию перерегулирования.

Согласно полученным результатам, время переходного процесса при использовании настроенного ПИД-регулятора составляет всего 0.849 секунды, что является наилучшим результатом среди протестированных методов. Для сравнения, время регулирования при использовании метода Циглера Никольса составило 1.66 секунд, а при автоматической настройке с помощью PID Tuner -

3.44 секунды. С интегрированием любого из трех регуляторов в системе появляется перерегулирование, но оно не нарушает работу системы. Метод Циглера Никольса хоть и имеет меньше время нарастания, но достижение состояния равновесия занимает в два раза больше времени чем с методом CHR.

Таким образом, настройка ПИД-регулятора методом Чина Хронеса Ресквики не только обеспечила самое короткое время установления выходной переменной в пределах допустимого диапазона, но и позволила достичь высокой устойчивости и повышенной точности, что делает её наиболее предпочтительной для применения в автоматизированной системе управления цепным конвейером. Этот результат подтверждает важность учета конкретных характеристик объекта управления и практического опыта при выборе методов настройки регуляторов в инженерной практике.

3 Разработка программы управления цепным конвейером в TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — это интегрированная программная среда разработки от компании Siemens, предназначенная для проектирования, программирования и настройки промышленных систем автоматизации. Данная программа была выбрана для разработки логики управления, потому что она обладает следующими преимуществами:

- высокая степень интеграции компонентов автоматизации, таких как программируемые логические контроллеры (ПЛК) серий S7-1200 и S7-1500, человеко-машинные интерфейсы (HMI), преобразователи частоты и промышленные сети. Всё это объединяется в единую платформу, исключая необходимость использования дополнительного ПО, что значительно упрощает процесс разработки комплексной системы управления;

- поддерживаются несколько языков программирования, такие как LAD (лестничные диаграммы), FBD (функциональные блоки), SCL (структурированный текст) и STL (язык инструкций). Это даёт возможность гибко реализовывать как простые, так и сложные алгоритмы, включая управление температурой, подачей топлива и системой безопасности печи;

- готовые библиотеки и шаблоны, таким как функциональные блоки ПИД-регулирования, модули управления нагревателями и логика обработки аварийных состояний. Это позволяет существенно сократить время разработки и минимизировать вероятность ошибок за счёт повторного использования проверенных решений.;

- моделирование и отладка программ с помощью встроенных инструментов PLCSIM и HMI-эмулятора позволяют проводить комплексное тестирование проекта без необходимости подключения к реальному оборудованию. Это ускоряет запуск системы и повышает её надёжность;

- TIA Portal поддерживает ведущие промышленные протоколы связи — такие как PROFIBUS, PROFINET и OPC UA, обеспечивая совместимость с широким спектром датчиков, исполнительных механизмов и систем верхнего уровня (PLC, SCADA и др.).

Исходя из этих преимуществ, программа TIA Portal очень хорошо подходит для написания логики управления цепным конвейером.

Постановка задачи. Для обеспечения четкой работы системы необходимо разработать схему алгоритма управления, далее на его основе создать логику управления цепным конвейером и графическое представление в WinCC. Программа должна учитывать изменения данных, посылаемых оптическими датчиками и в соответствии с ними делать следующий шаг. Также должна быть возможность запуска и остановки системы с помощью кнопок управления СТАРТ и СТОП.

3.1 Разработка программы управления

Для разработки программы управления была собрана блок схема (рисунок 3.1), которая описывает последовательность работы программы. В блок схеме учтены ключевые операции системы, обнаружение груза, измерение веса, достижение предела. Так же в данном алгоритме предусмотрено возможное застревание груза в виде таймера, если предельный датчик не обнаружит груз в течение 30 секунд, то конвейер прекратит движение.

