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

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы

Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6В07103 – 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
«15» 06 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил Гусейнов М. Г.

Рецензент
Phd, доцент кафедры «Автоматизация и управления»
Оракбаев Е.Ж.
(подпись)
«05» 06 2025 г.

Научный руководитель
Ассоциированный профессор, к.т.н.
Жусупбеков С. С.
(подпись)
«03» 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

6В07103 – Автоматизация и роботизация

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой АиУ
канд. тех. наук
Сарсенбаев Н.С.
«13» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы
Тема: «Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией»
Утвержден приказом Р. Ускенбаевой № 26-П/Ө от «29» января 2025 г.
Срок сдачи законченной работы: «10» 06 2025 г.
Исходные данные к дипломному проекту: технологическая схема конвейерной линии, математическая модель объекта управления
Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:
а) описание структуры и принципа работы конвейерной линии, включая этапы прохождения заготовки через технологические участки, параметры движения и взаимодействие с исполнительными механизмами;
б) проектирование автоматизированной системы управления: определение архитектуры системы, построение функциональной схемы автоматизации, выбор технических средств и программного обеспечения;
в) математическое моделирование динамики конвейерной системы, построение замкнутой схемы управления и исследование устойчивости системы с регулятором.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации процесса перемещения заготовок по конвейерной линии.
Рекомендуемая основная литература:
1 Воронов А. А. Теория автоматического управления. Часть 1. – Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с.
2 Кузнецов А. П., Бусько В.Л., Лобко В. В. Автоматизация технологического процесса транспортировки массовых грузов в рудниках. – 2008. – 312 с.

ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	**Сроки представления научному руководителю**	**Примечание**
Технологическая часть, описание технологического процесса, требования к системе управления	13.02. 2025 г.	
Расчетная часть, постановка задачи для синтеза контуров управления, моделирование дискретного ПИД-регулятора	14.04. 2025 г.	
Программная реализация, разработка программы на языке в TiaPortal, разработка SCADA	23.05. 2025 г.	

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	С.С. Жусупбеков ассоц. проф	27.02.25	
Расчетная часть	С.С. Жусупбеков ассоц. проф	13.05.25	
Программная реализация	С.С. Жусупбеков ассоц. проф	28.05.25	
Нормоконтролер	К. А. Манатов магистр. техн. наук	05.06.25	

Научный руководитель _____ С. С. Жусупбеков

подпись

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Гусейнов М. Г.

подпись

Дата «13» 02 2025 г.

АҢДАТПА

Дипломдық жоба дайындамаларды жылжытудың технологиялық кезеңдерін үйлестіру үшін конвейерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеуге арналған. Жұмысқа теориялық талдау, математикалық модельдеу және бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу кіреді.

Теориялық бөлімде пәндік саланың ерекшеліктері, басқару жүйесіне қойылатын талаптар және бағдарламаланатын контроллерлермен логикалық схемаларды құру принциптері қарастырылады.

Есептеу бөлігінде конвейердің математикалық моделі, оператор бейнесі, өтпелі сипаттамалардың талдауы және PID контроллерінің синтезі кіреді. Оның дискретті аналогы MATLAB Simulink бағдарламасында жүзеге асырылады, содан кейін модельдеу.

Бағдарламалық құралды енгізу Siemens S7-1500 контроллеріне арналған LAD жүйесіндегі TIA Portal v15.1 ішінде жасалған. Басқару логикасы процестің кешігуін, сигналды өңдеуді және өнімді санауды ескереді. Визуализация және басқару процестерді бақылау және басқару үшін SCADA интерфейсі арқылы жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект посвящен разработке автоматизированной системы управления конвейером для координации технологических этапов перемещения заготовок. Работа включает теоретический анализ, математическое моделирование и программную реализацию.

В теоретической части рассмотрены особенности предметной области, требования к системе управления и принципы построения логических схем с программируемыми контроллерами.

Расчетная часть включает математическую модель конвейера, операторное представление, анализ переходных характеристик и синтез ПИД-регулятора. Его дискретный аналог реализован в MATLAB Simulink, с последующим моделированием.

Программная реализация выполнена в TIA Portal v15.1 на LAD для контроллера Siemens S7-1500. Логика управления учитывает технологические задержки, обработку сигналов и подсчет изделий. Визуализация и контроль осуществляются через SCADA-интерфейс для мониторинга и управления процессом.

ANNOTATION

The diploma project is devoted to the development of an automated conveyor control system for coordinating the technological stages of workpiece movement. The work includes theoretical analysis, mathematical modeling and software implementation.

The theoretical part considers the features of the subject area, requirements for the control system and principles of constructing logical circuits with programmable controllers.

The calculation part includes a mathematical model of the conveyor, an operator representation, an analysis of transient characteristics and the synthesis of a PID controller. Its discrete analog is implemented in MATLAB Simulink, with subsequent modeling.

The software implementation is made in TIA Portal v15.1 on LAD for the Siemens S7-1500 controller. The control logic takes into account technological delays, signal processing and product counting. Visualization and control are carried out through the SCADA interface for monitoring and managing the process.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 7
1 Технологическая часть 8
1.1 Исследование области автоматизации 8
1.2 Характеристика автоматизируемого объекта 8
1.3 Последовательность производственного процесса 10
1.4 Формулировка требований к системе управления 11
2 Расчётно-аналитическая часть 13
2.1 Формализация задачи управления технологическим процессом 13
2.2 Построение математической модели автоматической системы регулирования 14
2.3 Исследование переходных характеристик модели 17
2.4 Разработка параметров ПИД-регулятора 19
2.5 Имитация работы цифрового ПИД-регулятора в MATLAB/Simulink 21
2.6 Моделирование цифровой модели управляемого объекта в MATLAB 25
3 Реализация системы управления 29
3.1 Формулировка задачи регулирования скорости движения конвейера 29
3.2 Выбор аппаратных средств 30
3.3 Обработка и распределение сигналов ввода/вывода 35
3.4 Программная реализация логики управления на языке LAD 36
3.5 Визуализация процесса в SCADA 39
Заключение 43
Список использованной литературы 44
Приложение А 45

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Развитие современных производств невозможно без применения автоматизированных систем управления, позволяющих повысить эффективность, надёжность и гибкость технологических процессов. Одним из ключевых элементов таких процессов являются конвейерные линии, которые обеспечивают непрерывную транспортировку изделий между различными технологическими участками. В условиях растущей конкуренции и необходимости сокращения временных затрат на выпуск продукции автоматизация конвейерных линий становится не только оправданной, но и стратегически важной задачей [1].

Общая характеристика. Данный дипломный проект посвящён разработке системы управления для конвейерной линии, имитирующей производственный цикл с участками покраски, сушки и последующего учёта готовой продукции. Актуальность проекта обусловлена широким применением подобных систем в различных отраслях, от машиностроения до пищевой промышленности, где требуется строгий контроль за перемещением и обработкой изделий в автоматическом режиме. Помимо повышения производительности, автоматизация позволяет исключить человеческий фактор, уменьшить аварийность и обеспечить стабильное качество продукции.

Цель работы. Целью работы является создание надёжной и технологичной автоматизированной системы управления, способной обеспечивать последовательное перемещение заготовок по конвейеру с точным выполнением операций на каждом этапе. При этом особое внимание уделяется построению логики на языке релейных диаграмм (LAD) в среде TIA Portal, а также реализации визуального интерфейса средствами SCADA-системы.

Задачи. В рамках проекта необходимо решить несколько ключевых задач: провести анализ производственного процесса и требований к системе управления, выбрать подходящие технические средства автоматизации, разработать управляющую программу для ПЛК, а также создать математическую модель процесса и провести её имитационное моделирование [2]. Дополнительно проект предусматривает построение SCADA-интерфейса, отображающего текущее состояние системы и обеспечивающего контроль за работой оборудования.

1 Технологическая часть

1.1 Исследование области автоматизации

Конвейерные линии занимают ключевое место в структуре современных производственных процессов, являясь основой для построения непрерывных и ритмичных технологических цепочек. Их применение охватывает широкий спектр отраслей — от лёгкой промышленности до высокотехнологичных сборочных производств. Внедрение конвейеров позволяет значительно увеличить производительность, минимизировать участие человека в рутинных операциях и обеспечить стабильность качества выпускаемой продукции [1]. Особенно ярко значимость таких систем проявляется на предприятиях с высокой степенью автоматизации, где требуется точная синхронизация между этапами обработки, транспортировки и контроля продукции.

Мировые промышленные гиганты, такие как Tesla и Amazon, построили эффективность своей логистики и сборочных линий именно на базе продвинутых конвейерных систем. У Amazon, например, конвейерные системы в сочетании с автоматизированными складами позволяют отслеживать, перемещать и сортировать миллионы товаров ежедневно. Tesla применяет интеллектуальные линии, где конвейеры интегрированы с системой реального времени, контролирующей каждый узел производства.

Современное автоматизированное производство немыслимо без применения конвейеров, поскольку они обеспечивают потоковую организацию труда, точную подачу заготовок к рабочим станциям и высокую степень повторяемости операций. Это особенно важно при производстве сложных изделий, где критична точность временных интервалов и последовательности действий. Конвейеры позволяют не только механизировать транспортировку, но и включать в состав системы датчики, регуляторы, исполнительные устройства и средства визуализации, что делает их важным элементом гибких и адаптивных производственных комплексов [3].

1.2 Характеристика автоматизируемого объекта

Автоматизированные конвейерные системы представляют собой ключевой элемент современного производства, обеспечивая последовательное перемещение полуфабрикатов между технологическими зонами [4]. Такие линии применяются повсеместно — в автомобилестроении, логистике, пищевой и химической промышленности. Их назначение — не просто транспортировка, но и синхронизация связанных производственных операций, что требует чёткого и надёжного управления.

Принцип работы конвейера, на первый взгляд, может показаться достаточно простым. Однако при переходе к промышленной автоматизации возникает необходимость учёта множества факторов: физические

характеристики перемещаемых объектов, их положение во времени и пространстве, согласованность с оборудованием участков обработки и условия безопасной эксплуатации. Кроме того, внедрение автоматизации должно учитывать возможность масштабирования и адаптации под изменяющиеся требования производства [5].

Управление конвейерными системами в промышленных условиях чаще всего реализуется с применением программируемых логических контроллеров (ПЛК), отличающихся высокой надёжностью, устойчивостью к помехам и возможностью гибкой настройки логики работы. В сочетании с датчиками положения, исполнительными механизмами и системами визуализации ПЛК позволяют строить полнофункциональные решения для автоматизации различных участков конвейерной линии [6].

В рамках настоящей работы рассматривается типовой технологический процесс, в котором заготовка проходит три основные стадии: окраску, сушку и подсчёт с последующей упаковкой. Для корректного выполнения каждой операции система должна не только управлять движением изделия, но и точно фиксировать моменты его прибытия в соответствующие зоны, обеспечивать выдержку технологического времени и учитывать общее количество обработанных единиц продукции.

Таким образом, основными требованиями к системе управления являются стабильность, своевременность переключения этапов обработки и возможность мониторинга всех этапов в реальном времени. Это делает актуальным применение SCADA-систем для визуализации и диспетчеризации происходящих процессов [7].

Современная конвейерная линия представлена на рисунке 1.1.

Рисунок 1.1 – Современная конвейерная линия

Проведённый анализ позволяет заключить, что построение надёжной и расширяемой архитектуры управления конвейером требует не только продуманного выбора аппаратных средств, но и методически обоснованного подхода к построению программной логики. В этом контексте важно обеспечить

прозрачность работы системы, простоту отладки и возможности последующей интеграции с другими производственными участками [7].

1.3 Последовательность производственного процесса

Автоматизированная конвейерная линия организует процесс обработки заготовок, постепенно перемещая их через три основных этапа: покраску, сушку и финальный контроль. Система настроена так, чтобы обеспечивать последовательное продвижение изделия — начиная с момента его подачи и заканчивая окончательной проверкой, осуществляемой фотоэлектрическим датчиком.

На первом шаге заготовка попадает на конвейерную ленту, где фиксируется специальным датчиком. Далее она перемещается в зону покраски, где запускается таймер, моделирующий длительность окрашивания. Когда этот этап завершён, изделие автоматически транспортируется в сушильную секцию, работа которой также регламентируется временной задержкой. После того как процесс сушки завершён, изделие поступает в зону контроля. Здесь фотоэлектрический датчик фиксирует его прохождение, отправляя сигнал на счётчик.

Таким образом, система не только механически передвигает заготовки по линии, но и контролирует каждый этап обработки. Вся работа управляется программируемым логическим контроллером, а визуальное наблюдение за процессом осуществляется через SCADA-систему.

Таблица 1.1 – Характеристика объекта управления

Характеристика	Описание
Тип производственной линии	Конвейерная система с линейной подачей заготовок
Исполнительный механизм	Электродвигатель, приводящий в движение конвейер
Система управления	Программируемый логический контроллер Siemens CPU 1513C
Точки контроля	Фотоэлектрический датчик на выходе, датчики на входе, в зонах покраски и сушки
Временные параметры	Таймер покраски – 5 секунд, таймер сушки – 7 секунд

Продолжение таблицы 1.1

Метод фиксации прохождения деталей	Подсчет импульсов от фотоэлектрического датчика
Алгоритм управления	Логика, реализованная в TIA Portal на языке LAD

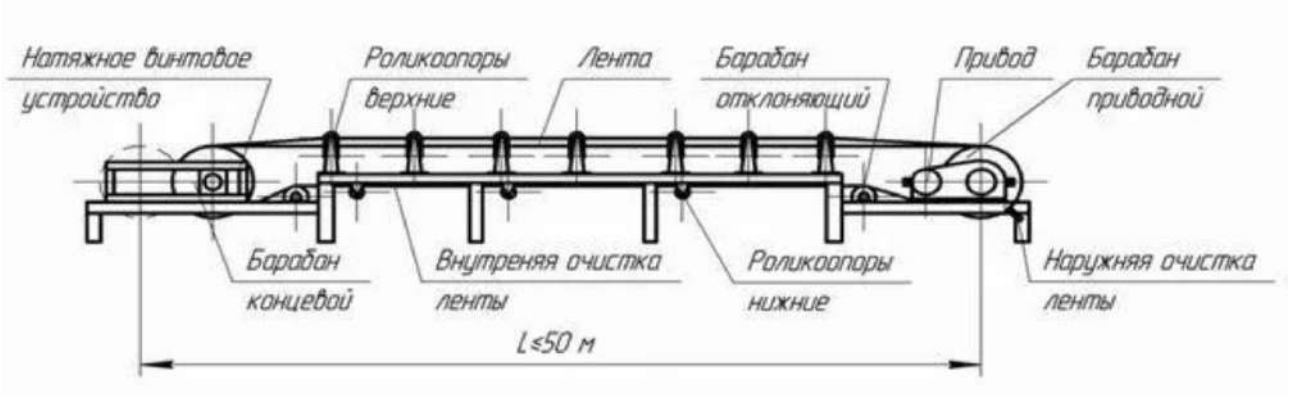


Рисунок 1.2 – Схема ленточного конвейера

1.4 Формулировка требований к системе управления

Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией требует предварительного определения ряда технических и функциональных требований. Основная задача системы управления — обеспечение бесперебойного перемещения заготовок между участками технологического процесса с возможностью точного позиционирования и учета количества изделий [4]. Управление должно осуществляться в реальном времени, с учётом сигналов с различных датчиков и логики обработки сигналов с таймеров.

Система должна обладать способностью адаптироваться к различным условиям эксплуатации, в том числе к неполному циклу загрузки или завершению смены, когда подача новых заготовок прекращается, но текущие элементы продолжают движение по линии. Кроме того, необходима возможность задания временных параметров обработки, таких как длительность покраски и сушки, с последующим контролем выполнения заданных временных интервалов.

