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

Әділбеков Әліби Нұрсұлтанұлы

Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве

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.
«12» 06 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве»

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил Әділбеков Ә.Н.

Рецензент
_____
(подпись)
«13» 06 2025 г.

Научный руководитель
канд.техн.наук
_____ Кулакова Е.А.
(подпись)
«13» 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.
«12» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Әділбекову Ә.Н
Тема: «Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве».
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 производственных потоков в обогатительном производстве.
Перечень подлежащих к разработке в дипломном проекте вопросов:
а) описание технологической части;
б) разработка структуры системы автоматизации;
в) разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом;
г) разработка математической модели;
д) разработка программы управления.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
функциональная схема автоматизации перегрузочного узла.
Рекомендуемая основная литература:

ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Описание процессов перегрузочного узла	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка структуры системы автоматизации	06. 03. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом	28. 03. 2025 г.	
Расчетный раздел Разработка математической модели	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	Е. А. Кулакова канд. техн. наук	28.03.25г.	
Расчетный раздел	Е. А. Кулакова канд. техн. наук	25.05.25г.	
Нормоконтролер	Қ. А. Манатов магистр техн. наук	02.06.2025	

Научный руководитель _____ Кулакова Е. А.

подпись

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Әділбеков Ә. Н.

подпись

Дата «31» января 2025 г.

ВВЕДЕНИЕ

Современные процессы обогащения полезных ископаемых характеризуются высокой степенью сложности и многостадийностью. На каждом этапе технологического цикла требуется эффективная транспортировка минерального сырья между отдельными производственными участками. Одним из наиболее распространённых и технологически оправданных видов транспорта на обогатительных фабриках является ленточный конвейер и конвейерные линии.

Конвейерный транспорт обладает рядом существенных преимуществ: высокой надёжностью при соблюдении регламентов технического обслуживания, возможностью непрерывной работы, минимальной потребностью в обслуживающем персонале, невысокими эксплуатационными расходами и умеренными капитальными вложениями на единицу длины. Кроме того, монтаж конвейерных трасс требует незначительного объёма земляных работ и оказывает минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Эти факторы обуславливают широкое распространение конвейерных систем в горно-обогатительном производстве. Однако перемещение сырья между стадиями обогащения требует наличия перегрузочных узлов — специализированных сооружений, предназначенных для передачи сыпучих материалов (руды, угля, шихты и т.д.) с одного транспортного средства на другое, а также для размещения и защиты технологического оборудования.

Условия эксплуатации перегрузочных станций характеризуются воздействием низких температур, запылённости и динамических нагрузок. В связи с этим, актуальной задачей становится автоматизация управления работой перегрузочных узлов. Автоматизация позволяет перевести производственные операции в автономный режим с минимальным участием персонала, обеспечить устойчивую работу оборудования и повысить общую эффективность производственного процесса.

Внедрение автоматизированной системы управления обеспечивает:

– оптимизацию технологических процессов;
– снижение времени простоев оборудования;
– автоматическую подачу и перераспределение сырья;
– удалённый контроль состояния оборудования;
– повышение уровня промышленной безопасности;
– синхронизацию работы всех звеньев технологической цепи;
– автоматическую сортировку и контроль качества продукции;
– учёт транспортируемого объёма сырья в реальном времени.

Таким образом, автоматизация перегрузочного узла способствует повышению производительности предприятия, снижению издержек на обслуживание и энергопотребление, а также увеличению надёжности и устойчивости технологического процесса в целом.

1 Технологическая часть

1.1 Общее устройство ленточного конвейера

Конвейеры являются основными элементами перегрузочного узла и обеспечивают транспортировку сыпучих материалов между технологическими участками.

Ленточный конвейер (англ. *belt conveyor*) представляет собой устройство непрерывного действия, в котором в качестве рабочего органа используется замкнутая лента. Основным конструктивным элементом конвейера служит прорезиненная лента, охватывающая два барабана: приводной и натяжной (рисунок 1.1). Приводной барабан обеспечивает движение ленты за счёт фрикционного усилия, передаваемого от привода, а натяжной предназначен для поддержания необходимого предварительного натяжения.

Верхняя ветвь ленты выполняет функцию транспортировки материала и называется рабочей (грузонесущей), тогда как нижняя ветвь — холостой (нерабочей). Для поддержания ленты вдоль трассы используются роликоопоры, которые могут придавать ей плоскую или желобчатую форму, в зависимости от конструкции.

Поступательное движение ленты обеспечивается приводной системой, включающей в себя электрический двигатель, мотор-редуктор, муфты (тихоходную и быстроходную), а также приводной барабан. Груз подаётся на ленту через одно или несколько загрузочных устройств. Разгрузка материала осуществляется либо с помощью концевого барабана в приёмный бункер (концевая разгрузка), либо с помощью промежуточных разгрузочных устройств, таких как плужковые или барабанные сбрасыватели.