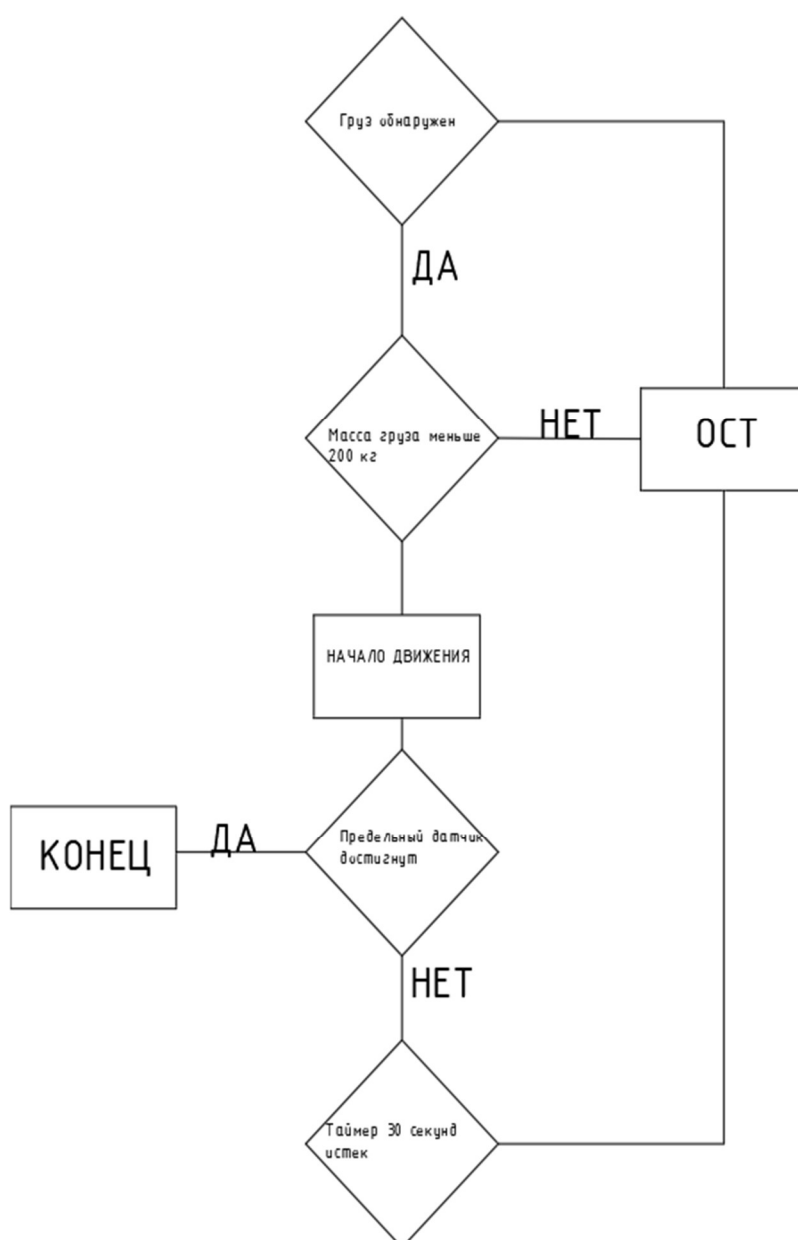


Рисунок 3.1 – Блок схема алгоритма управления

3.2 Конфигурация оборудования

Для обеспечения безопасного и стабильного обмена данными между программируемым логическим контроллером SIMATIC S7-1500 и системой WinCC Advanced в среде TIA Portal необходимо выполнить ряд последовательных шагов по настройке проекта.

Первоначально создаётся новый проект, в который добавляются оба устройства: контроллер S7-1500 и система визуализации WinCC Advanced, отображаемая в проекте как PC-system. Далее выполняется конфигурация сетевых параметров: оба компонента подключаются к одной и той же подсети, им присваиваются уникальные IP-адреса, и активируется поддержка протокола Profinet — это необходимо для корректной и надёжной передачи данных между устройствами.[7]

Следующим этапом является настройка соединения между SCADA-системой и контроллером. В свойствах проекта WinCC Advanced указывается источник данных - контроллер, выбирается соответствующий драйвер (S7-1500 по Profinet), и проверяются все параметры соединения (Рисунок 3.2).

Эти действия позволяют установить надёжное взаимодействие между контроллером и SCADA-системой, что создаёт прочную основу для дальнейшего проектирования и внедрения алгоритмов управления, в частности для автоматизации цепного конвейера.