Отдельное внимание уделяется вопросам безопасности: система обязана корректно обрабатывать ситуации, когда один из участков технологической цепи оказывается занят, что может потребовать временной остановки конвейера или блокировки запуска следующих операций. Также требуется обеспечение

возможности сбора статистических данных, таких как общее количество обработанных деталей, с выводом информации на интерфейс пользователя [7].

Система должна быть построена с использованием программируемого логического контроллера, поддерживающего необходимое количество входов и выходов, а также обладающего достаточной скоростью обработки логики [8]. Интерфейс визуализации должен обеспечивать простую и понятную подачу информации, позволяя оператору отслеживать состояние узлов конвейера и вносить изменения в параметры при необходимости.

В соответствии с данными требованиями составим таблицу технических требований к системе.

Таблица 1.2 – Технические требования к системе

№	**Характеристика**	**Описание**
1	Тип контроллера	Siemens CPU 1513C или аналог с необходимым количеством дискретных входов/выходов
2	Время цикла обработки программы	Не более 50 мс для обеспечения реального времени работы
3	Количество управляемых объектов	1 электродвигатель, 3 датчика (индуктивных и оптических), 2 таймера обработки
4	Питание системы	24 В постоянного тока
5	Интерфейс визуализации	SCADA на базе ПК с возможностью мониторинга состояния и ввода параметров
6	Надежность работы	Работа в непрерывном режиме не менее 8 часов в сутки без отказов
7	Возможность масштабирования	Предусмотрено расширение на дополнительные участки и датчики
8	Условия эксплуатации	Температура окружающей среды от 5 °C до 40 °C
9	Защита от сбоев и аварийных ситуаций	Наличие логики аварийной остановки при ошибках датчиков или перегрузке

2 Расчётно-аналитическая часть

2.1 Формализация задачи управления технологическим процессом

В рамках данного дипломного проекта производится формализация задачи управления технологическим процессом перемещения заготовок с использованием ленточного конвейера, автоматизированного посредством ПЛК Siemens. Исходной точкой является необходимость строгой последовательной обработки изделий, включающей их транспортировку между зонами покраски и сушки с последующим учётом готовых деталей.

Технологическая линия условно делится на несколько участков: участок подачи заготовки, зона покраски, зона сушки и финишный участок, где производится учет изделий при помощи фотодатчика. Для каждого этапа определены входные и выходные параметры, участвующие в управлении процессом. Входными сигналами служат данные с индуктивных и оптических датчиков, фиксирующих наличие заготовки в конкретной зоне. Выходными — управляющие воздействия на электродвигатель конвейера и логические сигналы для визуализации и учета (рисунок 2.1).

Целью формализации является построение логической структуры, обеспечивающей корректную реакцию системы на изменения во входных сигналах. Это включает управление запуском двигателя ленты, его остановкой при определённых условиях (например, когда зона окраски или сушки занята), а также фиксацию завершения технологического цикла [1]. Процесс поддается описанию в виде конечного автомата, где переходы между состояниями происходят на основе сигналов от сенсоров и таймеров.

В логике реализуется также реакция на нештатные ситуации, такие как окончание смены или отсутствие новых заготовок, когда система должна завершить цикл работы с текущими деталями, не запуская новые. Таким образом, формализованная задача включает в себя не только управление последовательностью операций, но и учет временных интервалов обработки, условия останова и критерии готовности изделия.

Реализация логики управления осуществляется на языке LAD в среде TIA Portal, с учётом цикличного выполнения основного организационного блока OB1. Формализация задачи позволяет далее перейти к математическому моделированию объекта управления, а также к синтезу и настройке ПИД-регулятора, обеспечивающего точное соблюдение параметров движения и стабильность процесса.

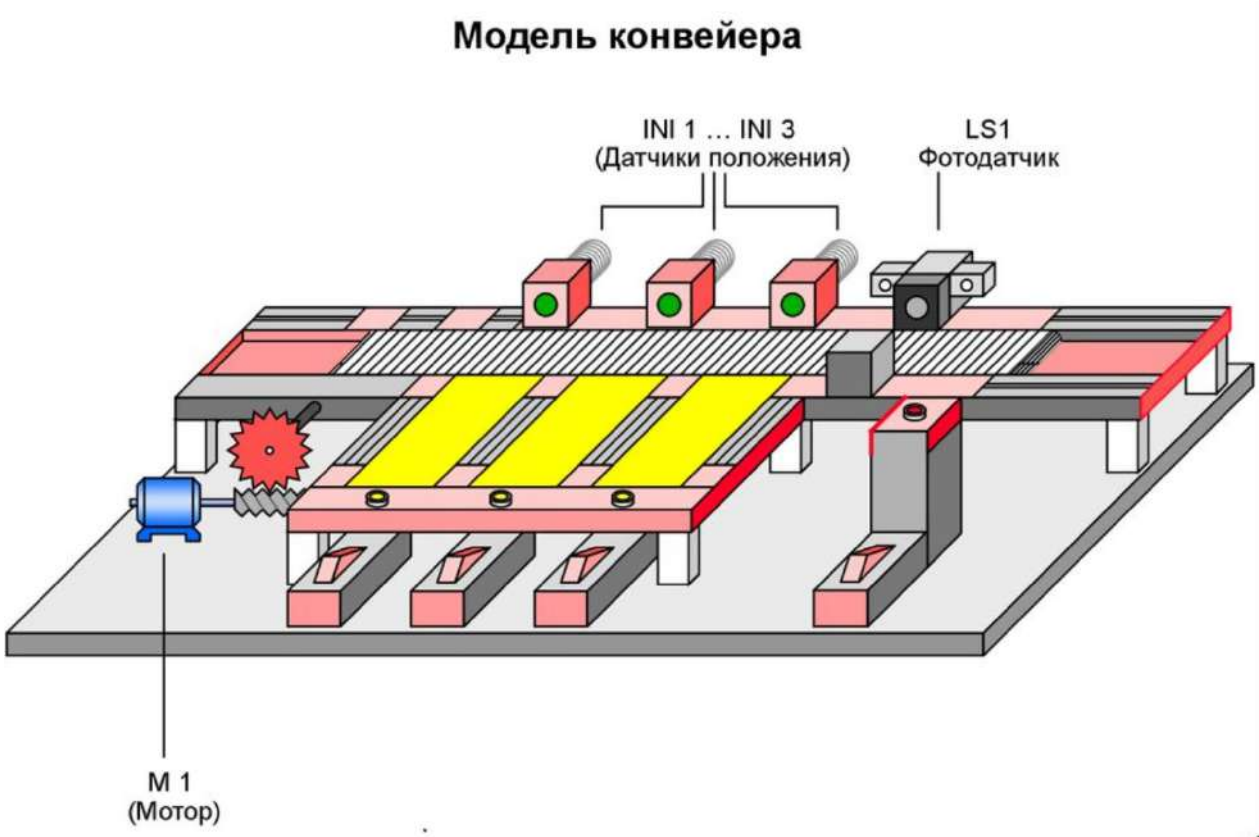


Рисунок 2.1 – Модель ленточного конвейера

Ознакомившись с технологическим процессом, сформулируем две постановки задачи:

Постановка задачи №1. На основании полученной математической модели замкнутой системы требуется осуществить синтез типового регулятора, обеспечивающего устойчивое функционирование системы стабилизации скорости конвейерной ленты;

Постановка задачи №2. В соответствии с установленными техническими требованиями необходимо разработать программный алгоритм управления, реализующий логику функционирования автоматизированной системы.

2.2 Построение математической модели автоматической системы регулирования

Для проведения анализа и разработки системы автоматического управления конвейером требуется создание корректной математической модели объекта управления. Данная система состоит из двигателя, конвейерной ленты и механических элементов инерции, что дает возможность представить её как инерционную систему второго порядка без запаздывания.

Стандартное выражение передаточной функции системы второго порядка без чистого запаздывания имеет следующий вид:

$$G(s) = \frac{K}{(T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot T \cdot s + 1)}, \quad (2.1)$$

где K — коэффициент передачи (усиления);
T — постоянная времени (обобщённая инерция системы);
ζ — коэффициент демпфирования (затухания).

Для приближённой модели конвейера были приняты следующие значения: K = 6, что отражает максимальную скорость перемещения заготовки, T = 1,2 с — общая постоянная времени, включающая инерцию двигателя и механических компонентов,
ζ = 0,8 — значение коэффициента демпфирования, соответствующее слабо колебательному режиму без перерегулирования.

Таким образом, передаточная функция модели второго порядка имеет следующий вид:

$$G(s) = \frac{6}{(1.44s^2 + 1.92s + 1)}. \quad (2.2)$$

Для построения математической модели системы регулирования возьмем объект управления, проведем анализ его переходной характеристики. После замкнем модель единичной обратной связью, структурная схема которого изображена на рисунке 2.2, и проведем сравнительный анализ, далее при необходимости проведем синтез регулятора.

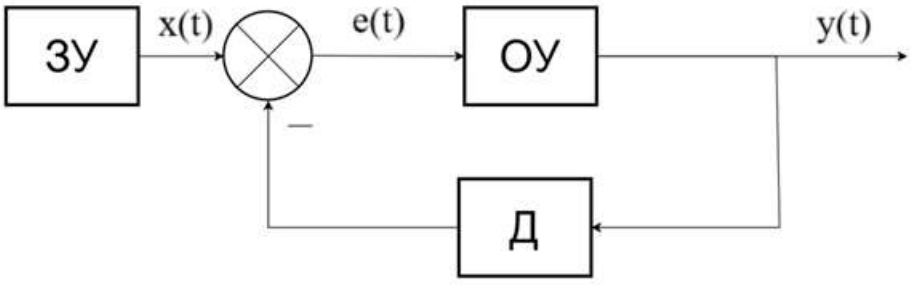


Рисунок 2.2 – Структурная схема без регулятора

Разомкнутая система:

$$G(s) = \frac{6}{1.44s^2 + 1.92s + 1}. \quad (2.3)$$

Замкнутая система:

$$T(s) = \frac{6}{1.44s^2 + 1.92s + 7}. \quad (2.4)$$

Для анализа устойчивости рассматриваемых математических моделей приравняем каждое их характеристическое уравнение к нулю и определим расположение полюсов, используя стандартные функции MATLAB.

Для разомкнутой системы (рисунок 2.3).

$$1.44s^2 + 1.92 \cdot s + 1 = 0. \quad (2.5)$$

```
>> G= tf([6],[1.44 1.92 1])

G =

            6
  --------------------
  1.44 s^2 + 1.92 s + 1

Continuous-time transfer function.

>> pole(G)

ans =

  -0.6667 + 0.5000i
  -0.6667 - 0.5000i
```

Рисунок 2.3 – Нахождение полюсов характеристического уравнения разомкнутой системы

Вывод: очевидно, что корни характеристического уравнения имеют отрицательные значения, следовательно, согласно первому методу Ляпунова, данная система является устойчивой.

Для замкнутой системы (рисунок 2.4).

$$1.44 \cdot s^2 + 1.92 \cdot s + 7 = 0. \quad (2.6)$$

```
>> T=feedback(G,1)
pole(T)

T =

            6
  ---------------------
  1.44 s^2 + 1.92 s + 7

Continuous-time transfer function.


ans =

  -0.6667 + 2.1016i
  -0.6667 - 2.1016i
```

Рисунок 2.4 – Нахождение полюсов характеристического уравнения замкнутой системы

Вывод: Корни характеристического уравнения имеют отрицательные значения, следовательно, согласно первому методу Ляпунова, данная система является устойчивой.

2.3 Исследование переходных характеристик модели

Осуществим прямую оценку качества как для разомкнутой, так и для замкнутой системы. С этой целью применим команду step в MATLAB, чтобы визуализировать их переходные характеристики (рисунок 2.5).

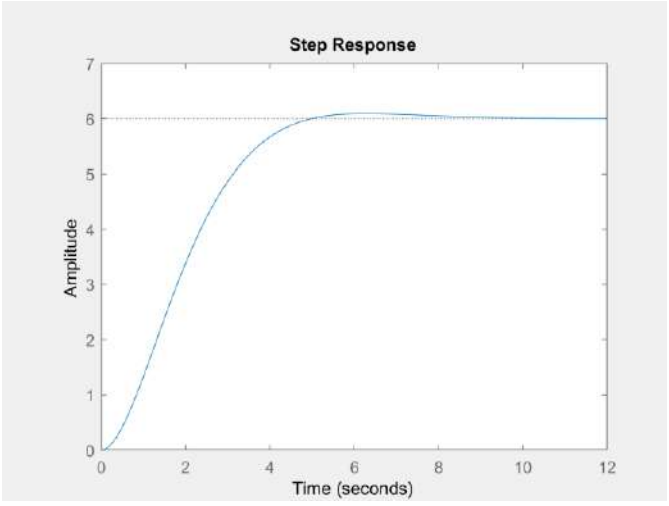


Рисунок 2.5 – Переходной процесс разомкнутой системы

Вывод: Рассматриваемая система обладает устойчивостью, однако её точность оставляет желать лучшего, так как уставкой служит единичное ступенчатое воздействие.

Теперь замкнем систему единичной обратной связью, построим её переходную характеристику и проведем анализ показателей качества для замкнутой системы автоматического регулирования (рисунок 2.6).

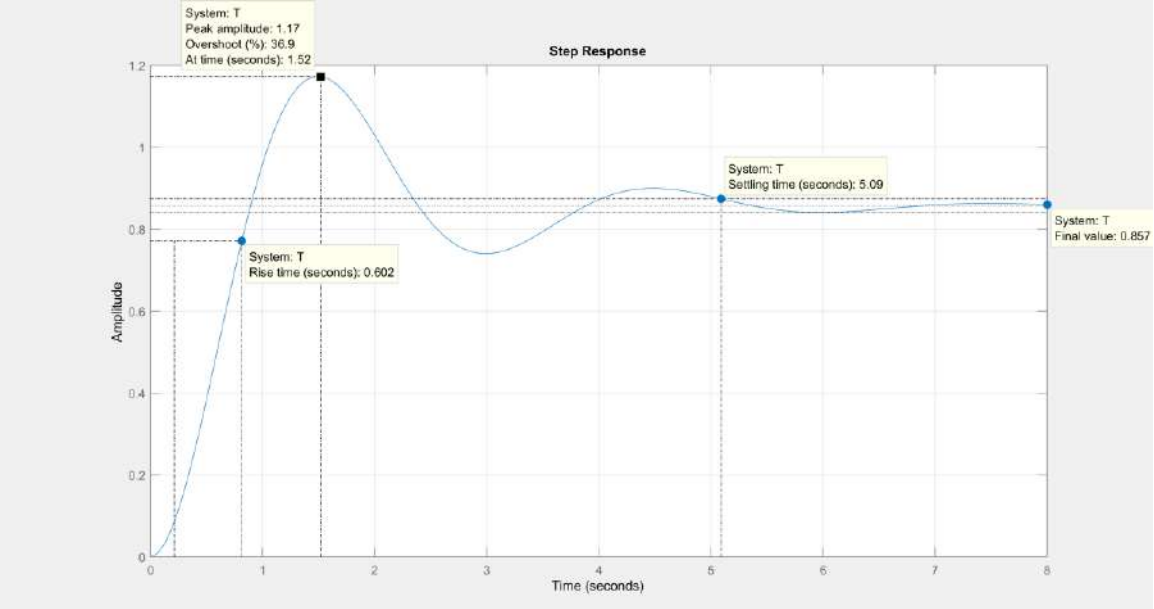


Рисунок 2.6 – Переходная характеристика замкнутой системы

Таблица 2.1 – Анализ оценок качества замкнутой системы

Параметры	Замкнутая система без регулятора
T_{set}	5.09 с
P_{ov}	36.9%
M	1
μ	13.73%
T_{osc} ω_{osc}	4с 1.57 c^{-1}
e_{SS}	0.143
T_p	1.52 с
T_R	0.602 с
χ	7.27

Вывод: Анализируя оценки качества замкнутой системы, подведем итог, что данная система не отвечаем желаемым оценкам качества по колебательности – меньше 20%, а также точности – необходимо иметь точную систему, в связи с этим необходимо синтезировать регулятор для повышения точности, уменьшения колебательности и увеличения быстродействия.