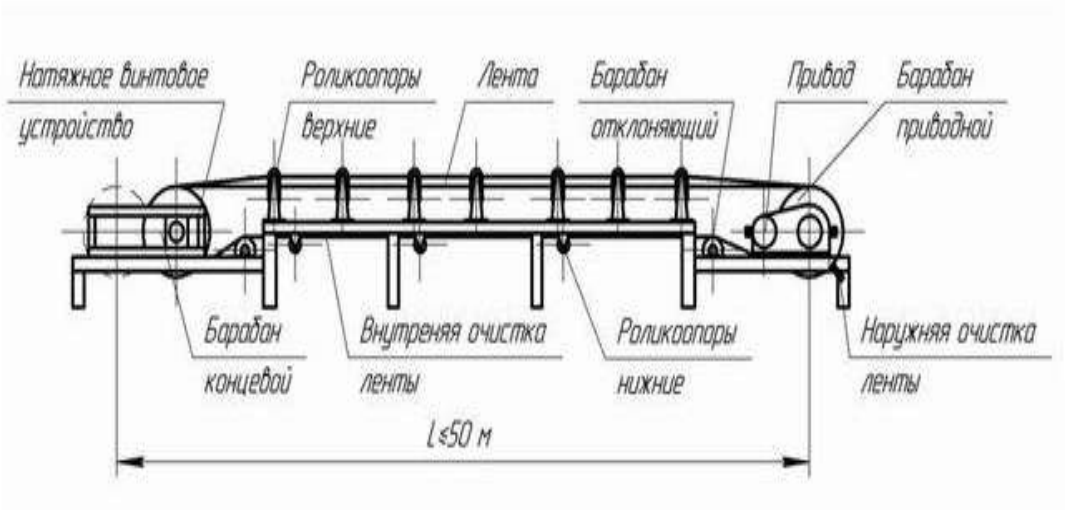


Рисунок 1.1 – Схема ленточного конвейера

Ленточные транспортеры оснащаются электродвигателями, мощность которых подбирается с учётом длины ленты и требуемой производительности. В рамках данного проекта применяются приводы мощностью 7,5 кВт и 15 кВт.

Приводной механизм включает в себя:

– асинхронный электрический двигатель;

– мотор-редуктор;

– быстроходную и тихоходную муфты;– приводной барабан.

В качестве электродвигателей используются общепромышленные модели:

– АИР 132S4 (мощность 7,5 кВт);

– АИР 160M6 (мощность 15 кВт).

Эти двигатели предназначены для работы в продолжительном режиме S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением 380 В (варианты исполнения — 220/660 В). Степень защиты — IP54 или IP55, климатическое исполнение и категория размещения — У3 (возможны варианты У1 и У2).

1.2 Описание технологического процесса

Технологическая схема работы перегрузочного узла представлена на рисунке 1.2. Согласно данной схеме, рудный материал с участка дробления поступает по конвейеру CV01 в загрузочное устройство, снабжённое шиберным механизмом. Шибер предназначен для перераспределения потока руды в зависимости от текущей производственной ситуации.

В зависимости от положения шибера, руда может направляться:

– на конвейер CV02 для последующей транспортировки на склад хранения;

– на конвейер CV03, ведущий к участкам обогащения №1 и №2.

При нахождении участков обогащения в нерабочем состоянии (например, во время технического обслуживания), весь материал перенаправляется на склад. В случае нормального режима работы, материал, перемещаемый по CV03, поступает на второе загрузочное устройство, которое выполняет распределение руды между двумя производственными линиями:

– на участок обогащения №1 по конвейеру CV04–1;

– на участок обогащения №2 по конвейеру CV04–2.

Если один из участков временно остановлен, вся поступающая руда направляется на работающий участок. Дополнительно предусмотрена возможность подачи руды со склада по отдельной транспортной линии — конвейеру CV05.

Таким образом, реализуется гибкая и надёжная система распределения руды, обеспечивающая непрерывность производственного цикла и возможность перенаправления сырья в зависимости от состояния оборудования.