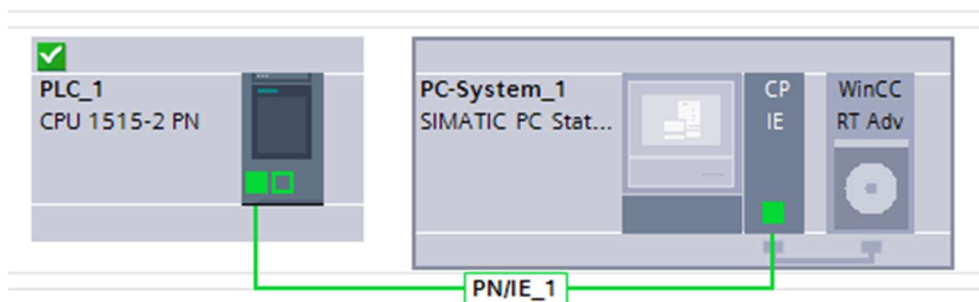


Рисунок 3.2 – Подключение между WinCC и ПЛК

При конфигурации контроллера, исходя из технических требований объекта и особенностей используемого оборудования, осуществляется добавление необходимых аппаратных компонентов. Центральным элементом является CPU 1500 выбранный за счёт высокой производительности, достаточного объёма памяти и поддержки интерфейса Profinet, обеспечивающего эффективную интеграцию с SCADA [7].

В систему также включается блок питания, подобранный по параметрам рабочего напряжения и необходимого тока для питания всех модулей и периферийных устройств. Согласно стандартным правилам конфигурации Siemens, блок питания размещается слева от процессора.

Подбор модулей дискретного и аналогового ввода/вывода осуществляется на основании количества используемых датчиков и исполнительных механизмов, а также требований к точности и типу сигнала. При добавлении каждого модуля в проект задаются его ключевые параметры, включая тип

сигнала и адресация каналов, которые затем используются при программировании логики управления. Итоговая конфигурация показана на рисунке 3.3



Рисунок 3.3 – Конфигурация контроллера

3.3 Разработка логики управления цепными конвейерами

Разработка логики управления является очень важным этапом разработки системы управления. Логика собиралась в программируемом блоке OB1 на языке Ladder logic или LAD, который очень часто встречается в промышленности [7].

Данная логика состоит из базовых блоков, которые отвечают за работу конвейерной системы, передают сигналы датчиков об обнаружении груза и отсчитывают время (рисунок 3.4).