2.4 Разработка параметров ПИД-регулятора

Проведя анализ переходной характеристики замкнутой системы, можно сделать вывод, что для данной системы необходимо синтезировать регулятор, который сможет обеспечить достаточное быстродействие, точность и уменьшить колебательность. Решить данную задачу поможет ПИД-регулятор, у которого правильно настроены параметры: пропорциональное звено для быстродействия, интегральное звено для точности и дифференциальная составляющая, которая при корректном выборе фильтра способствует более плавному процессу регулирования.

Чтобы определить параметры ПИД-регулятора, соберем соответствующую схему и воспользуемся функцией автоматической настройки в среде Simulink. На рисунке 2.7 показана структурная схема объекта регулирования с регулятором и без. Параметры регулятора приведены на рисунке 2.8. По итогу на рисунке 2.9 получим графики переходных процессов с системы с регулятором (PID), без регулятора (TF) и уставки (SP), необходимой для визуального сравнения переходных процессов.

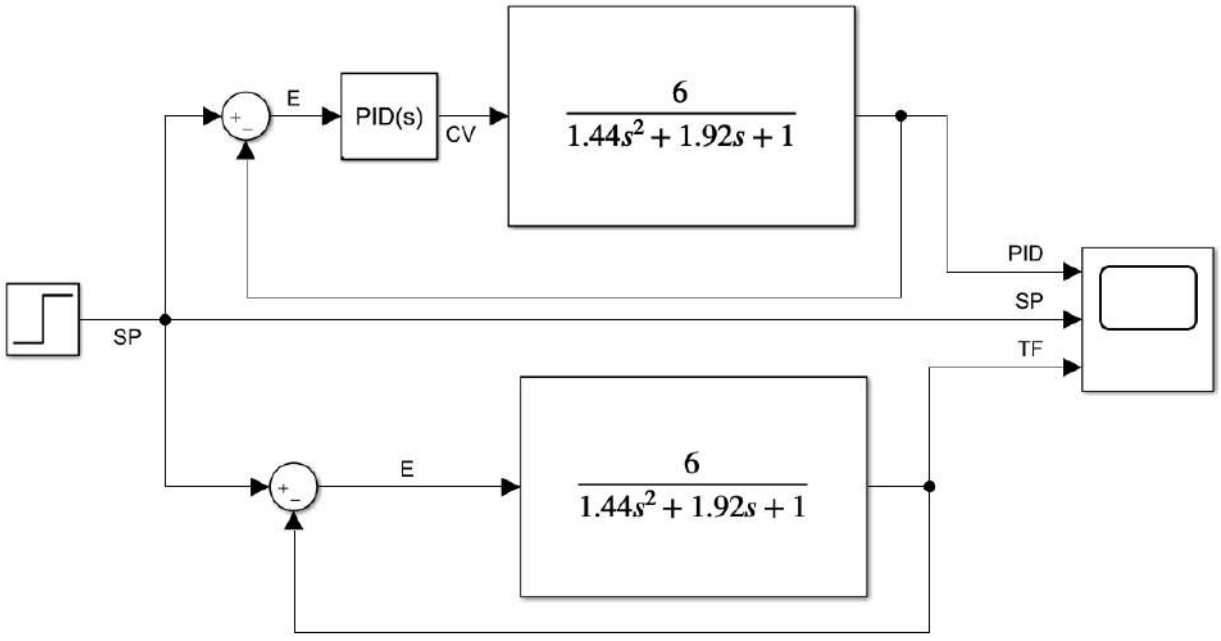


Рисунок 2.7 – Схема с PID регулятором и без регулятора

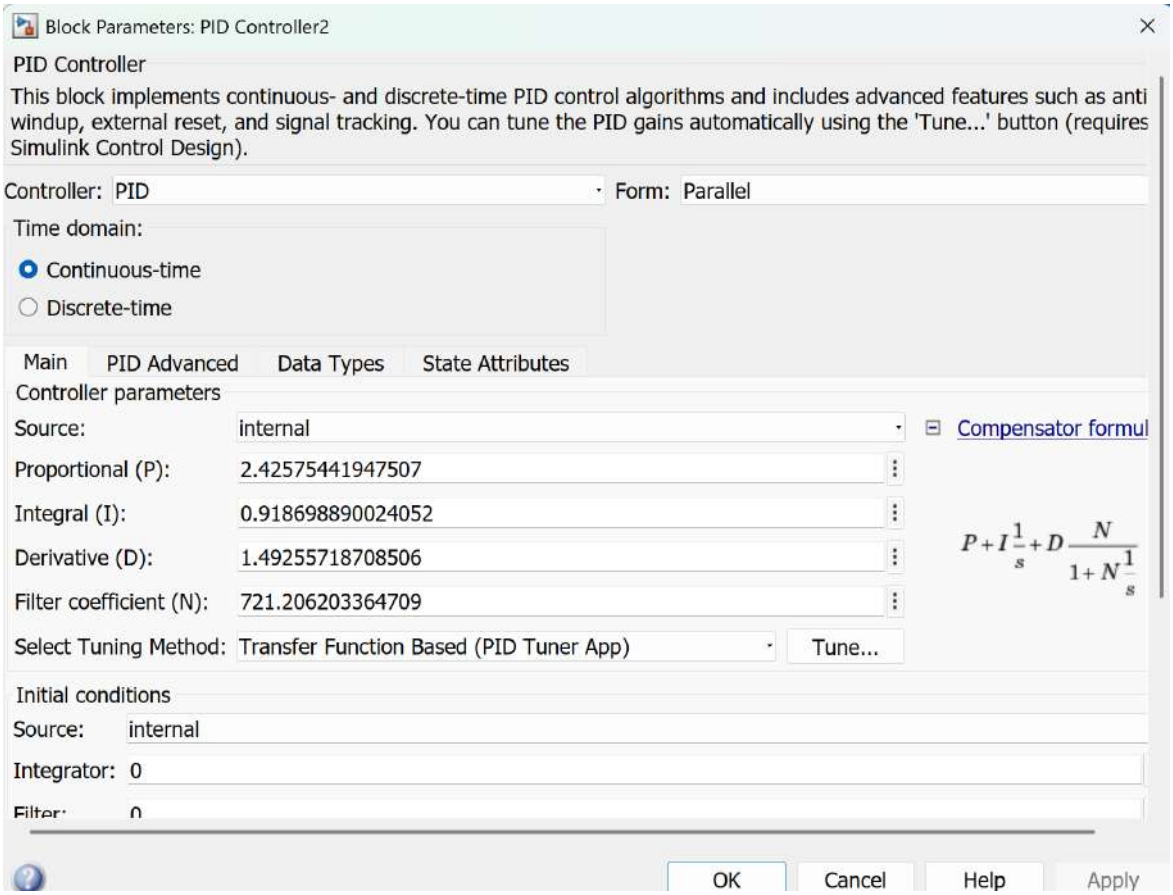


Рисунок 2.8 – Параметры PID регулятора, настроенного auto-tune

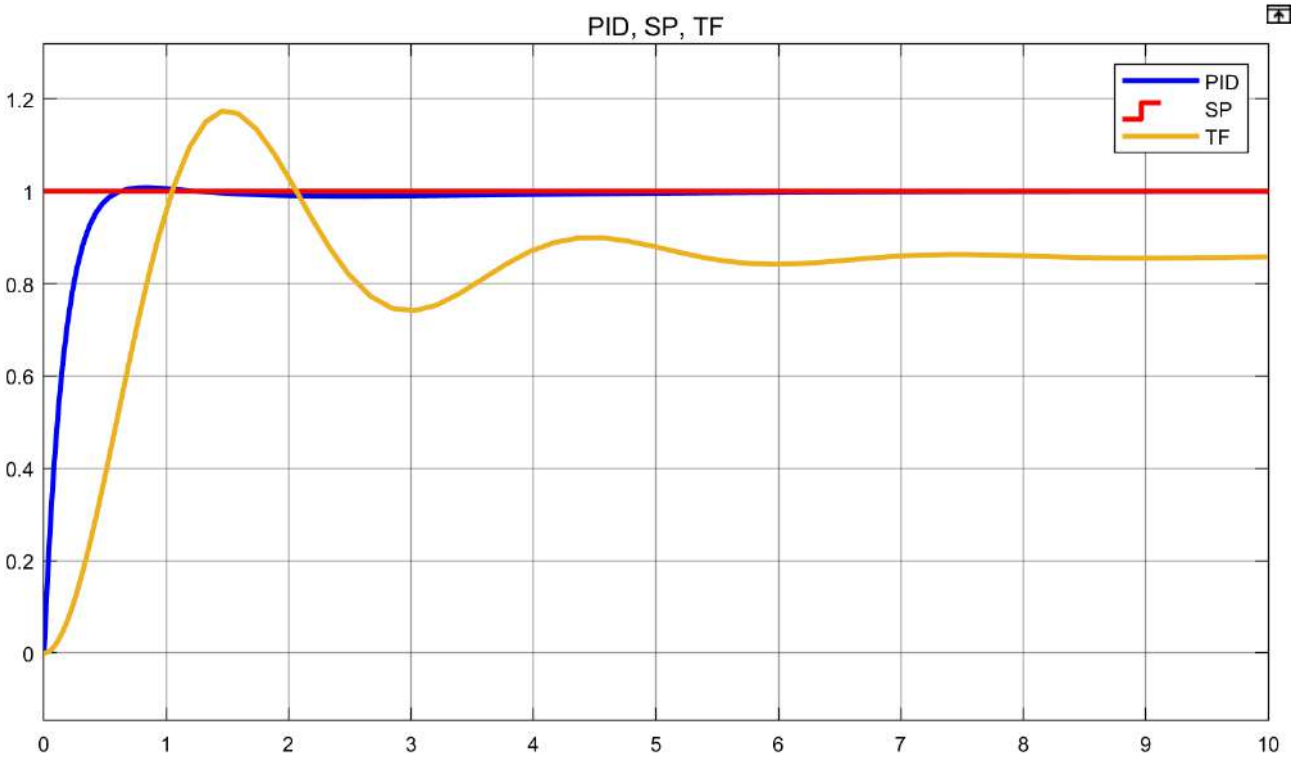


Рисунок 2.9 – Переходные процессы

Вывод: По переходному процессу системы с настроенным ПИД-регулятором, можно увидеть, что система стала быстрее, точнее и менее колебательной.

Поскольку цифровые устройства в реальных системах функционируют с дискретными сигналами, скорректируем постановку задачи №1 следующим образом: «На основе математической модели замкнутой системы регулирования требуется разработать типовой дискретный регулятор, предназначенный для стабилизации скорости движения конвейерной ленты».

Этот подход позволит учесть особенности цифровой обработки сигналов и обеспечить надежное функционирование системы управления.

2.5 Имитация работы цифрового ПИД-регулятора в MATLAB/Simulink

Перед выполнением расчета параметров дискретного ПИД-регулятора необходимо определить полосу пропускания системы с регулятором. Это необходимо для расчета шага дискретизации. Для этого воспользуемся инструментами MATLAB, которые позволят провести анализ частотных характеристик системы (рисунок 2.11).

Для корректного выбора шага дискретизации важно учитывать частоту, на которой уровень амплитуды сигнала снижается до 0.707 от её максимального значения. Эта величина считается стандартной границей полосы пропускания, так как при этом уровне сигнал ещё передаётся без заметных искажений. Частота, соответствующая этому уровню, известна как точка -3 дБ, и она позволяет ограничить диапазон сигнала таким образом, чтобы исключить высокочастотные компоненты, которые могут вносить шум и мешать работе системы [9].

Определение шага дискретизации на основе этой частоты помогает создать модель, которая правильно отражает динамику объекта и не перегружается ненужными частотами. Это, в свою очередь, улучшает работу цифровой системы управления и делает её поведение более устойчивым. Сам выбор значения 0.707 объясняется тем, что при нём мощность сигнала уменьшается в два раза, а этого достаточно, чтобы рассматривать диапазон как рабочий, без существенных потерь данных [10].

Если амплитуда будет ниже этого значения, это приведет к большему ослаблению сигнала, что может привести к потере полезных данных и ухудшению качества регулирования. А если выше — система может пропускать слишком широкий диапазон частот, включая нежелательные высокочастотные составляющие, что вызовет шумы и возможные нестабильности. Поэтому это значение принято, как компромисс между надёжной передачей и фильтрацией лишнего [11]. В итоге это помогает точнее рассчитывать и настраивать цифровые системы управления, снижая вероятность ошибок и обеспечивая надёжность работы.

```
>> %Объект управления
G = tf([6],[1.44 1.92 1]);
%PID-регулятор, настроенный в Simulink
C = pid(2.42575441947507, 0.918698890024052, 1.49255718708506, 721.206203364709);
%Замкнем систему единичной обратной связью
T = feedback(G*C, 1)
%Построим графики
step(T)
bode(T)

T =

             14.57 s^2 + 5.532 s + 0.007643
  ---------------------------------------------------
  1.44 s^4 + 1.922 s^3 + 15.57 s^2 + 5.534 s + 0.007643

Continuous-time transfer function.
```

Рисунок 2.10 – Команды для построения частотной характеристики системы

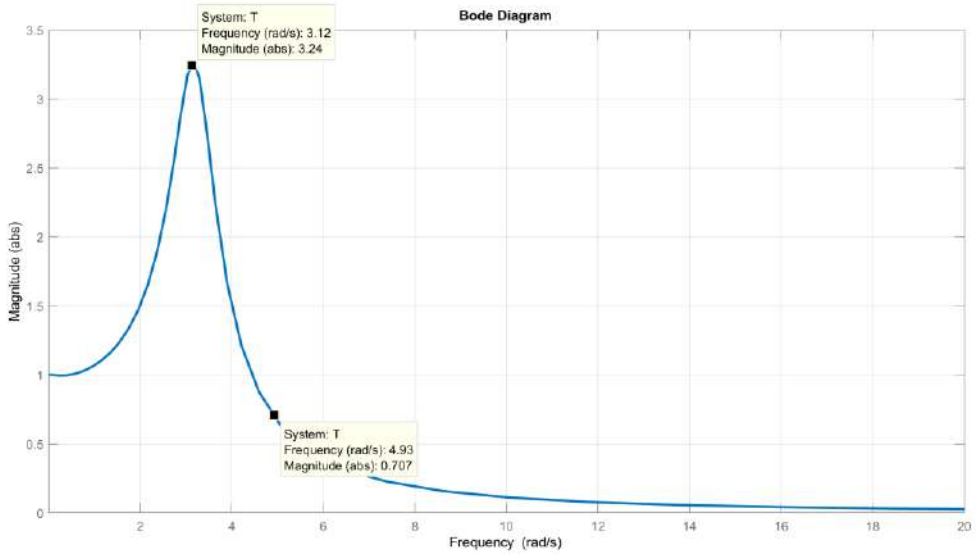


Рисунок 2.11 – Амплитудно-частотная характеристика

Вывод: По данной характеристике видно, что при амплитуде 0.707, частота равна 4.93 – это и есть полоса пропускания.

$$T \leq \frac{1}{2W\text{пр}} \Rightarrow \quad T \leq \frac{1}{2 \cdot 4{,}93} \quad \Rightarrow \quad T \leq 0{,}10141\,. \tag{2.7}$$

Теперь в качестве шага дискретизации возьмем T = 0.001 и соберем систему с дискретным ПИД регулятором (рисунок 2.12), объект управления приведем к дискретному с помощью блока Zero-Order Hold. Данный блок удерживает последнее значение входного сигнала до следующего дискретного момента

времени. Этот блок часто применяется в системах с цифровым управлением, когда нужно моделировать задержки между обновлениями данных [5].