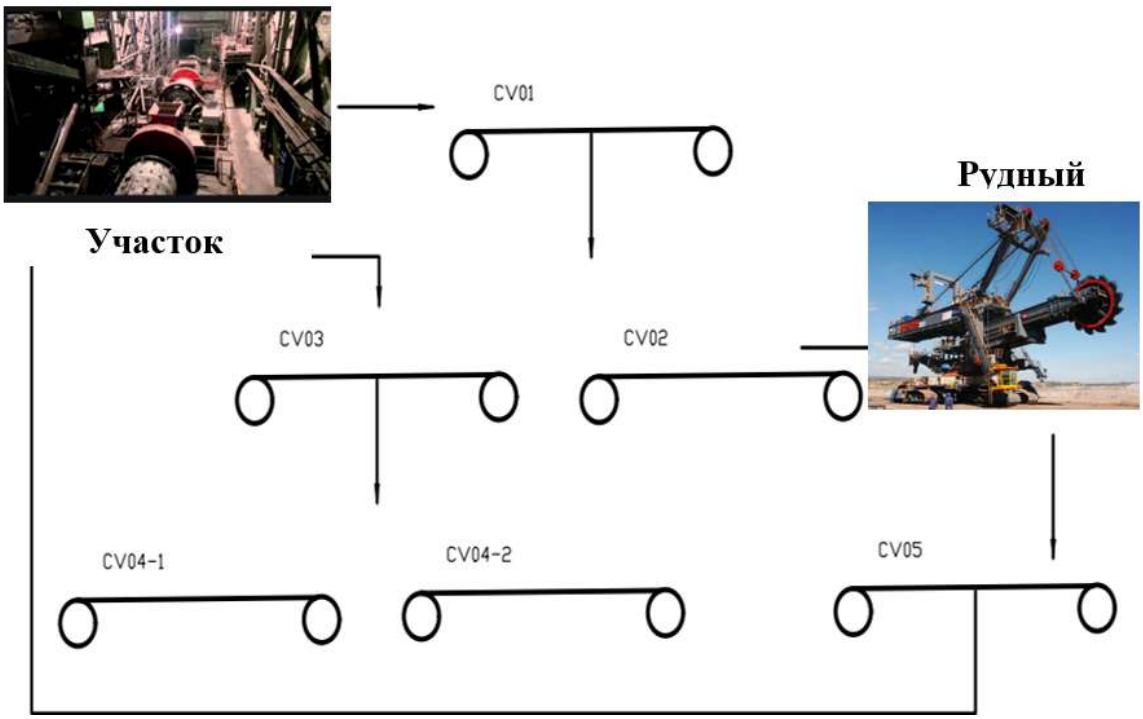


Рисунок 1.2 – Технологическая схема перегрузочного узла

1.3 Постановка задачи управления перегрузочным узлом обогатительной фабрики. Требования к проектным решениям

Целью настоящего дипломного проекта является разработка автоматизированной системы управления перегрузочным узлом обогатительной фабрики, обеспечивающей устойчивое и эффективное функционирование конвейерной линии.

Объектом управления выступает система ленточных конвейеров, реализованная на базе оборудования серии ЛК производства ТОО «Металлист». Основная задача системы — автоматизированное перемещение сыпучего рудного материала между участками предприятия в соответствии с технологическими условиями и заданной логикой.

Разрабатываемая система управления должна соответствовать технологическим требованиям, изложенным в пункте 1.1, и обеспечивать:

– надёжное выполнение операций загрузки, транспортировки и разгрузки материала;

– гибкую маршрутизацию сырья в зависимости от текущего состояния оборудования;

– оперативную диагностику и защиту от аварийных ситуаций;

– повышение общей эффективности технологического процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать структуру системы автоматизации;

– определить точки контроля и управления конвейерной линией;

– выбрать оптимальную аппаратную базу автоматизации;

– разработать функциональную схему системы;

– сформировать алгоритм управления оборудованием;

– построить математическую модель конвейера в среде MATLAB/Simulink;

– выполнить настройку регуляторов с использованием PID-тюнинга в модуле Control System Designer;

– реализовать алгоритм управления в среде TIA Portal, с использованием контроллера Siemens S7–1200.

Разработка предполагает комплексный подход к автоматизации технологического процесса, включающий выбор современных технических средств, моделирование, программирование и визуализацию процессов. Все проектные решения направлены на повышение уровня автоматизации, снижение ручного труда и обеспечение надёжности функционирования производственной линии.

2 Разработка структуры системы автоматизации

2.1 Определение точек контроля и управления

Автоматизация перегрузочного узла реализуется на основе распределённой системы управления с применением программируемых логических контроллеров (ПЛК) серии Siemens S7–1200. Выбор контроллера обусловлен его широкими возможностями для интеграции в сеть Profibus, простотой программирования в среде TIA Portal, а также надёжностью и поддержкой промышленных стандартов.

Система состоит из следующих основных компонентов:

- ПЛК Siemens S7–1200 — ядро системы, обеспечивающее сбор данных с датчиков, управление приводами конвейеров и логическую обработку событий;
- Панель оператора (HMI) SIMATIC — интерфейс для визуализации состояния оборудования и ввода операторских команд;
- Датчики и исполнительные механизмы — датчики положения, скорости, температуры, а также электроприводы с преобразователями частоты;
- Сеть Profibus DP — коммуникационная шина для обмена данными между ПЛК, HMI и другими устройствами;
- Промежуточное оборудование — источники питания, распределительные шкафы и системы защиты.

Таблица 2.1. – Точки контроля перегрузочного узла

Наименование измеряемого параметра	Номинальное значение	Канал модуля контроллера
1	2	3
CV01		
1 Наличие скорости движения конвейера	1 или 2	DI 0.2
2 Заштыбовка разгрузочного устройства	1 или 2	DI 0.3
3 Сход ленты	1 или 2	DI 0.4
4 Троссовый выключатель	1 или 2	DI 0.5
5 Натяжение ленты	1 или 2	DI 0.6
CV02		
1 Наличие скорости движения конвейера	1 или 2	DI 0.2
2 Заштыбовка разгрузочного устройства	1 или 2	DI 0.3
3 Сход ленты	1 или 2	DI 0.4
4 Троссовый выключатель	1 или 2	DI 0.5
5 Натяжение ленты	1 или 2	DI 0.6
CV03		
1 Наличие скорости движения конвейера	1 или 2	DI 0.2
2 Заштыбовка разгрузочного устройства	1 или 2	DI 0.3