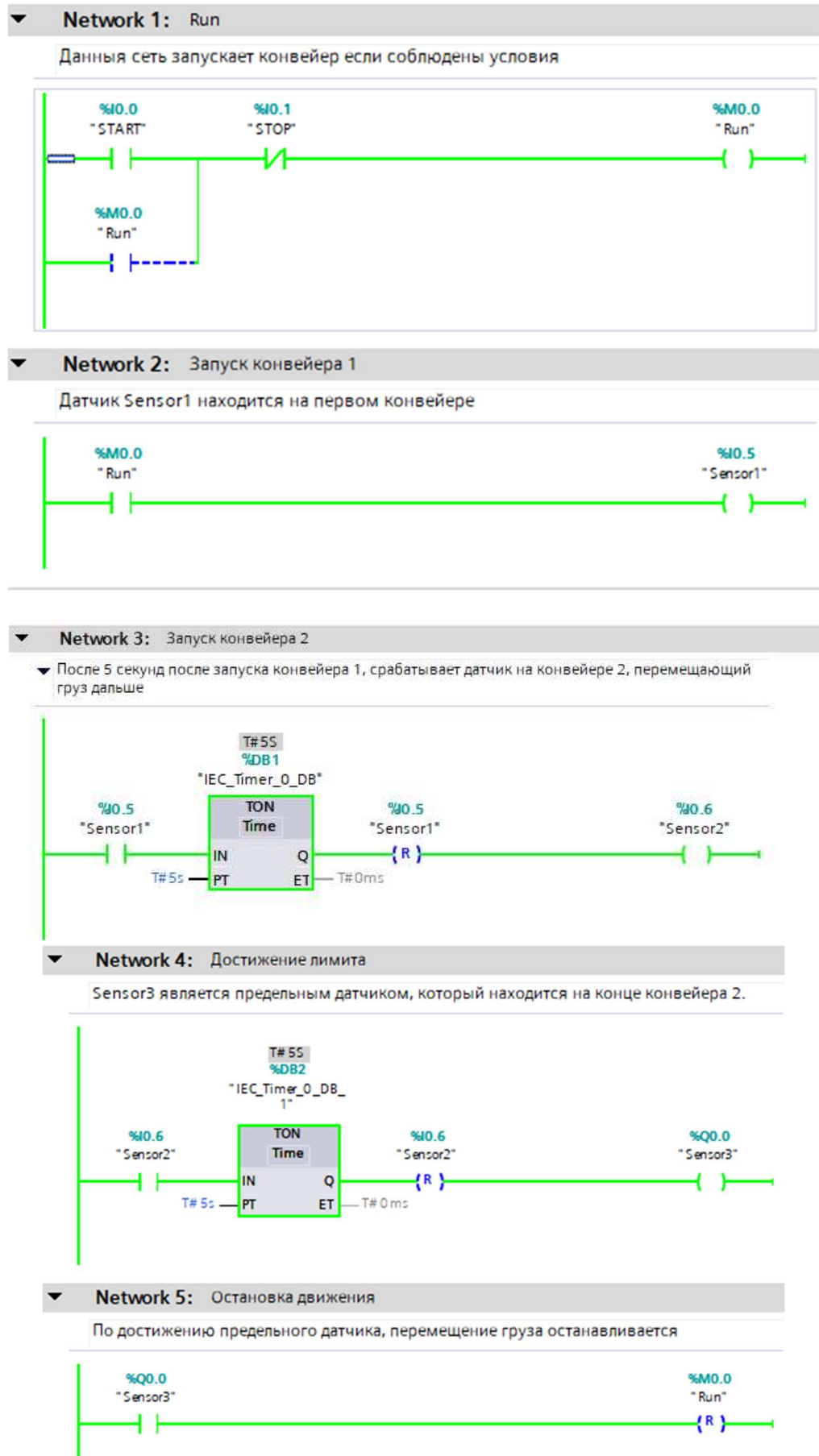


Рисунок 3.4 – Логика управления конвейером

3.4 Разработка интерфейса взаимодействия

Для интерфейса HMI, как видно на рисунке 3.5 была собрана система, показывающая работу цепного конвейера, и давала оператору возможность взаимодействовать с конвейером. Графическое отображение двух конвейеров с датчиками, которые меняют цвет в зависимости от сигнала, который посылается датчиком.

На главном экране находятся две кнопки взаимодействия START и STOP. Кнопка START запускает систему, и она начинает движение и не прекращается пока не будет нажата кнопка STOP. У обоих конвейеров есть установлены оптические датчики обнаружения, которые меняют цвет с красного на зеленый в зависимости от сигнала, посылаемого датчиком. Если датчик видит груз, то соответствующий сенсор меняет цвет на зеленый.