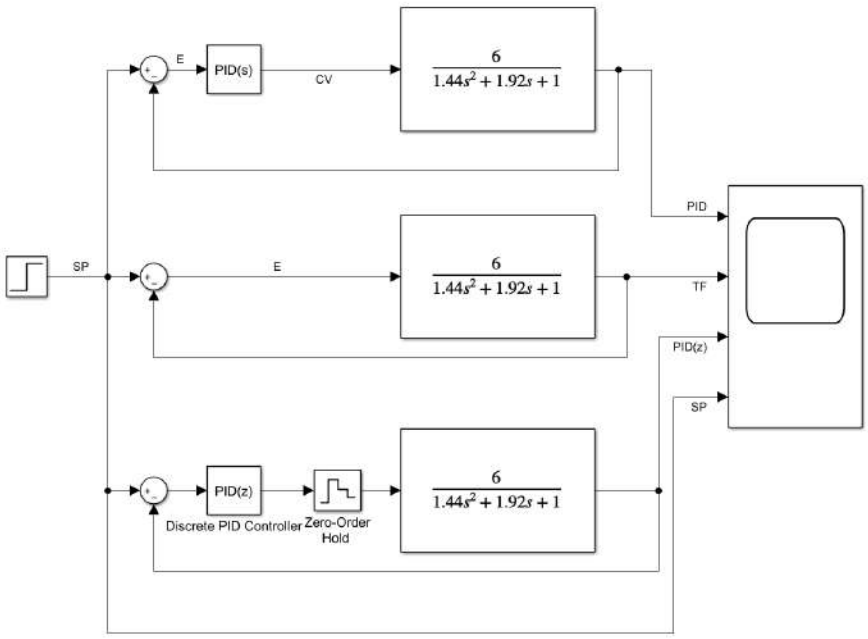


Рисунок 2.12 – Схема моделирования

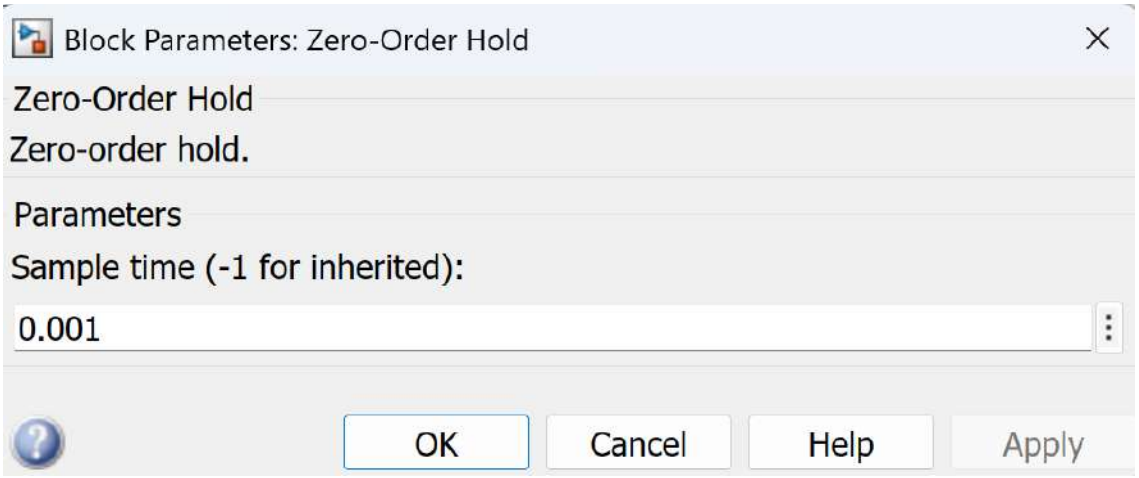


Рисунок 2.13 – Настройка блока Zero-Order Hold

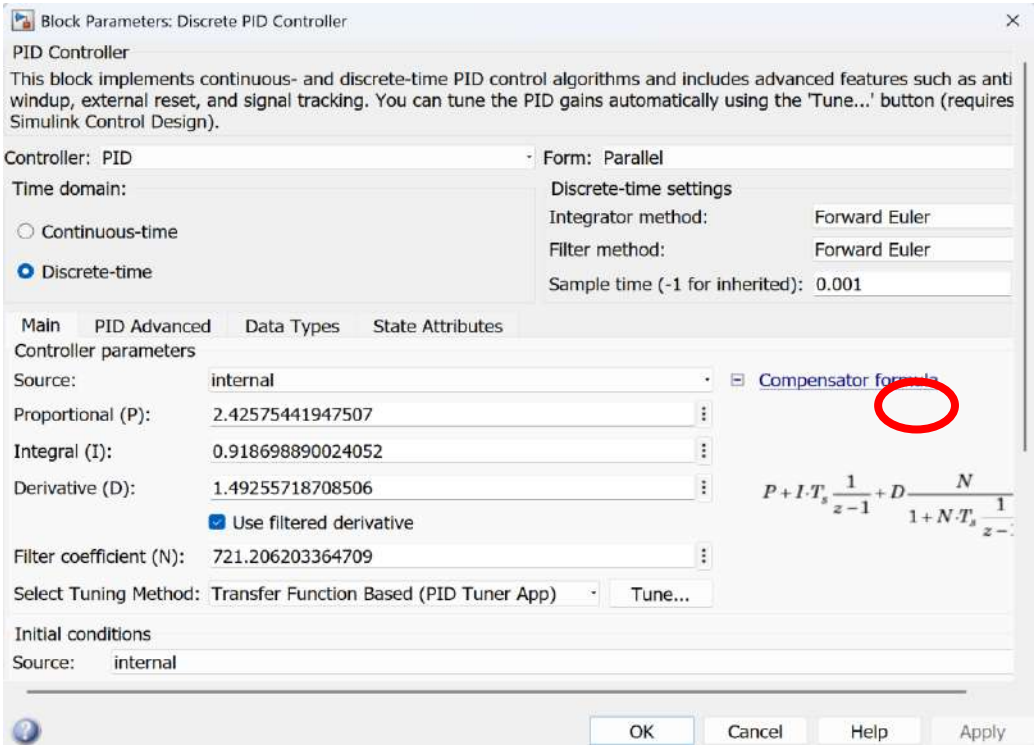


Рисунок 2.14 – Настойка дискретного ПИД-регулятора

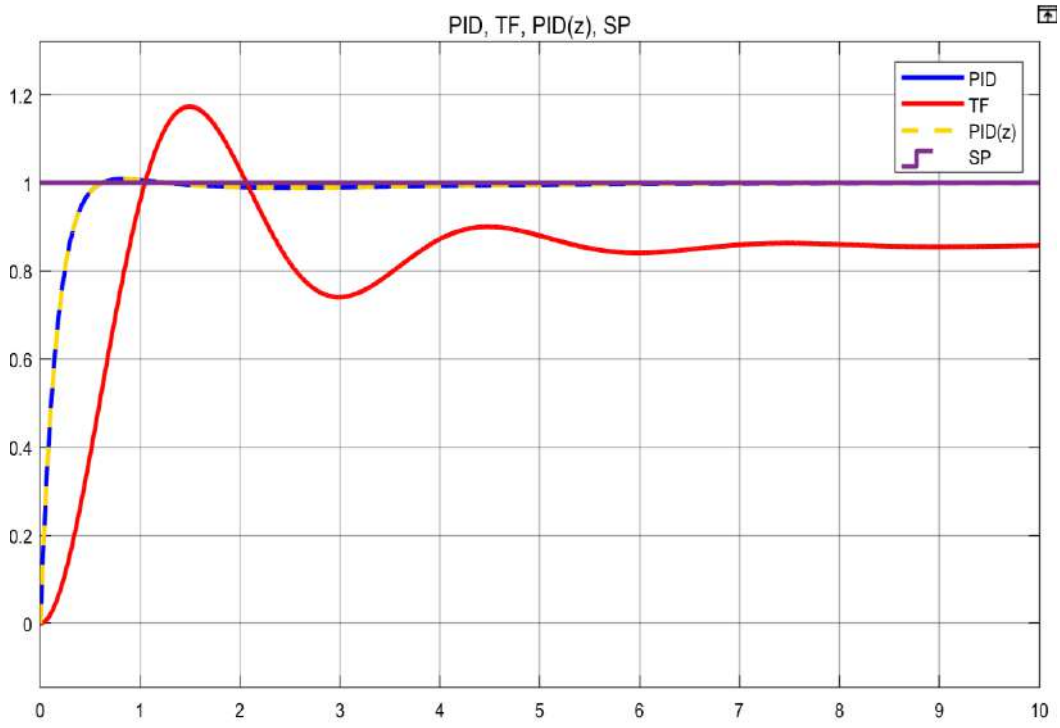


Рисунок 2.15 – Результаты моделирования

Вывод: Степень точности совпадения переходных процессов определяется выбранным шагом дискретизации. В данной ситуации наблюдается полное соответствие переходных процессов для непрерывного и дискретного регулятора, что подтверждает правильность подобранного шага дискретизации.

2.6 Моделирование цифровой модели управляемого объекта в MATLAB

После выбора оптимального шага дискретизации приступим к построению дискретной модели в пространстве состояний в среде Simulink. Для этого сначала рассчитаем модели по форме Фробениуса, что позволит представить систему в удобном математическом виде. Затем, используя соответствующие методы, переведем полученные модели в дискретную форму, учитывая выбранный шаг дискретизации.

Получим математическую модель в пространстве состояний по форме Фробениуса:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases}, \qquad t\epsilon[0,\infty), \tag{2.8}$$

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -\dfrac{1}{1.44} & -\dfrac{1.92}{1.44} \end{vmatrix} x(t) + \begin{vmatrix} 0 \\ \dfrac{6}{1.44} \end{vmatrix} u(t), \\ y(t) = |1 \quad 0\,|x(t) \end{cases} \qquad t\epsilon[0,\infty) \tag{2.9}$$

Применив метод дискретизации, можно представить модель в пространстве состояний в дискретном виде.

$$\begin{cases} x(n+1) = (AT + I)x(n) + (BT)u(n) \\ y(n) = Cx(n) \end{cases}, \tag{2.10}$$

$$\begin{cases} x(n+1) = \left(\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -\dfrac{1}{1.44} & -\dfrac{1.92}{1.44} \end{vmatrix} \cdot T + \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \right) x(n) + \begin{vmatrix} 0 \\ \dfrac{6}{1.44} \end{vmatrix} \cdot T \cdot u(n), \\ y(n) = |1 \quad 0|x(n) \end{cases} \tag{2.11}$$

Подставим найденный шаг дискретизации в формулу.

$$\begin{cases} x(n+1) = \left(\begin{vmatrix} 1 & 1 \cdot 0.001 \\ -\dfrac{1 \cdot 0.001}{1.44} & 1 - \dfrac{1.92 \cdot 0.001}{1.44} \end{vmatrix} \right) x(n) + \begin{vmatrix} 0 \\ \dfrac{0.006}{1.44} \end{vmatrix} \cdot u(\mathrm{n}). \\ y(n) = |1 \quad 0|x(n) \end{cases} \tag{2.12}$$

Для того, чтобы убедить, что все вычисления проведены верно, получим результаты моделирования в среде Simulink в пространстве состояний в непрерывной и дискретной формах в блоках State-Space.

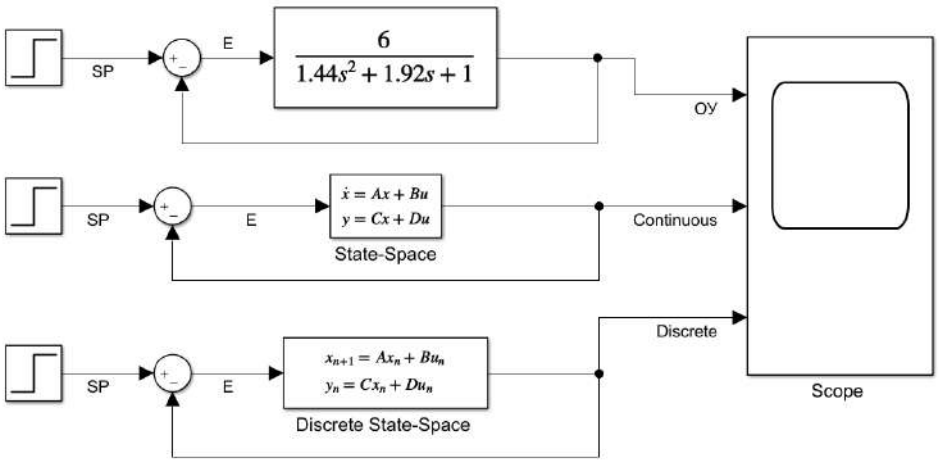


Рисунок 2.16 – Схема с блоками State-Space

Ниже представлены параметры для блоков State-Space (рисунок 2.17) и Discrete State-Space (рисунок 2.18).