Продолжение таблицы 2.1

3 Сход ленты	1 или 2	DI 0.4
4 Троссовый выключатель	1 или 2	DI 0.5
5 Натяжение ленты	1 или 2	DI 0.6
1	2	3
CV04–1		
1 Наличие скорости движения конвейера	1 или 2	DI 0.2
2 Заштыбовка разгрузочного устройства	1 или 2	DI 0.3
3 Сход ленты	1 или 2	DI 0.4
4 Троссовый выключатель	1 или 2	DI 0.5
5 Натяжение ленты	1 или 2	DI 0.6
6 Масса руды	0 – 80 т/час	AI 1
CV04–2		
1 Наличие скорости движения конвейера	1 или 2	DI 0.2
2 Заштыбовка разгрузочного устройства	1 или 2	DI 0.3
3 Сход ленты	1 или 2	DI 0.4
4 Троссовый выключатель	1 или 2	DI 0.5
5 Натяжение ленты	1 или 2	DI 0.6
6 Масса руды	0 – 60 т/час	AI 1

В таблице 2.2 приведены точки управления конвейерной линией перегрузочного узла.

Таблица 2.2 – Точки управления

Наименование измеряемого параметра	Номинальное значение	Канал модуля контроллера
Запуск/останов		
CV01	1 или 2	DO 0.2
CV02	1 или 2	DO 0.3
CV03	1 или 2	DO 0.4
CV04–1	1 или 2	DO 0.5
CV04–2	1 или 2	DO 0.6
Скорость движения CV05	0.5–1 м/с	Profibus DP

В перегрузочном узле предусмотрены ключевые точки контроля и управления, обеспечивающие надёжность и безопасность работы:

- Датчики положения ленты — для обнаружения смещения или схода ленты с роликов;
- Датчики скорости и напряжения ленты — для контроля производительности и предотвращения перегрузок;
- Термодатчики электродвигателей — для мониторинга температуры и предотвращения перегрева;
- Концевые выключатели и датчики наличия груза — для автоматического управления пуском и остановом конвейеров;

- Шиберные механизмы с электроприводом — для распределения потока руды по технологическим линиям;

- Аварийные кнопки и сигнализация — для оперативного реагирования в случае нештатных ситуаций

Таблица 2.3 – Точки сигнализации

Наименование измеряемого параметра	Номинальное значение	Канал модуля контроллера
Запуск конвейера		
CV01	1 или 2	DO 0.2
CV02	1 или 2	DO 0.3
CV03	1 или 2	DO 0.4
CV04–1	1 или 2	DO 0.5
CV04–2	1 или 2	DO 0.6

Кроме того предусмотрена дистанционная сигнализация всех параметров и блокировка запуска конвейерной линии, представленных в таблице 2.1

2.2 Определение структуры АСУ ТП

Для автоматизации перегрузочного узла оптимальной считается централизованная архитектура АСУ ТП. Централизованные системы управления применяются при автоматизации локальных технологических процессов с компактным расположением оборудования и относительно простыми алгоритмами работы. Преимуществом таких систем является упрощённая разработка программного обеспечения и более простое согласование работы устройств ввода/вывода по сравнению с распределёнными системами. Кроме того, стоимость аппаратных средств централизованных АСУ ниже, что снижает общие затраты на автоматизацию.

Структурная схема автоматизации перегрузочного узла представлена на чертеже АУТ–17–6-1 (приложение А).

Для сбора данных о производительности конвейера CV01 используются конвейерные весы, преобразующие измеряемые параметры в унифицированные аналоговые сигналы 4–20 мА. Контроль движения ленты, схода ленты и состояния разгрузочных устройств осуществляется дискретными датчиками, выдающими сигналы 0 или 24 В, что соответствует логическим уровням 0 или 1. Современные датчики, оснащённые функцией передачи питания и сигнала по одним проводам, позволяют снизить затраты на кабельные материалы в 1,5–2 раза и сократить необходимость применения компенсационных проводов. Кроме того, применение датчиков, интегрированных с преобразователями, уменьшает количество необходимых панелей и шкафов КИПиА.

Сигналы с датчиков поступают на модули программируемого логического контроллера (ПЛК): аналоговые сигналы — на аналоговый модуль, дискретные — на дискретные модули. Аварийные кнопки и троссовые выключатели, являющиеся электротехническими устройствами, обычно обслуживаются электриками предприятия, однако сигналы с их замкнутых или разомкнутых контактов необходимы для системы автоматизации. Эти сигналы также подаются на дискретные входы контроллера и используются для управления конвейерами, а также для программирования и визуализации.