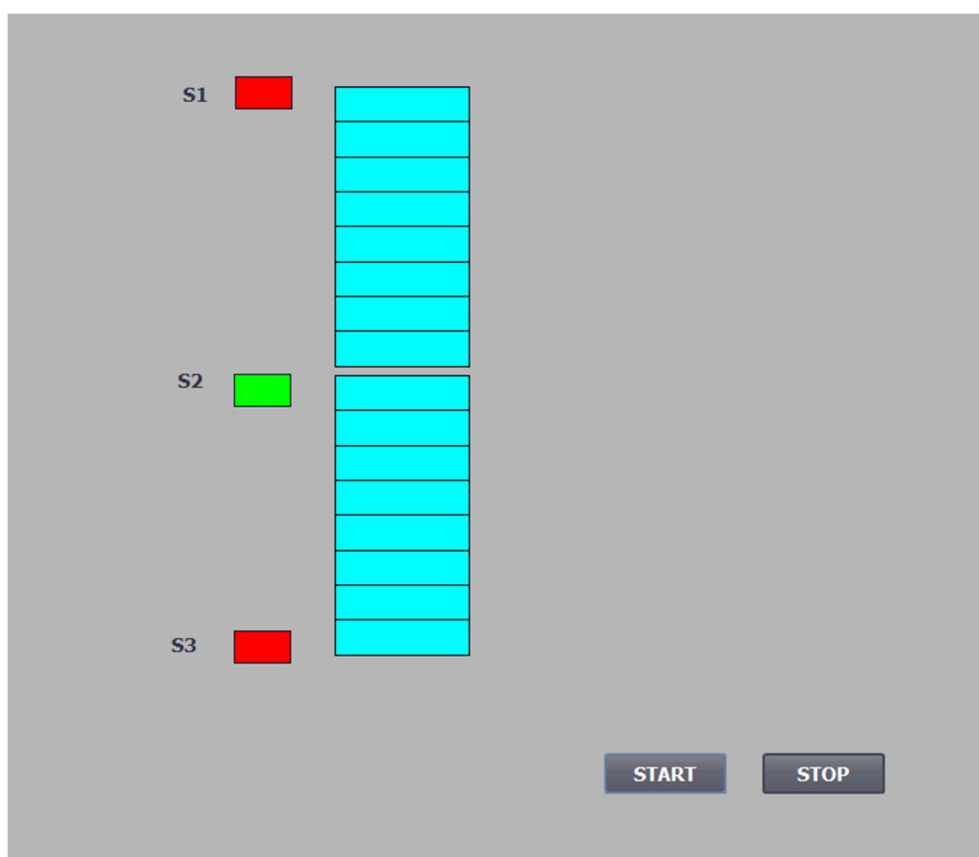


Рисунок 3.5 – Интерфейс HMI

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломной работы была разработана система автоматизированного управления цепным конвейером предприятия Шин Лайн, соответствующая поставленным задачам и требованиям технического задания. Разработка основывалась на использовании современных аппаратных и программных средств, включая контроллеры Siemens серии S7 и интегрированную среду TIA Portal, что позволило создать надёжное, масштабируемое и удобное в обслуживании решение.

Проведённый анализ технологического объекта, подбор оборудования, реализация логики работы и моделирование системы подтвердили работоспособность предложенного решения и его соответствие необходимым параметрам. Разработанный алгоритм управления цепным конвейером обеспечивает быстрый отклик системы, стабильность функционирования при различных режимах работы и возможность расширения при изменении производственных условий. В ходе работы также были рассмотрены различные методы настройки регуляторов, и на основании анализа было выбрано оптимальное решение, что позволило повысить точность регулирования и снизить энергозатраты.

С технической точки зрения, реализация предложенного решения способствует повышению производительности производственной линии, сокращению времени простоя оборудования и снижению вероятности ошибок, связанных с человеческим фактором. Экономическая эффективность достигается за счёт оптимизации технологических процессов и повышения эффективности и надёжности системы. Разработка не требует значительных дополнительных инвестиций в инфраструктуру, но обеспечит долговечную службу.

Научная и практическая ценность данной работы заключается в адаптации методов промышленной автоматизации к условиям реального производственного объекта, а также в применении современных подходов к управлению транспортными системами. Работа завершена созданием законченной системы управления, включающей математическую модель, программную логику и интерфейс взаимодействия. Полученные результаты могут быть использованы для модернизации аналогичных транспортных линий, а также служить основой для последующих разработок в области цифровизации производственных процессов.

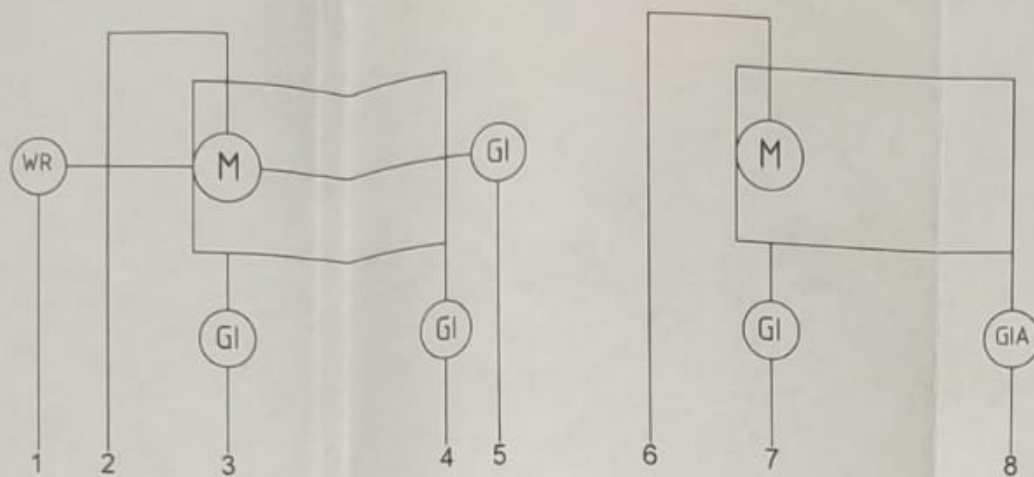
Таким образом, поставленные в дипломной работе цели и задачи полностью выполнены, а полученные результаты подтверждают актуальность, техническую обоснованность и практическую применимость разработанной системы управления цепным конвейером.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аульбекова А. Это просто бомба: как развить небольшой бизнес мороженого в лидера рынка. 2018, https://forbes.kz/articles/eto_prosto_bomba
- 2 Кожушко Г. Г., Лукашук О. А. Расчёт и проектирование ленточных конвейеров: учебно-методическая литература/ изд – Екб: Издательство Уральского университета. 2016. – 232 с.
- 3 Кулакова О. Е. Линейные системы автоматического управления: лекционный материал / Алматы: Satbayev University, 2023.
- 4 Денисенко В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации Часть 1 // Цикл статей «В записную книжку инженера» - изд. «СТА-пресс» 2006. 66-74 с.
- 5 Peter Woolf et al. Chemical Process Dynamics and Controls. 2025, [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf))
- 6 Ширяева О. И. Нелинейные системы автоматического регулирования: лекционный материал / Алматы: Satbayev University, 2024 г.
- 7 Руководство по программированию: S7-1200/S7-1500 STEP 7 (TIA Portal) и STEP 7 Safety в TIA Portal // базовое системное руководство - SIEMENS 2025 г – 109 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Функциональная схема автоматизации управления цепным конвейером
Шин - Лайн**