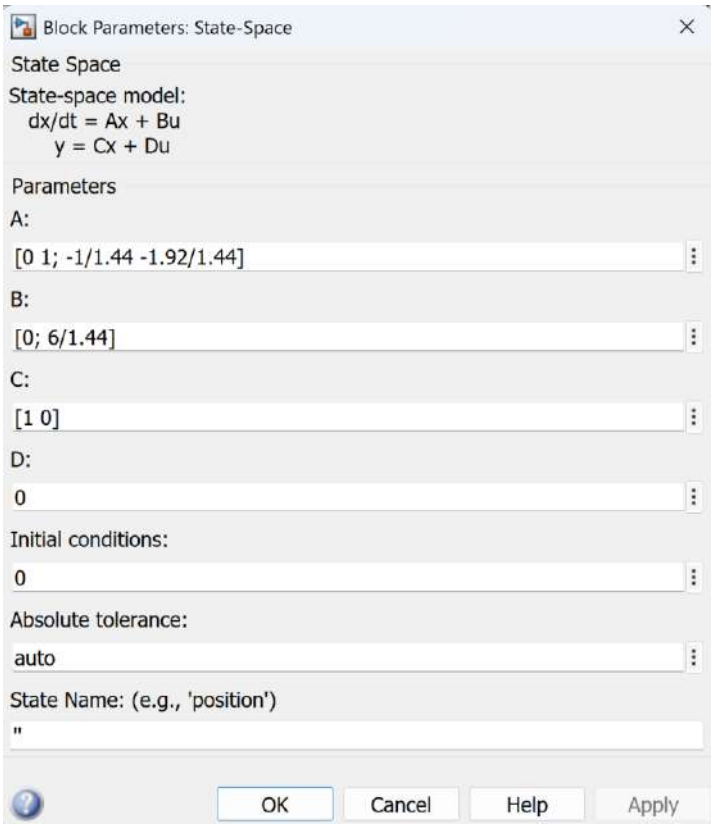


Рисунок 2.17 – Параметры блока State-Space

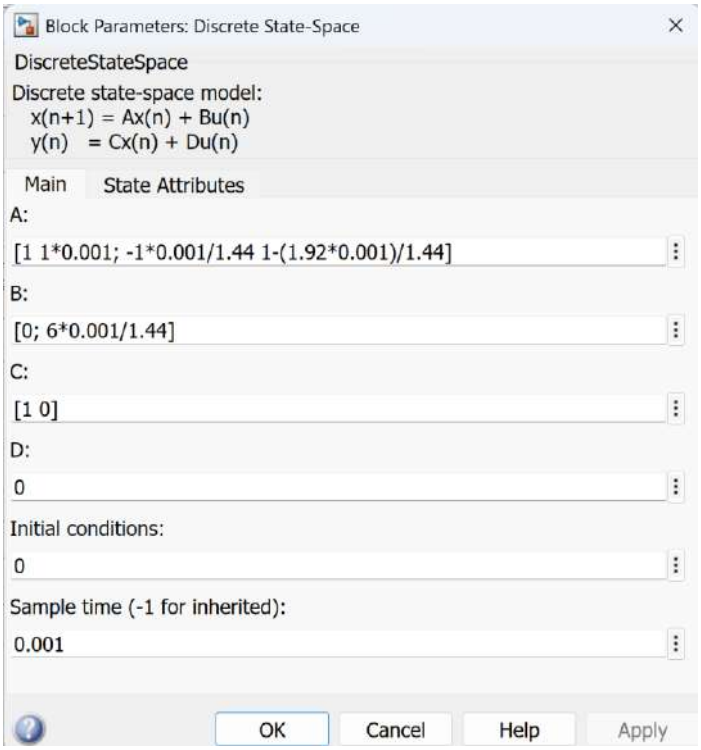


Рисунок 2.18 – Параметры блока Discrete State-Space

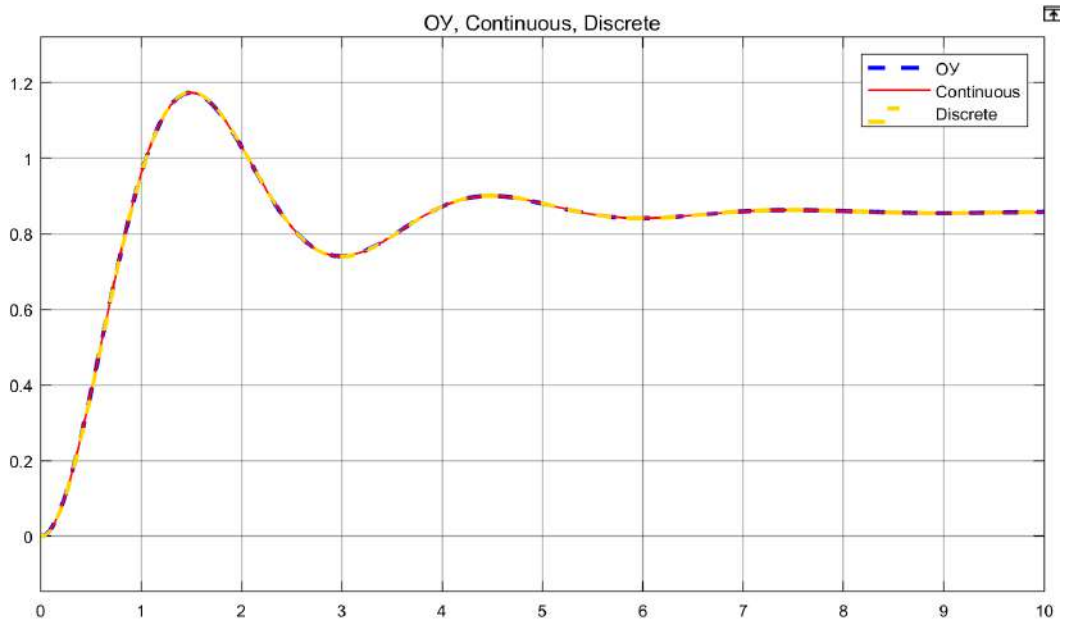


Рисунок 2.19 – Результаты моделирования объекта управления в пространстве состояний в операторной, непрерывной и дискретной формах

Вывод: Совпадение всех переходных процессов подтверждает корректность выполненных расчетов, а также удачный выбор шага дискретизации для представления модели в дискретной форме.

Теперь получим результаты моделирования дискретного объекта управления с дискретным ПИД-регулятором и сравним результат с непрерывным видом в среде Simulink (рисунок 2.20).

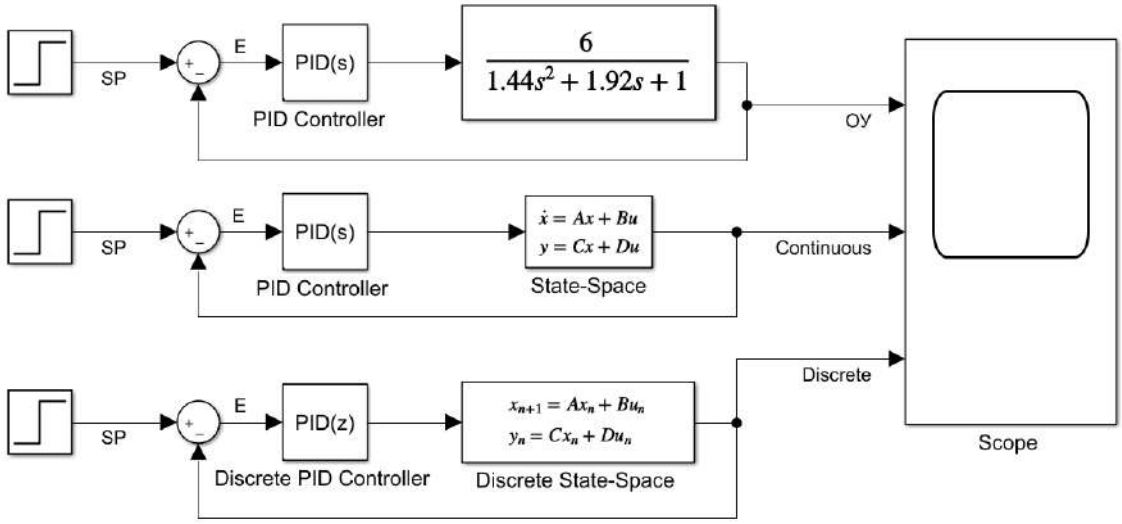


Рисунок 2.20 – Схемы моделирования объекта управления в пространстве состояний в непрерывной и дискретной формах с регулятором

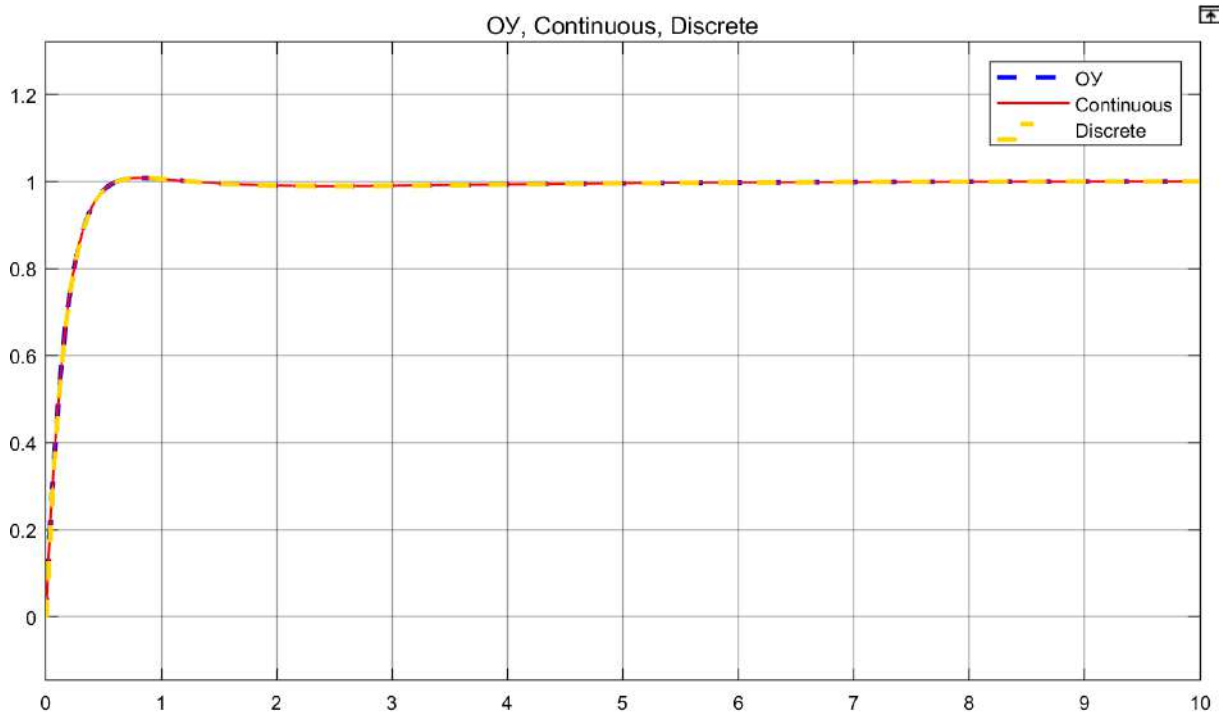


Рисунок 2.21 - Результаты моделирования

Вывод: как мы можем заметить, переходные процессы всех трех систем совпадают – это говорит о том, что все был верно подобран шаг дискретизации, а также, что все расчеты были выполнены верно.

3 Программная реализация

3.1 Формулировка задачи регулирования скорости движения конвейера

На данном этапе дипломного проекта основной задачей является реализация программного решения, обеспечивающего автоматизированное управление конвейерной системой. Предполагается, что система будет функционировать стабильно, безопасно и без участия оператора, за исключением случаев технического обслуживания или внештатных ситуаций [7].

Вся логика должна быть реализована в среде TIA Portal, с использованием контроллеров Siemens, поскольку данная платформа предоставляет широкий инструментарий для разработки, отладки и визуализации работы автоматизированных систем [8].

Управляющая программа должна обеспечивать запуск и остановку конвейера, управление скоростью движения, а также отслеживание положения транспортируемых объектов при помощи датчиков. Немаловажно реализовать корректное взаимодействие между исполнительными механизмами и датчиками, чтобы избежать перегрузок, перегрева двигателя, или же несвоевременной остановки линии.

Система также должна быть способна самостоятельно выявлять и реагировать на отклонения от штатной работы. Например, при возникновении затора, сбоя в датчиках или потере сигнала от привода, конвейер должен быть немедленно остановлен, а оператору — выведено соответствующее сообщение на панель HMI. Это необходимо не только для безопасности персонала и оборудования, но и для сокращения простоев. На этапе загрузки проекта должно происходить первичное сканирование всех компонентов системы: наличие связи с контроллером, доступность всех сенсоров и исправность привода [7]. Только после прохождения всех проверок возможно автоматическое включение линии.

Программная логика будет строиться на принципах модульности, с использованием организационных и функциональных блоков, что обеспечит не только структурированность кода, но и упростит возможную адаптацию системы под другие типы конвейеров [10]. Также планируется использовать таймеры и счетчики для управления задержками и последовательностью запуска механизмов, а в критичных зонах — внедрение контроля времени прохождения объектов.

Главный акцент в реализации будет сделан на стабильность, надёжность и предсказуемость работы системы в реальных условиях. Разработка и тестирование алгоритма будут проводиться поэтапно: сначала создаётся базовая логика запуска и остановки, затем подключаются дополнительные функции и защитные механизмы. Завершающим этапом станет симуляция и отладка программы с использованием встроенных инструментов TIA Portal и, при

возможности, подключением к физическому контроллеру для оценки работы в условиях, приближенных к реальным [11].

Для наглядного представления работы алгоритма будет разработана блок-схема, отображающая основные этапы функционирования конвейерной линии: от первичной самопроверки и запуска до обработки сигналов от датчиков, управления скоростью и выполнения защитных остановок (рисунок 3.1).

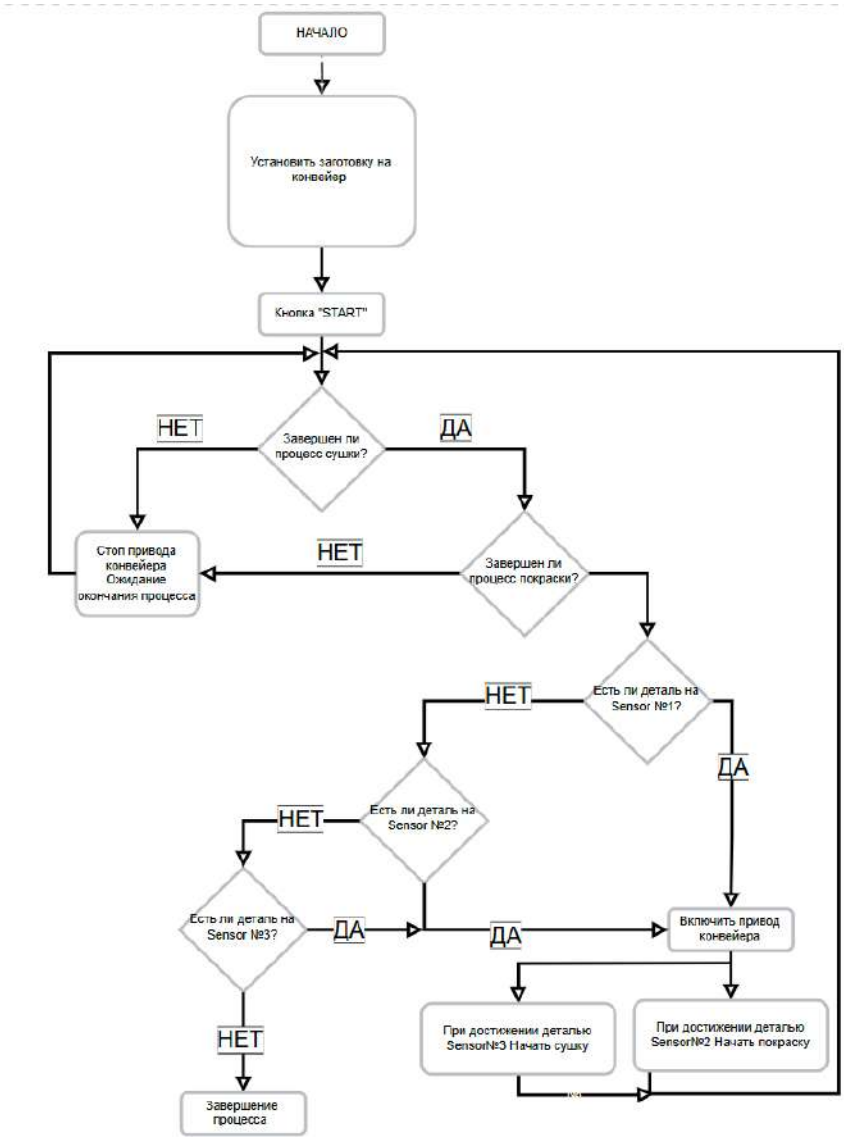


Рисунок 3.1 – Блок схема алгоритма работы конвейера

3.2 Выбор аппаратных средств

Для построения автоматизированной системы управления конвейерной линией были выбраны следующие компоненты: контроллер Siemens CPU 1515C (рисунок 3.2). Эта модель отлично подходит для задач, связанных с управлением транспортной системой, благодаря своей производительности и возможности гибкой настройки логики [6].

Рисунок 3.2 – Контроллер Siemens CPU 1515C

Кроме контроллера, в рамках данного дипломного проекта планируется применение следующих технических компонентов:

а) Датчик наличия Siemens Sick IM08-1B5PS-ZC1;
б) Фотодатчик Siemens 3RG7014-7AB00;
в) Двигатель конвейера SEW-Eurodrive DRN71M4;
г) HMI панель Siemens KP900 Comfort.