Обработка поступающих сигналов выполняется центральным процессором (ЦПУ) контроллера согласно заложенной программе. Управляющие команды формируются и передаются через дискретные выходы ПЛК на исполнительные устройства. Например, запуск и останов конвейеров осуществляются через промежуточное реле РП–21. Управление электродвигателем конвейера CV01 реализуется с помощью частотного преобразователя, который обеспечивает плавный запуск, останов и регулирование скорости вращения двигателя. Управление преобразователем частоты осуществляется непосредственно из ЦПУ контроллера (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 – Структура управления производительностью конвейера

Для визуализации технологических параметров и оперативного управления оборудованием ПЛК Siemens S7–300 может комплектоваться панелями оператора SIMATIC HMI Comfort. Информация о состоянии технологического процесса также дублируется на персональный компьютер, который выполняет функции контроля и управления. Компьютер, при необходимости, может быть включён в сеть Ethernet, что обеспечивает передачу данных всем пользователям с соответствующим доступом.

АСУ ТП конвейерной линии перегрузочного узла построена по трёхуровневой иерархической структуре:

Первый (нижний) уровень включает дискретные датчики, конвейерные весы и исполнительные механизмы, в том числе электродвигатель с частотным преобразователем для регулирования скорости конвейера CV01.

Второй (средний) уровень представлен шкафом управления с микропроцессорным контроллером, который отвечает за технологические

защиты, дистанционное управление, автоматическое регулирование и информационную подсистему. В данном проекте используется контроллер Siemens CPU1212–C–2DP, расположенный в шкафу операторского пункта, связанный через сеть Profibus–DP со станцией удалённого ввода-вывода ET–200M.

Сеть Profibus–DP (Distributed Periphery) предназначена для высокоскоростного обмена данными с распределёнными периферийными устройствами. В качестве среды передачи используется двухжильный кабель с электрической связью RS-485. Profibus–DP обеспечивает совместную работу контроллеров семейства SIMATIC S7–200, S7–300, S7–400, а также приборов полевого уровня и систем человеко–машинного интерфейса (HMI).

Третий (верхний) уровень включает рабочую станцию SIMATIC Rack IPC347D с сенсорным экраном и панелью оператора SIMATIC HMI Comfort, которые связаны с контроллером по сети Industrial Ethernet. Для визуализации применяется программное обеспечение WinCC.

3 Система автоматизации

3.1 Построение функциональной схемы автоматизации

Функциональные схемы автоматизации являются основным проектным документом, определяющим структуру и уровень автоматизации технологического процесса проектируемого объекта, а также оснащение его приборами и средствами автоматизации, включая вычислительную технику. Такие схемы представляют собой чертежи, на которых с помощью условных обозначений отображается технологическое оборудование, коммуникации, органы управления, приборы и средства автоматизации, вычислительная техника и другие агрегатные комплексы с указанием связей между ними [7].

Функциональные схемы служат основой для выполнения остальных проектных чертежей, а также для составления заявочных ведомостей и спецификаций приборов и средств автоматизации. Перед началом проектирования функциональная схема согласуется с заказчиком или организацией, выдавшей техническое задание.

Графическое построение технологической схемы должно обеспечивать наглядное представление последовательности технологического процесса. При этом технологическая схема выполняется в упрощённом виде, масштаб не соблюдается. Конфигурация оборудования должна соответствовать реальному расположению или условным обозначениям и схематичным изображениям [8].

Функциональная схема автоматизации графически делится на две зоны: верхняя часть (около двух третей высоты) содержит технологическую схему, а в нижней части, с некоторым разрывом, размещаются прямоугольники, обозначающие установки местных приборов, щиты, пульты, пункты контроля и управления, управляющие и централизованные машины. В них условными знаками показывается соответствующая аппаратура.

Функциональная схема предлагаемой системы автоматизации приведена на чертеже АУТ–17-6-2 (приложение Б, лист А2) и включает следующие основные элементы: технологическое оборудование, датчики контроля параметров, промышленный контроллер SIMATIC S7–1200 и исполнительные механизмы.

3.2 Выбор средств измерения и автоматизации

В разделе 2.2 настоящей пояснительной записки была рассмотрена структура АСУ ТП перегрузочного узла, в разделе 3.1 описаны принципы построения систем автоматизации, предложены элементы измерения. Далее необходимо поэтапно рассмотреть все средства автоматизации и измерения.

При выборе средств измерения целесообразно руководствоваться следующими положениями: выбираемые средства измерения должны обеспечивать требуемую точность преобразования в заданном диапазоне температур и давлений; иметь высокую эксплуатационную надежность и

долговечность. При выборе датчиков, помимо критериев точности преобразования, условий эксплуатации, стоимости следует обратить внимание на характер выходного сигнала и при прочих равных условиях следует выбирать датчики с токовым выходным унифицированным сигналом, поскольку в месте установки элементов АСУ ТП напряженность магнитного поля может превышать 40 А/м, что требует принятия дополнительных мер по повышению помехоустойчивости средств измерения и каналов связи. В то же время, унифицированный токовый сигнал является помехоустойчивым и удобным для ввода в контроллер [11].

Предлагается рассмотреть по 2 аналога для каждого средства автоматизации и выбрать оптимальный.