Поз	Наименование	Кол	Примечание
1	Датчик веса на первом конвейере	1	
2, 6	Асинхронный двигатель	2	
3, 4, 5, 7	Оптический датчик позиционирования	4	
8	Предельный датчик на 2-м конвейере	1	

		1	2	3	4	5	6	7	8
Приборы по месту		WT		GT	GT	GT		GT	GTA
		IA	GSC	GC	GC	GC	GSC	GC	GC
PLC	AI								
	AO								
	DI	•	•	•	•	•	•	•	•
	DO	•	•	•	•	•	•	•	•
SCADA	I	•		•	•	•		•	•
	R								
	C		•				•		
	A								
	S		•				•		

Дипломный проект

Изм.	Лист	И. дог.	Подп.	Дата
Разраб.	Анбаров А. А.			
Проб.	Ширяева О. И.			
Т. контр.				
Н. контр.	Манатов К. А.			11.06.
Утв.				

Разработка системы управления
цепным конвейером Шин Лайн

Литера	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1	Листов 1	

Функциональная схема автоматизации

Кафедра АиУ

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Анварова Алишера Акбаржановича
6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка системы управления цепным конвейером Шин Лайн

Выполнено:

- а) презентация на 24 слайдах
- б) пояснительная записка на 43 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Представленный на рецензию дипломный проект посвящен разработке системы управления цепным конвейерами, для работы в автоматизированном морозильном складе Шин Лайн. Актуальность данной работы является в потребности поддерживать высокую пропускную способность и эффективность работы склада.

Пояснительная записка состоит из введения, 3-х разделов и заключения. В первом разделе приведено описание завода по производству мороженого Шин Лайн, описание автоматизированного морозильного склада и описание объекта автоматизации. Также определены точки управления и выбор оборудования.

Во втором разделе получена математическая модель системы регулирования двигателем цепного конвейера. На основе полученной модели выполнена проверка на устойчивость, найдены запасы устойчивости, также определены прямые оценки качества, сформулирована постановка задачи синтеза типового регулятора. В ходе синтеза регулятора были использованы эмпирические методы Чина-Хронеса-Ресвика и Циглера-Никольса 1, а также автоматическая настройка параметров с помощью инструмента PID tuner, встроенного в MATLAB.

В третьем разделе разработана логика управления перемещения груза в программе TIA Portal, также разработана SCADA-система.

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

Замечания:

- 1. Недостаточно представлена технологическая часть.
- 2. Необходимо уточнение математической модели САР в разделе 2.

Оценка работы

Учитывая вышеизложенное, считаю, что дипломный проект заслуживает оценки В «75 %», а студент Анваров Алишер Акбаржанович присвоения академической степени бакалавра по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

зав. кафедрой "АиУ"

АУЭС им. Г. Дзукеева

Р.Р.Д

Абжанова Л. К.

18» июнь 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Анваров Алишер Акбаржанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка системы управления цепного конвейера Шин Лайн

Научный руководитель: Ольга Ширяева

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

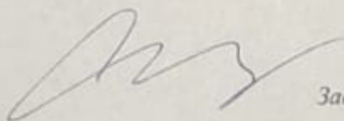
☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата



Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Анваров Алишер Акбаржанович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка системы управления цепного конвейера Шини Лани

Научный руководитель: Ольга Ширяева

Коэффициент Подобия 1: 2.7

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 2

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

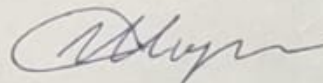
☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 14.06.25.


проверяющий эксперт