В разрабатываемой системе автоматизированного управления конвейерной линией используется индуктивный датчик наличия Sick IM08-1B5PS-ZC1 (рисунок 3.3), предназначенный для регистрации присутствия объектов на определённых участках трассы. Этот тип датчика обеспечивает высокую точность срабатывания и надёжность даже при интенсивной эксплуатации в условиях производственной среды. Устройство работает по схеме NPN, с чувствительностью до 2 мм и диапазоном питающего напряжения от 10 до 30 В постоянного тока, что делает его совместимым с большинством промышленных контроллеров [9]. Благодаря компактным габаритам и устойчивости к внешним помехам, данный датчик оптимально подходит для установки в ограниченном пространстве вдоль конвейера. Он позволяет точно фиксировать наличие изделия в зоне покраски, сушки или на начальной точке, обеспечивая тем самым корректную работу всей логики управления перемещением [7]. Технические параметры датчика представлены в таблице 4.

Рисунок 3.3 – Датчик наличия Siemens Sick IM08-1B5PS-ZC1

Таблица 3.1 – Характеристики Siemens Sick IM08-1B5PS-ZC1

Тип датчика	Индуктивный датчик
Тип выходного сигнала	NPN
Диаметр детекции	2 мм
Диапазон напряжения питания	10–30 В постоянного тока
Степень защиты	IP67

В проекте используется фотодатчик Siemens 3RG7014-7AB00, предназначенный для учёта готовых изделий на конвейерной линии (рисунок 3.4). Этот оптический датчик выполнен в компактном корпусе с высококачественными материалами, что обеспечивает его надёжную эксплуатацию в условиях производственного процесса. Датчик работает по технологии PNP, обеспечивая дальность срабатывания до 1 метра. Он используется для точной фиксации присутствия или отсутствия объектов, что важно для контроля движения продукции по линии. Фотодатчик подключён к контроллеру, и его выходной сигнал передаётся в виде стандартного напряжения, что позволяет интегрировать его в систему управления. Устойчивость к внешним воздействиям и высокой степени защиты (IP67) позволяют использовать данный датчик в различных производственных условиях без потери точности работы [9].

Рисунок 3.4 – Фотодатчик Siemens 3RG7014-7AB00

Таблица 3.2 – Характеристики Siemens 3RG7014-7AB00

Тип	Оптический фотодатчик
Тип выходного сигнала	PNP
Дальность срабатывания	До 1 метра
Диапазон напряжения питания	12–24 В

Для обеспечения удобного и эффективного взаимодействия оператора с системой управления в проекте используется панель человеко-машинного интерфейса Siemens KP900 Comfort (рисунок 3.5). Она оснащена сенсорным экраном, который позволяет визуализировать до 512 переменных, что даёт возможность оператору мониторить различные параметры работы конвейерной линии в реальном времени. Экран с диагональю 9 дюймов и высокой яркостью обеспечивает отличную читаемость информации при любых условиях. Данная панель предоставляет оператору возможность не только настраивать параметры работы системы, но и оперативно получать данные о текущем состоянии оборудования, а также своевременно получать уведомления о возможных неисправностях или аварийных ситуациях [7]. Это значительно улучшает контроль за процессом и способствует более быстрой реакции на изменения в системе.

Рисунок 3.5 – HMI панель Siemens KP900 Comfort

Таблица 3.3 – Характеристики Siemens KP900 Comfort

Тип панели	Панель человеко-машинного интерфейса (HMI)
Тип экрана	Сенсорный экран
Тип интерфейса	Поддержка TIA Portal
Поддержка тэгов	До 512 тэгов
Особенности конструкции	Интуитивно понятный интерфейс, высокая яркость экрана

Привод конвейерной линии осуществляется с помощью асинхронного двигателя SEW-Eurodrive DRN71M4 (рисунок 3.6). Этот двигатель предназначен для надежной и эффективной работы в условиях постоянной эксплуатации на конвейерных системах. Двигатель с мощностью 0,37 кВт и частотой вращения 1500 об/мин обеспечивает необходимую тягу для перемещения материалов по линии. Он имеет класс защиты IP55, что делает его устойчивым к пыли и влаге, что критически важно для работы в производственной среде. При этом двигатель работает на трехфазном питании с напряжением 230/400 В, что обеспечивает стабильную работу системы при различных нагрузках [11]. Система управления конвейером поддерживает постоянный мониторинг состояния двигателя, что позволяет своевременно реагировать на возможные отклонения и предотвращать аварийные ситуации, повышая безопасность и эффективность работы всего оборудования.

Рисунок 3.5 – Двигателя конвейера SEW-Eurodrive DRN71M4

Таблица 3.4 – Характеристики SEW-Eurodrive DRN71M4

Тип	Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором
Степень защиты	IP55
Мощность	0,37 кВт
Частота вращения	1500 об/мин
Напряжение питания	230/400 В (три фазы)

3.3 Обработка и распределение сигналов ввода/вывода

Чтобы реализовать программное управление, необходимо создать теги. Они помогают присваивать осмысленные и удобочитаемые имена физическим входам и выходам контроллера, делая проект более структурированным и понятным [5].

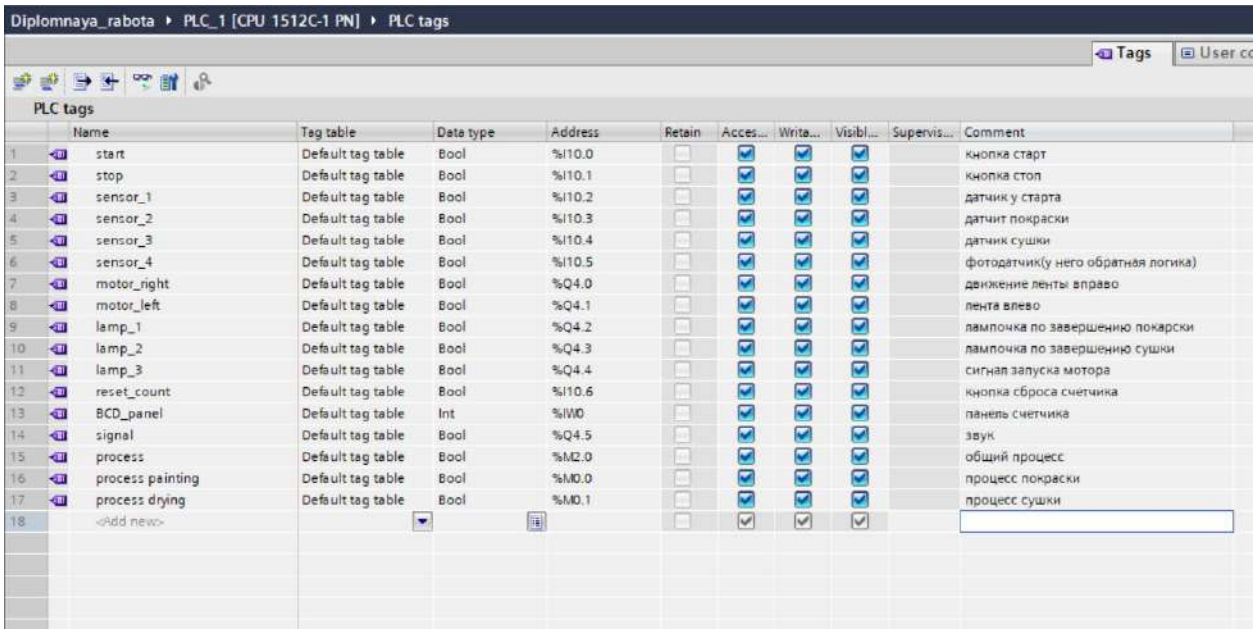
Входные сигналы:

а) Start - запуск процесса (дискретный);
б) Stop – остановка процесса (дискретный);
в) Sensor_1 – индуктивный датчик 1 (дискретный);
г) Sensor_2 – индуктивный датчик 2 (дискретный);
д) Sensor_3 – индуктивный датчик 3 (дискретный);
е) Sensor_4 – фотодатчик (дискретный).

Выходные сигналы:

а) Motor_left – конвейер влево (дискретный);
б) Motor_right – конвейер вправо (дискретный);
в) BCD_panel – панель счетчика (аналоговый);
г) Signal – сигнализация (дискретный);
д) Lamp_1 – Лампочка у датчика 1 (дискретный);
е) Lamp_2 – Лампочка у датчика 2 (дискретный);
ж) Lamp_3 – Лампочка у датчика 3 (дискретный).

Выполним привязку всех входных и выходных сигналов к PLC контроллеру, для этого воспользуемся специальным разделом PLC tags (рисунок – 3.7).



	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Write...	Visibl...	Supervis...	Comment
1	start	Default tag table	Bool	%I10.0		☑	☑	☑		кнопка старт
2	stop	Default tag table	Bool	%I10.1		☑	☑	☑		кнопка стоп
3	sensor_1	Default tag table	Bool	%I10.2		☑	☑	☑		датчик у старта
4	sensor_2	Default tag table	Bool	%I10.3		☑	☑	☑		датчит покраски
5	sensor_3	Default tag table	Bool	%I10.4		☑	☑	☑		датчик сушки
6	sensor_4	Default tag table	Bool	%I10.5		☑	☑	☑		фотодатчик(у него обратная логика)
7	motor_right	Default tag table	Bool	%Q4.0		☑	☑	☑		движение ленты вправо
8	motor_left	Default tag table	Bool	%Q4.1		☑	☑	☑		лента влево
9	lamp_1	Default tag table	Bool	%Q4.2		☑	☑	☑		лампочка по завершению покарски
10	lamp_2	Default tag table	Bool	%Q4.3		☑	☑	☑		лампочка по завершению сушки
11	lamp_3	Default tag table	Bool	%Q4.4		☑	☑	☑		сигнал запуска мотора
12	reset_count	Default tag table	Bool	%I10.6		☑	☑	☑		кнопка сброса счетчика
13	BCD_panel	Default tag table	Int	%IW0		☑	☑	☑		панель счетчика
14	signal	Default tag table	Bool	%Q4.5		☑	☑	☑		звук
15	process	Default tag table	Bool	%M2.0		☑	☑	☑		общий процесс
16	process painting	Default tag table	Bool	%M0.0		☑	☑	☑		процесс покраски
17	process drying	Default tag table	Bool	%M0.1		☑	☑	☑		процесс сушки
18	<Add new>					☑	☑	☑		

Рисунок 3.7 – Список PLC тэгов

3.4 Программная реализация логики управления на языке LAD

В процессе программной реализации логики управления на языке LAD основное внимание уделено разработке структуры программы, обеспечивающей стабильную и надёжную работу конвейерной линии. Работа ведётся в среде TIA Portal, где создаётся проект с использованием стандартных средств программирования контроллеров Siemens. Логика построена на применении организационных блоков, обеспечивающих последовательное выполнение алгоритма в соответствии с заданными условиями технологического процесса [8]. В качестве основного используется организационный блок OB1, который выполняет циклическое выполнение программы, обрабатывая основные управляющие сигналы и формируя команды исполнительным механизмам (рисунок 3.8–3.10).