3.2.1 Контроль движения ленты конвейера

Контроль конвейера и конвейерных линий предполагает кинематический контроль движения ленты, координацию пусков и остановок, обнаружение деформаций, повышенных нагрузок, препятствий и заторов.

Индуктивные бесконтактные датчики скорости применяются в системах управления технологическими процессами во многих отраслях промышленности. В простом бесконтактном датчике при подключении к источнику питания в катушке протекает переменный ток. При приближении металлического объекта (например, стального диска) к катушке изменяется её импеданс, что служит сигналом о наличии объекта

Датчики контролируют частоту воздействия управляющего объекта, связанного с вращающейся частью механизма, и формируют выходной сигнал, управляющий нагрузкой — реле, магнитным пускателем или входом контроллера. Для обеспечения корректного запуска датчики оснащены функцией задержки включения.

Рассмотрены два аналога датчиков от НПО «ТЕКО» и ТОО «Сенсор». Их технические характеристики и цены представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Выбор датчика скорости конвейера

Параметр	ТОО «Сенсор» ДКС–М30–81У–1113–ЛА.01	НПО «ТЕКО» IV1B AF81A5–43P–10–LZ
Напряжение питания	Постоянное 24 В	Постоянное 24 В
Рабочий диапазон температур	–45°С…+80°С	–25°С…+70°С
Номинальное расстояние воздействия	10 мм	10 мм
Схема подключения	4–х проводная	4–х проводная
Допустимый диапазон напряжений питания	10…30 В	10…30 В
Номинальный ток нагрузки	400 мА	400 мА
Падение напряжения на выключателе	Не более 2 В	Не более 2 В

Продолжение таблицы 3.1

Ток собственного потребления	не более 35 мА	не более 35 мА
Задержка эксплуатационной готовности	не более 300 мс	не более 300 мс
Диапазон регулировки первоначальной задержки включения	1–10 с	9±2с
Диапазон регулировки пороговой частоты	с 0,1 – 2,5 Гц	с 0,1 – 2,5 Гц
Индикация	нет	есть
Габаритные размеры без учета кабеля	∅30х82 мм	М30х1,5х100
Стандартная длина кабеля подключения	2м	2м
Масса (с кабелем стандартной длины)	Не более 0,25 кг	Не более 0,25 кг
Цена, тг	45 800	48 200

Таким образом, технические характеристики датчиков практически идентичны, однако прибор НПО «ТЕКО» имеет дополнительную функцию индикации импульсов и минимальной скорости, что облегчает эксплуатацию. Несмотря на немного более высокую цену, оптимальным выбором является

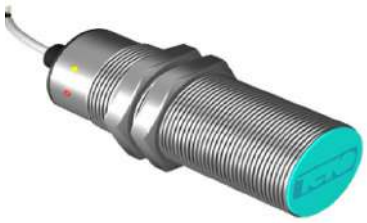


Рисунок 3.1 – Индуктивный датчик скорости IV1B AF81A5–43P–10–LZ

3.2.2 Контроль потока материла

Для контроля заштыбовки (забивки рудой разгрузочного устройства) предлагается использовать датчики заштыбовки. Эти приборы предназначены для контроля забивки перегрузочных течек конвейеров при транспортировке угля, руды, щебня и других твердых сыпучих материалов. Датчики изготовлены в соответствии с ГОСТ 24754–2013, соответствуют требованиям электрооборудования рудничного нормального исполнения (РН) и применяются на конвейерах предприятий различных отраслей промышленности.

Ниже приведено сравнение характеристик датчиков двух производителей (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сравнение датчиков заштыбовки

Параметр	ДЗ6010 НПК «ТЕКО»	ДЗИ 1215 ООО «Комплект Инжиниринг Технологии»
Напряжение питания, В	10….30 В D/C	10….30 В D/C
Схема подключения	3–х пров	3–х пров
Диапазон рабочих температур	–15°...+105°С	–15°...+105°С
Ток	До 400 мА	5–500 мА
Тип контакта	переключающий	переключающий
Степень защиты по ГОСТ	IP68	IP68
Цена, тг	144380	155900

Таким образом, технические характеристики приборов практически идентичны, однако датчик фирмы НПО «ТЕКО» стоит немного дешевле. Следовательно, оптимальным выбором является электронный датчик заштыбовки ДЗ–6010 производства НПО «ТЕКО» (рисунок 3.2).

– Электронный датчик заштыбовки ДЗ–6010, производитель НПО «ТЕКО» (рисунок 3.2)

Рисунок 3.2 – Электронный датчик заштыбовки ДЗ–6010

3.2.3 Контроль положения ленты

Датчики контроля схода ленты предназначены для обнаружения аварийного схода конвейерной ленты в сторону и выдачи сигнала (путём замыкания или размыкания электрической цепи) в систему управления конвейером.

Датчики соответствуют техническим регламентам Таможенного союза:

- ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»
- ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

Конструкция электронных датчиков контроля схода ленты обеспечивает повышенную надёжность и устойчивость к изменению температуры окружающей среды, что минимизирует влияние температуры на время

срабатывания. Время задержки срабатывания составляет приблизительно одну секунду.

Датчики различаются по способу крепления и электрической схеме подключения. Рекомендуется размещать датчики вертикально по обе стороны конвейерной ленты.

Ниже приведено сравнение приборов двух производителей (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Сравнение датчиков заштыбовки

Параметр	НПК «ТЕКО»	ООО «Комплект Инжиниринг Технологии»
Напряжение питания, В	250 В А/С/до 400 мА	250 В А/С/до 400 мА
Угол срабатывания	30	30
Присоединение	Кабель 4х0,25 кв мм	Кабель 4х0,25 кв мм
Тип контакта	переключающий	переключающий
Цена, тг	44380	58550

Основные характеристики приборов идентичны, но датчик фирмы НПО «ТЕКО» имеет более низкую цену. Следовательно, выбирается электронный датчик схода ленты ДКСЛ–6310 производства НПО «ТЕКО» (рисунок 3.3).

Рисунок 3.3 – Датчик схода ленты ДКСЛ–6310

3.2.4 Аварийное отключение конвейера

Задачу блокирования пуска и экстренного останова конвейерных приводов с любого места технологических линий конвейерного транспорта в случае возникновения аварийной ситуации оперативно решает аварийный тросовый выключатель (АТВ).

Также на местном пульте управления конвейером устанавливается аварийная кнопка (рисунок 3.4).

Рисунок 3.4 – Троссовый выключатель и аварийная кнопка

Данное оборудование выбирается электротехническим персоналом. В системах автоматизации используется только контакт данных устройств, поэтому выбор конкретных моделей в рамках проекта не производится.

3.2.5 Выбор конвейерных весов

Конвейерные весы предназначены для автоматического непрерывного взвешивания сыпучих материалов. В данном дипломном проекте весы используются для взвешивания руды на конвейере CV01.

По принципу действия конвейерные весы должны быть интегрирующими (непрерывное взвешивание), то есть взвешивание материала происходит непосредственно на ленте конвейера, где расположена взвешивающая платформа, вмонтированная в конвейерную раму.

Вычисление массы перемещаемого материала, а также производительности и расхода за определённый период времени, выполняется с помощью тензометрических датчиков (их количество зависит от модели весов).

Конструктивно конвейерные весы представляют собой раму, соединённую с тензометрическими датчиками W, расположенными на углах рамы и закреплёнными на поперечных балках, встраиваемых в конвейер. Материал транспортируется через взвешивающий мост, расположенный под лентой и ограничиваемый опорными роликами 1 и 2. Нагрузка на мост приводит в действие рычажную систему, передающую усилие на тензодатчик WZ. Максимальное измерительное перемещение датчика — 0,2 мм.

Производительность весов зависит от скорости ленты V, воспринимаемой датчиком числа оборотов G и преобразуемой в пропорциональное напряжение. Информация с тензодатчиков и датчика скорости поступает в блок обработки, где происходит вычисление массы, прошедшей через конвейер за единицу времени.

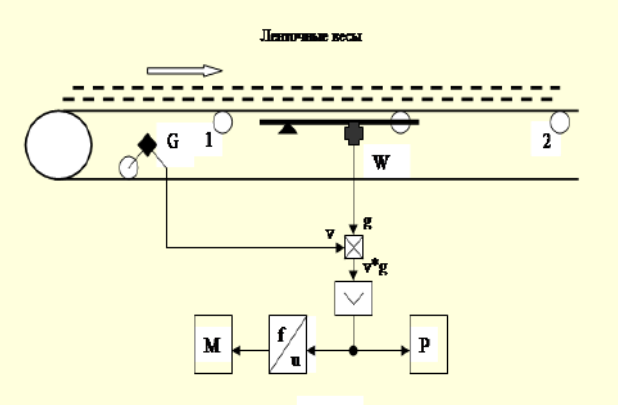


Рисунок 3.5 – Принцип работы весов

Современные производители предлагают различные модификации конвейерных весов. В таблице 3.4 приведено сравнение двух аналогов: Milltronics MSI–7MH7122 (производитель Siemens) и CST IGN1458

Таблица 3.4 – Выбор конвейерных весов

Параметр	Milltronics MSI–7MH7122	CST IGN1458
Режим работы Принцип измерения	Весоизмерительные ячейки с тензоэлементами, измеряющие нагрузку на роликовую опору конвейера	Весоизмерительные ячейки с тензоэлементами, измеряющие нагрузку на роликовую опору конвейера
Точность измерения	0,5% или лучше от общей суммы в рабочем диапазоне 20—100%	1%
Максимальные диапазоны	50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500 фунтов	от 50–150 тонн/час
Свойства материала	От –40 до +75°С	От –40 до +75°С
Ширина ленты	800–1200 мм	800–1200 мм
Скорость ленты	До 5 м/с (1000 футов/мин)	До 5 м/с (1000 футов/мин)
Производительность	До 12000 т/ч	До 12000 т/ч
Наклон конвейера	20°	20°
Расстояние между роликовыми опорами	0,5—1,5 м	0,5—1,5 м
Напряжение питания	10 В пост. тока номинально, 15 В пост. тока максимум	10 В пост. тока номинально, 15 В пост. тока максимум

Продолжение таблицы 3.4

Нелинейность и гистерезис	0,002 мВ/В для питания (номинально) при номинальной нагрузке весоизмерительной ячейки	0,002 мВ/В для питания (номинально) при номинальной нагрузке весоизмерительной ячейки
Температура	От –40 до +75°C для рабочего диапазона	От –40 до +75°C для рабочего диапазона
Перегрузка	0,01% от номинального выхода	0,01% от номинального выхода
Цена	2 750 000	1 820 000

Основные характеристики обеих моделей практически идентичны, однако весы CST IGN1458 значительно дешевле. Следовательно, для разрабатываемой системы выбираются конвейерные весы CST IGN1458.