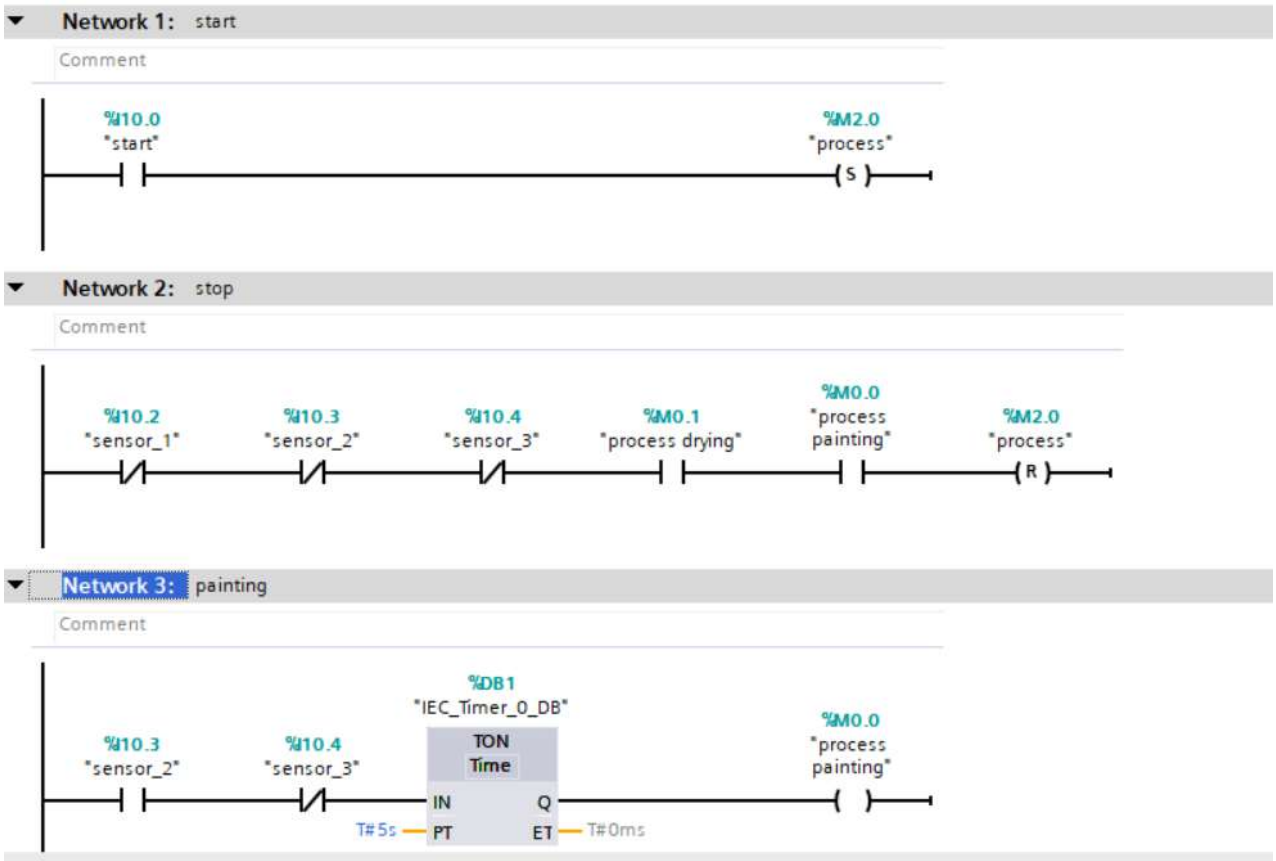


Рисунок 3.8 – Программа на OB1. Первая часть

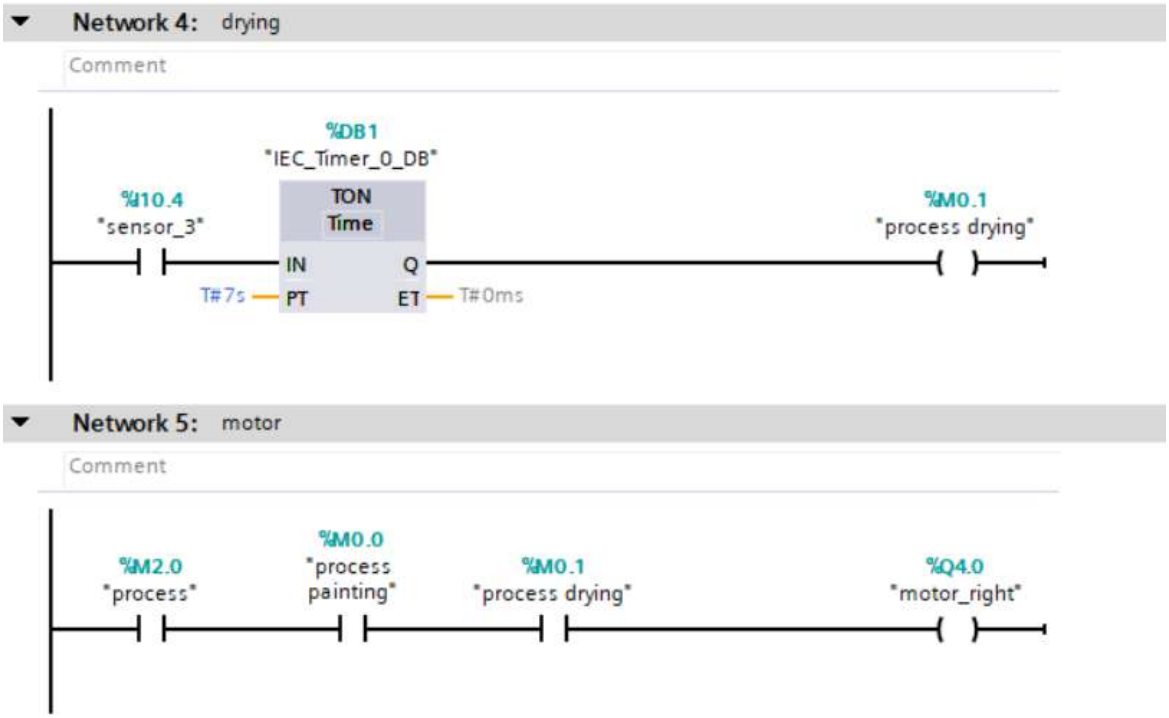


Рисунок 3.9 – Программа на OB1. Вторая часть

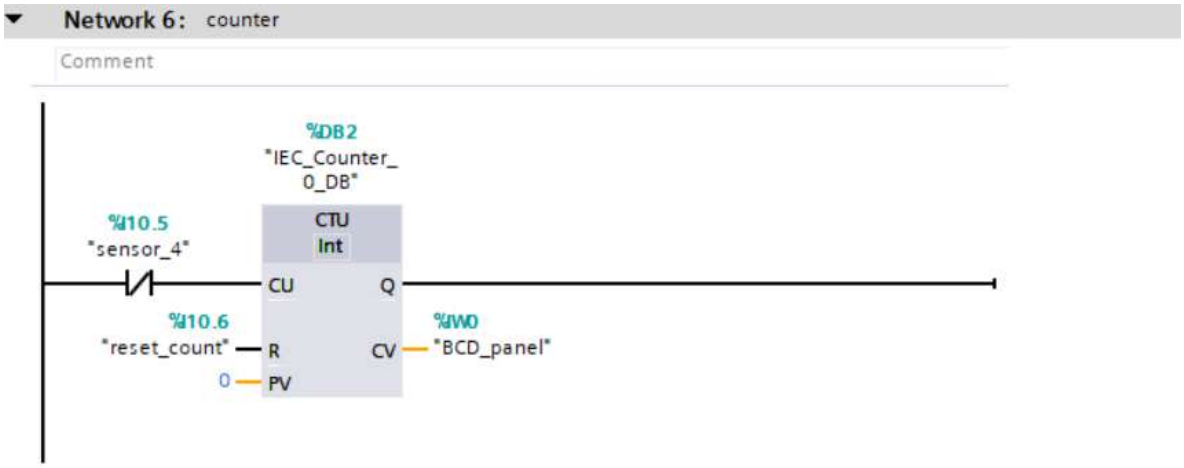


Рисунок 3.10 – Программа на OB1. Третья часть

Использование языка LAD обусловлено его наглядностью и удобством при разработке программ для дискретных систем управления. Он позволяет реализовать логические условия, включение и выключение исполнительных устройств, а также формирование управляющих сигналов на основе показаний датчиков. Логика построена таким образом, чтобы учесть возможные аварийные ситуации и обеспечить переход системы в безопасное состояние при возникновении нештатных условий [3].

Для обеспечения периодического контроля и сбора данных с определённой периодичностью применяется дополнительный организационный блок OB30 (рисунок 3.11). Его задача — реализация функций, требующих регулярного

обновления с заданным временным интервалом, например, считывание состояния датчиков или обновление параметров процесса. Такой подход позволяет разграничить основной поток логики и операции, требующие опроса по таймеру, что способствует лучшей структурированности кода и повышает стабильность работы системы [4].

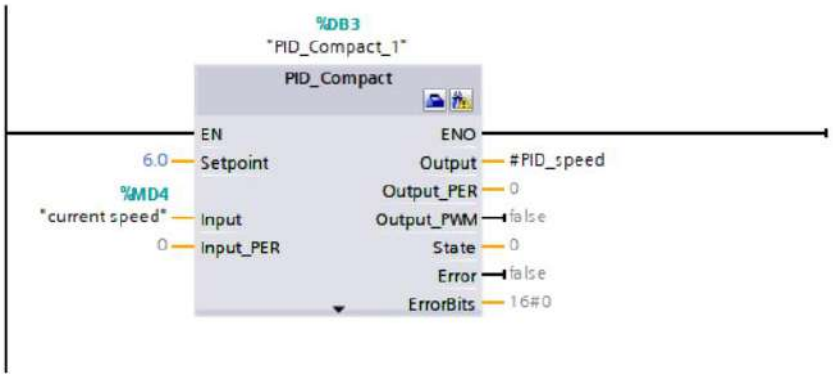


Рисунок 3.11 – PID-регулятор в блоке OB30

Особое внимание в реализации уделено обеспечению надёжности работы системы за счёт использования проверенных шаблонов программирования, а также учёта всех входных и выходных параметров. Программа проходит тестирование на наличие ошибок и логических конфликтов до загрузки в контроллер [4]. В результате создаётся устойчивая и предсказуемая система автоматизации, соответствующая требованиям современного промышленного производства.

При создании ПИД-регулятора в TiaPortal, система попросит создать DB блок для хранения данных ПИД-регулятора (рисунок 3.12). На рисунке 3.13 показана настройка параметров регулятора. Данные параметры взяты из расчетных значений в Simulink.

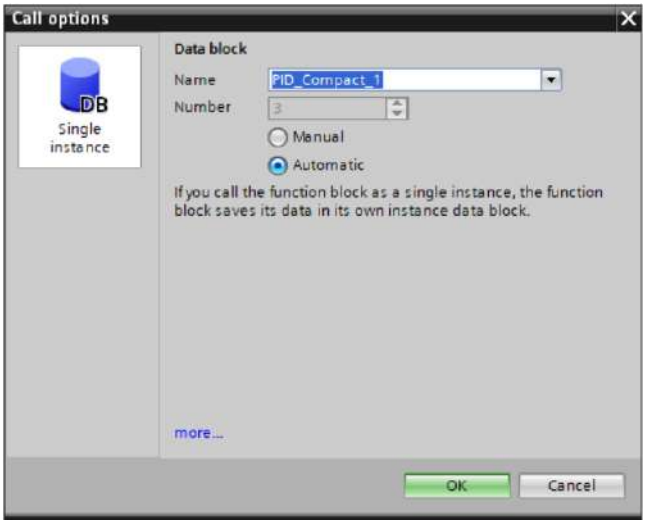


Рисунок 3.12 – Блок данных для PID-регулятора

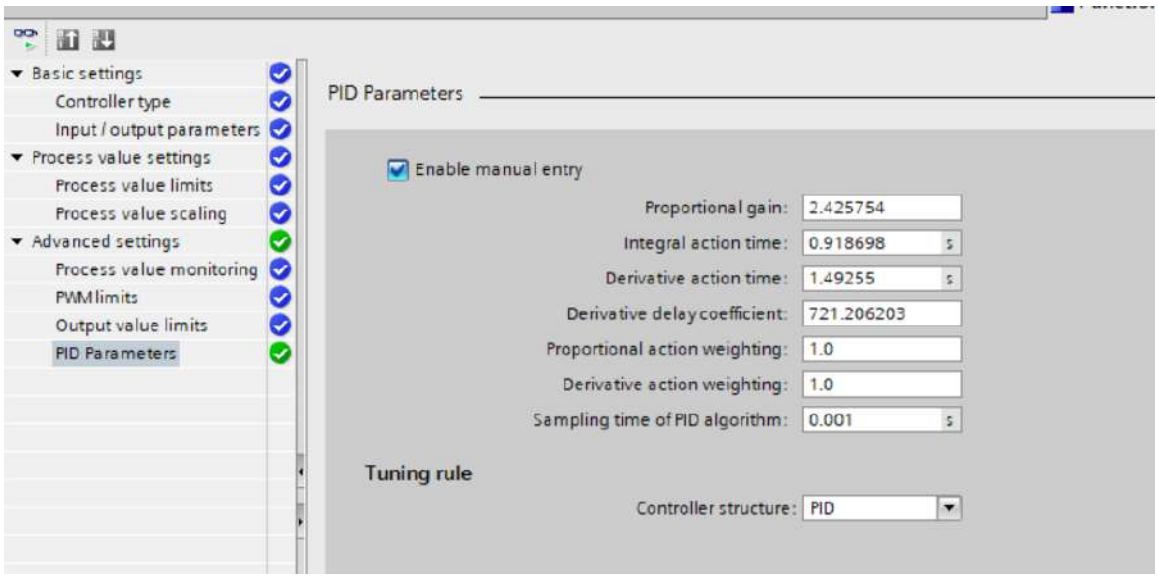


Рисунок 3.13 – Настройка коэффициентов ПИД – регулятор

3.5 Визуализация процесса в SCADA

В рамках реализации системы автоматизированного управления важной составляющей является визуализация технологического процесса, выполняемая средствами SCADA. Графический интерфейс оператора служит ключевым элементом взаимодействия между человеком и оборудованием, позволяя в реальном времени отслеживать состояние конвейерной линии, контролировать параметры и оперативно реагировать на возможные отклонения в работе [7].

В процессе разработки визуального представления акцент сделан на информативность и доступность отображаемых данных. Все элементы интерфейса распределены логично, с учётом специфики управляемого объекта. На экране отображаются основные компоненты технологической линии, включая двигатели, датчики, зоны транспортировки, а также состояния входных и выходных сигналов [9]. Для удобства восприятия применяются цветовые обозначения, указывающие на активность, ошибки или нормальную работу узлов.

Связь между SCADA-системой и программируемым логическим контроллером осуществляется через конфигурированные каналы обмена данными, что позволяет получать актуальные значения переменных без задержек. Таким образом, визуализация становится не только средством наблюдения, но и инструментом оперативного управления — оператор может запускать или останавливать процесс, выполнять сбросы тревог и переключать режимы работы [3].

Создание визуализации сопровождается настройкой событий и условий отображения, чтобы интерфейс отображал только значимую для пользователя информацию. Это упрощает работу с системой и снижает вероятность ошибок со стороны оператора. Также предусмотрены элементы архивации и ведения

журналов, что даёт возможность анализировать поведение системы в ретроспективе [8].

В результате формируется интегрированная среда управления, в которой визуализация неразрывно связана с программной логикой, обеспечивая контроль, надёжность и удобство эксплуатации автоматизированной системы.

Прежде чем приступить к эксплуатации HMI-панели, необходимо сначала создать её в проекте, то есть добавить соответствующий компонент в систему. После этого требуется выполнить привязку данной панели к PLC-контроллеру, что осуществляется в разделе «Network view» (рисунок 3.14). В рамках нашего текущего проекта используется HMI-панель модели KP900 Comfort (рисунок 3.15). Данная панель обладает встроенным Ethernet-портом, который предназначен для подключения к PLC, обеспечивая надежную связь между устройствами и гарантируя корректную передачу данных.

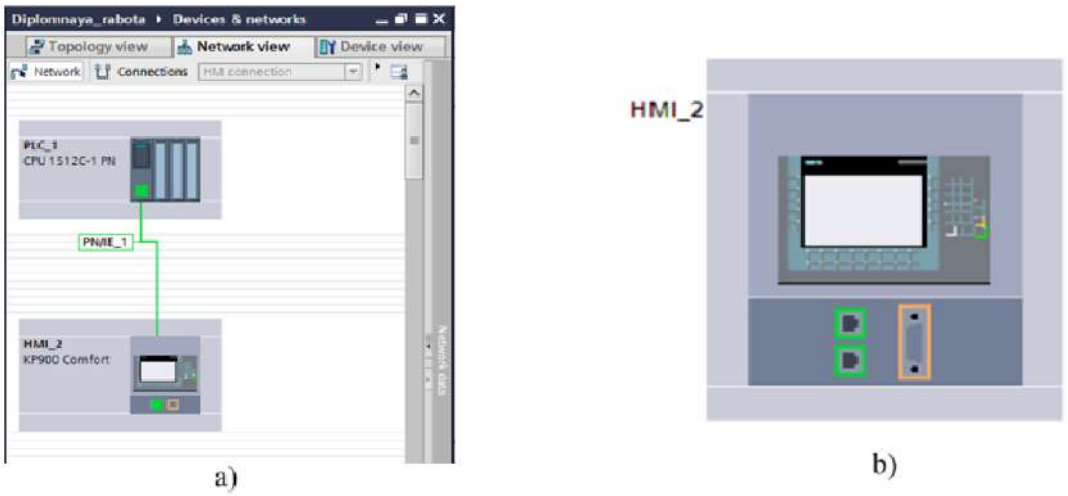


Рисунок 3.14 – a) Подключение PLC к HMI b) HMI KP900 Comfort в TiaPortal

В данной HMI панели будут созданы 2 скрина. Первый будет главным, который будет содержать в себе всю необходимую информацию по процессу: текущее время покраски, время сушки, количество деталей, отправленных на склад (рисунок 3.16). Второй скрин – дополнительный. Он нужен для настройки PID-регулятора (рисунок 3.17).

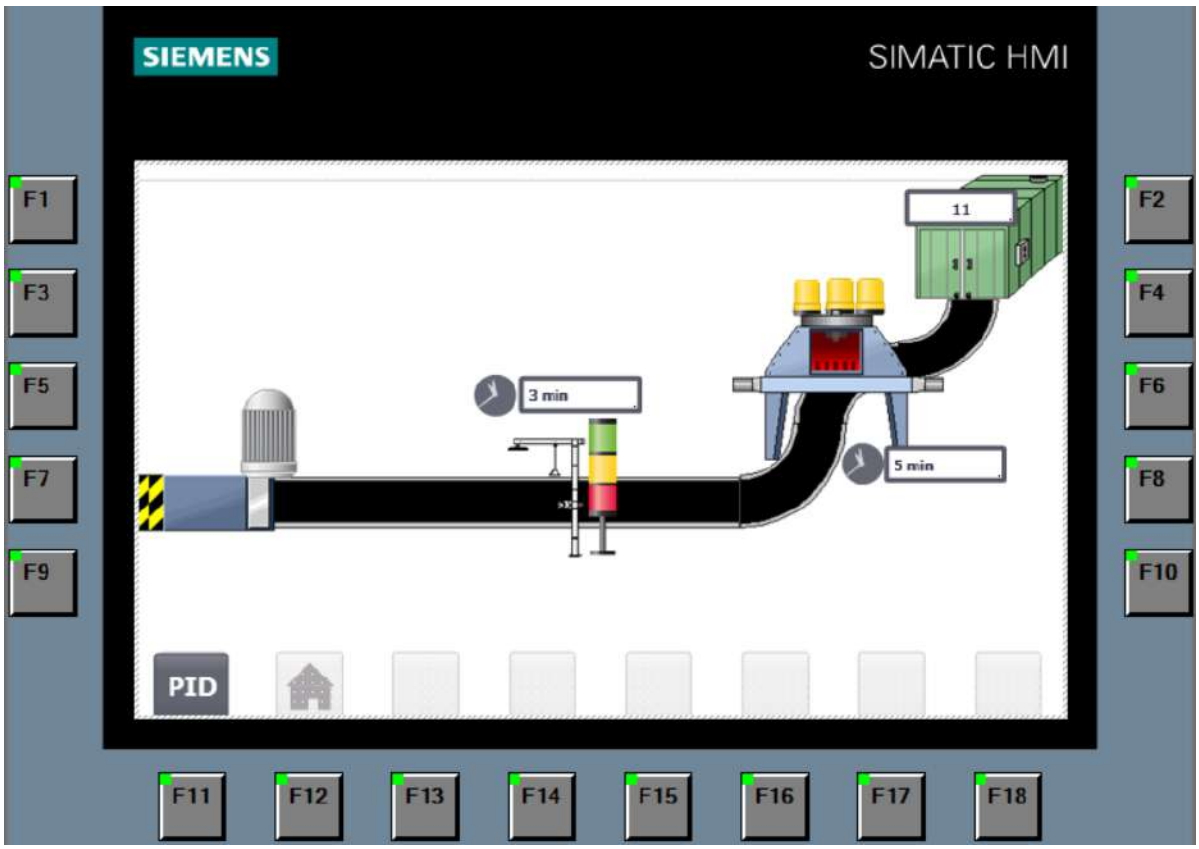


Рисунок 3.15 – Основной экран

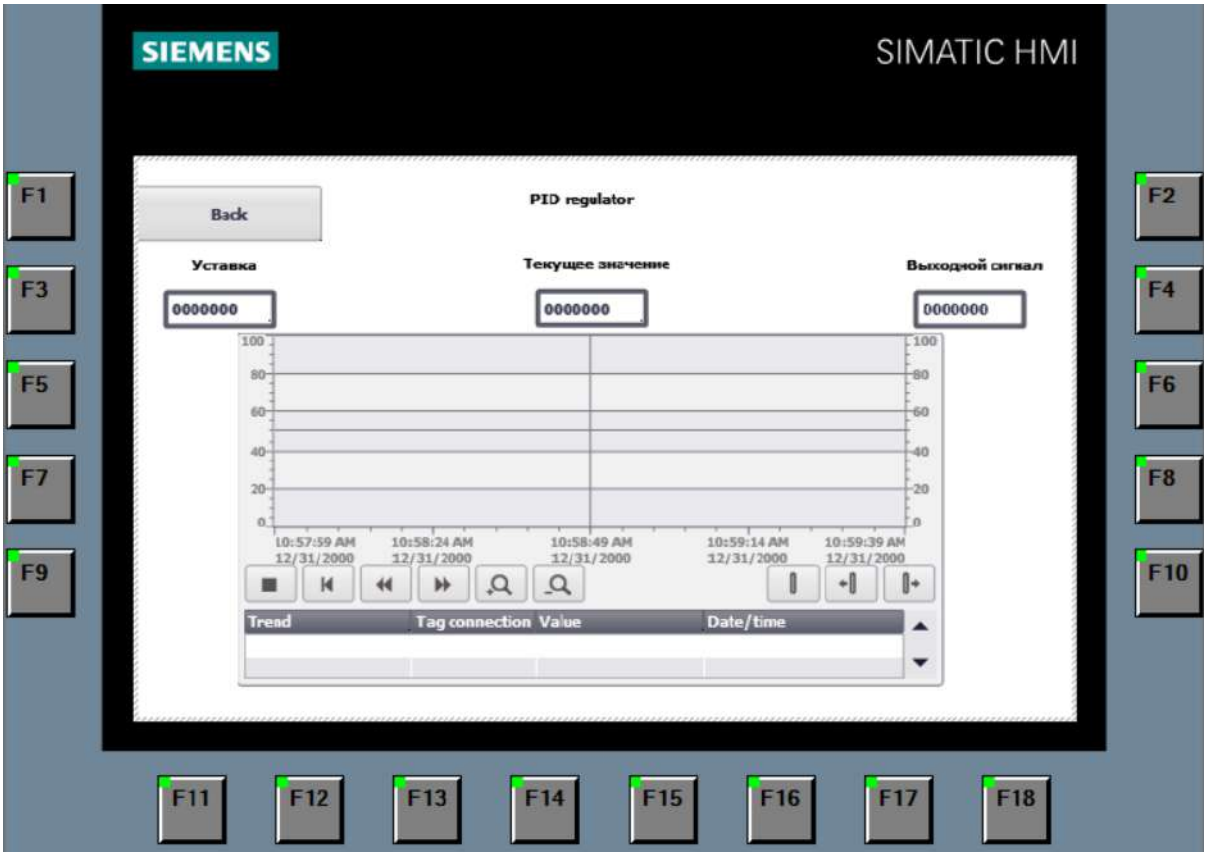


Рисунок 3.16 – Экран для PID-регулирования

Вывод: таким образом, реализация визуализации технологического процесса в SCADA-среде позволила создать наглядный и функциональный интерфейс, обеспечивающий удобное управление и мониторинг работы системы. Графическое представление всех ключевых элементов конвейерной линии и их состояний существенно повышает информативность и оперативность принятия решений оператором [8]. Интеграция визуального интерфейса с логикой, реализованной в контроллере, обеспечивает устойчивую и согласованную работу всей автоматизированной системы. Разработанный проект визуализации способствует повышению эффективности управления и безопасности технологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана автоматизированная система управления ленточным конвейером, охватывающая все ключевые этапы – от анализа предметной области до реализации программной логики и создания интерфейса в SCADA-среде. В процессе работы последовательно решались задачи, связанные с формализацией технологического процесса, построением математической модели объекта управления, синтезом ПИД-регулятора и его последующим моделированием в среде MATLAB Simulink. Особое внимание было уделено переходу от теоретических расчетов к практической реализации – логика работы была реализована на языке LAD в TIA Portal, с использованием организационных блоков, обеспечивающих надёжную и структурированную обработку сигналов.

Важным этапом стало создание визуального интерфейса, который позволил обеспечить полный контроль над процессом в режиме реального времени, упростить взаимодействие оператора с системой и повысить наглядность текущих состояний оборудования. Все компоненты проекта были взаимосвязаны и направлены на обеспечение стабильной и эффективной работы конвейерной линии, соответствующей современным требованиям к автоматизированным производственным процессам.

Полученные результаты подтверждают возможность и целесообразность применения разработанной системы на практике. Проект может быть адаптирован под различные типы производственных задач, что делает его универсальным решением для автоматизации технологических процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов А.П., Бусько В.Л., Лобко В.В. Автоматизация технологического процесса транспортировки массовых грузов в рудниках. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2008. – 312 с.

2 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., переработанное и дополненное – Санкт-Петербург: Профессия, 2004. – 752 с.

3 Симаков А.С., Брагин Б.Б. Микропроцессорная система управления поточно-транспортной линией. – Москва: Горная книга, 2002. – 198 с.

4 Юрченко В.М. К вопросу пожарной безопасности ленточных конвейеров. – Кемерово: // Кузбасский политехнический институт, 2016. – 145 с.

5 Петров В.В. Дискретные математические модели в автоматизированных системах управления. – Москва: Наука, 2015. – 412 с.

6 Лурье Б.Я., Энрайт П.Д. Классические методы автоматического управления. – Санкт-Петербург: БХВ - Петербург, 2004. – 624 с.

7 Кангин В.В., Кангин М.В., Ямолдинов Д.Н. Разработка SCADA-систем: учебное пособие. – Вологда: Издательство Инфра-Инженерия, 2019. – 564 с.

8 Иванов С.А. Построение логического управления на языке LAD в TiaPortal. – Санкт-Петербург: Питер, 2020. – 368 с.

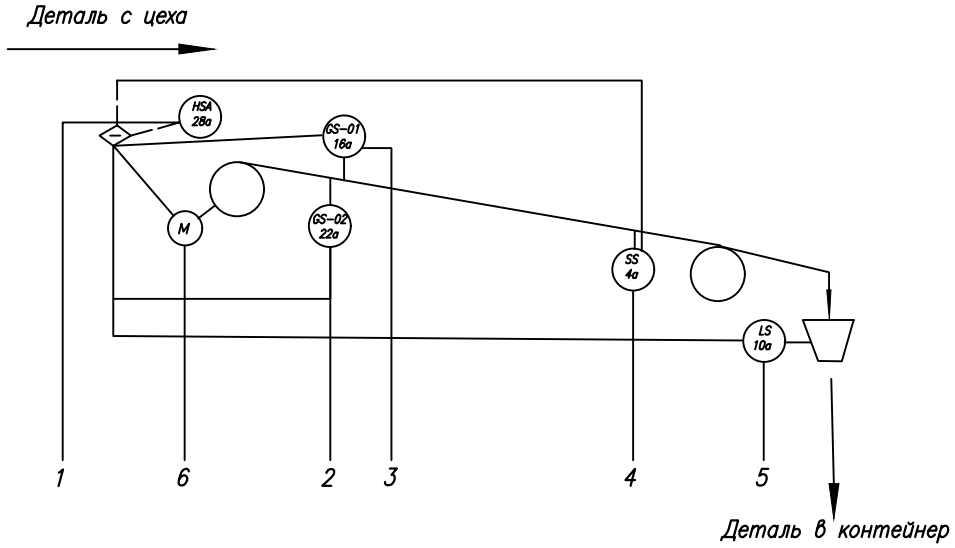
9 Давыдов Н.И. Определение параметров настройки ПИД-регулятора по переходной характеристике объекта управления. – Москва: Издательство // Энергия, 1995. – 17-22 с.

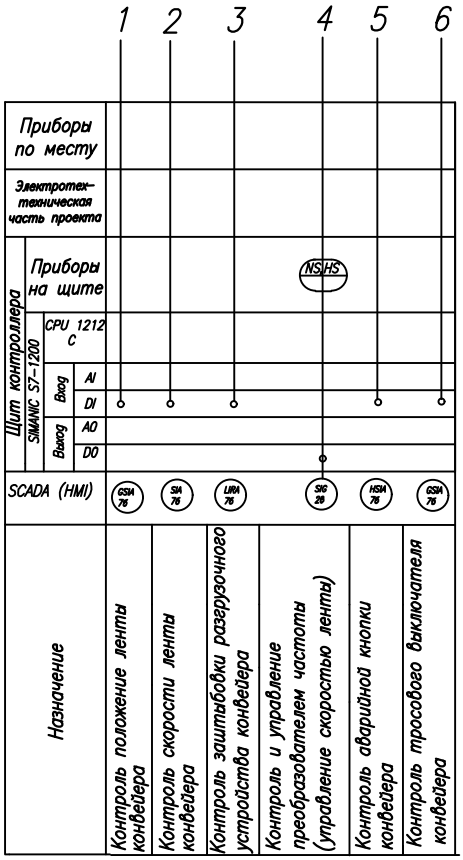
10 Воронов А.А. Теория автоматического управления. Часть 1. – Москва: Высшая школа, 1986. – 367 с.

11 Иванов С.А. Построение логического управления на языке LAD в TiaPortal. – Санкт-Петербург: Питер, 2020. – 368 с.

Приложение А

Развернутая схема автоматизации





Изм.	Кол.у.	Лист	N док.	Подп.	Дата	Дипломный проект			
Студент.		Гусейнов М.Г.				Функциональная схема автоматизации конвейерной линии	Стадия	Лист	Масштаб
Препод.		Жусупбеков С.С.							
Консул.									
Консул.						Satbayev university	Кафедра АиУ		
Н.контр.		Манатов К.А.							
Зав. Кафедры									

Взам. инв. N

Подпись и дата

Инв. N подл.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Гусейнова Мовсара Горхмаз оглы
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией
Выполнено:
а) презентация на __ слайдах
б) пояснительная записка на __ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломный проект посвящён разработке автоматизированной системы управления конвейерной линией. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения производительности, надёжности и гибкости производственных процессов, что особенно важно в условиях цифровизации и перехода к интеллектуальным производствам.

Работа включает теоретическую, расчётную и программную части, что говорит о комплексном подходе к решению поставленной задачи. В теоретической части проведён анализ предметной области, охарактеризован объект автоматизации — конвейерная линия, описаны принципы её функционирования, структура управления и этапы технологического процесса.

В расчётной части построена математическая модель объекта управления на основе передаточной функции второго порядка, выполнен анализ устойчивости и синтез ПИД-регулятора. Проведено моделирование в среде MATLAB/Simulink, включая реализацию как непрерывного, так и дискретного регулятора. Отдельно выполнено моделирование системы в пространстве состояний, что демонстрирует высокий уровень понимания динамики объекта управления.

Программная часть реализована в среде TIA Portal с использованием языка LAD для контроллера Siemens S7-1500. Разработан модуль управления, организована структура программы с использованием организационных блоков, в том числе блока OB30 для ПИД-регулирования. Визуализация процесса реализована средствами SCADA с использованием панели оператора KP900 Comfort, что позволило обеспечить удобный интерфейс управления и мониторинга состояния системы. Замечания: 1. Не представлена структура АСУ ТП 2. • Не значительные ошибки в ФСА

Оценка работы

Дипломная работа Гусейнова Мовсара Горхмаз оглы демонстрирует высокий уровень подготовки в области систем автоматического управления и заслуживает оценки «» (85), а студенту присвоение академической степени бакалавра по образовательной программе 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент
асоц. профессор, доцент кафедры Автоматизация и управление,
АУЭС им. Даукеева

_____ Оракбаев Е. Ж.

«___» июня 2025 г.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И.САТПАЕВА»

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

Дипломная работа

Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы

6В07103 – «Автоматизация и роботизация »

Тема: Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией

Дипломная работа Гусейнова Мовсара посвящена актуальной задаче — созданию автоматизированной системы управления конвейером. Автор подошёл к выполнению проекта ответственно и основательно. В ходе работы была проанализирована структура производственного процесса, обоснован выбор оборудования, разработана логика управления и визуализация процесса.

Особенно хотелось бы отметить, что студент не ограничился только теоретическим описанием, а провёл моделирование работы системы в среде MATLAB/Simulink, где показал понимание динамики объекта и умение работать с ПИД-регулированием. Все параметры подбирались обоснованно, а результаты моделирования подтверждают работоспособность выбранного решения.

Также на хорошем уровне выполнена программная реализация в TIA Portal. Логика управления на языке LAD, работа с таймерами, настройка ПИД-регулятора и визуализация через SCADA — всё это сделано грамотно, с учётом практических требований. Видно, что студент умеет разрабатывать рабочие проекты, которые можно применять на практике.

Хочется подчеркнуть, что Мовсар проявил инициативность, работал самостоятельно, задавал правильные вопросы и в целом хорошо ориентируется в теме автоматизации. Работа выполнена аккуратно, оформлена согласно требованиям, а её содержание полностью раскрывает заявленную тему.

Дипломная работа Гусейнова Мовсара Горхмаз оглы демонстрирует высокий уровень подготовки в области систем автоматического управления и заслуживает присвоение академической степени бакалавра по образовательной программе 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

Научный руководитель
Ассоциированный профессор, к.т.н.
_____ Жусупбеков С. С.
«03» 06 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 4.8

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 10

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 12

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

проверяющий эксперт

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы

Тақырыбы: Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией

Жетекшісі: Елена Кулакова

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.6

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 10

Ақ белгілер: 12

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☑ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні *Кафедра меңгерушісі*

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Гусейнов Мовсар Горхмаз оглы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы управления конвейерной линией

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 4.8

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 10

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 12

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*