3.2.6 Реле промежуточные электромагнитные РП–21–003

Для передачи сигналов с модулей ввода/вывода контроллера используются промежуточные электромагнитные реле РП–21–003.

Реле РП–21–003 коммутируют цепи постоянного и переменного тока частотой 50 и 60 Гц, с напряжением от 12 В до 220 В и номинальной нагрузкой по току от 0,01 А до 5 А, коммутируемой мощностью до 3 Вт.

Напряжение катушки может составлять:

- Постоянного тока: 12 В, 24 В, 48 В, 60 В, 110 В
- Переменного тока: 12 В, 24 В, 36 В, 110 В, 127 В, 220 В

Конструкция реле предусматривает три группы переключающих контактов.

В данной системе применяются реле РП–21–003 с номинальным напряжением катушки 24 В постоянного тока, три группы переключающих контактов, ток включающей катушки постоянный.

Основные характеристики реле:

- Номинальное напряжение: 24 В
- Размеры (мм): 34×29×54
- Номинальная нагрузка по току: от 0,025 А до 5 А
- Коммутируемая мощность: 2 Вт
- Степень защиты: IP40

3.2.7 Выбор преобразователя частоты (инвертора)

В разрабатываемой автоматизированной системе управления технологическим процессом (АСУ ТП) преобразователь частоты (поз. 2в) необходим для регулирования производительности конвейера с целью обеспечения оптимальной нагрузки.

Частотные преобразователи предназначены для преобразования переменного тока (напряжения) одной частоты в переменный ток с другой

частотой. Выходная частота в современных преобразователях может изменяться в широком диапазоне — как выше, так и ниже частоты питающей сети.

Схема любого преобразователя частоты состоит из двух частей:

- Силовая часть — выполнена на тиристорах или транзисторах, работающих как электронные ключи.

- Управляющая часть — на цифровых микропроцессорах, обеспечивающая управление силовыми ключами, а также контроль, диагностику и защиту.

Выбор преобразователя частоты производится по следующим параметрам:

а) Параметры питающей сети:

- Трёхфазная сеть 380/220 В, 50 Гц.

б) Выходные параметры преобразователя:

- Три фазы

- Максимальное выходное (линейное) напряжение — 380 В

Максимальная выходная частота рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{п.макс}} > 50 * \frac{\omega_{\text{эп макс}}}{\omega_0(1 - s_k)}, \quad (3.1)$$

Где $\omega_{\text{эп.макс}}$ - угловая скорость рад/с,

ω_0 - синхронная угловая скрость рад\с.

$$f_{\text{п.макс}} = 50 * \frac{198.95}{157 * (1 - 0.191)} = 78.32 \text{ Гц}$$

Минимальная выходная частота преобразователя:

$$f_{\text{п.макс}} > 50 * \frac{\omega_{\text{эп макс}}}{\omega_0} = 50 * \frac{52,3}{157} = 16,6 \text{ Гц}$$

в) преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току $I_{\text{Н}}$ и максимальному (кратковременно допустимому) току $I_{\text{и.макс}}$ по следующим условиям:

$$I_{\text{ин}} \geq I_1 * \frac{M_{max}}{M_{HOM}} = 34.801 * \frac{74.6}{121.417} = 21.38\ A$$

В соответствии с техническими требованиями выбран преобразователь частоты SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control фирмы Siemens.

Преобразователи выпускаются в 12 типоразмерах мощностью от 2,2 до 2300 кВт в блочном исполнении (серия 6SE70) и шкафном (серия 6SE71).

- Компактные блоки с воздушным охлаждением имеют степень защиты IP20,

- Встраиваемые — IP00,
- Преобразователи с водяным охлаждением — до IP65,
- Шкафные исполнения — стандартно IP20.

Таблица 3.5 – Технические параметры преобразователя частоты

Характеристика	Значение
Типоразмер	7023
Макс. мощность двигателя, кВт	18,5
Номинальный выходной ток, А	37,5
Базовый ток нагрузки, А	34,1
Ток перегрузки, А	51,2
Номинальный ток звена пост. тока, А	44,6
Потребляемый ток, А	41,3
Потери при 2.5 кГц, кВт	0,6
Примерный вес, кг	35

На рисунке 3.6 представлена схема подключения преобразователя частоты в системе автоматизации: напряжение питания через автоматический выключатель и пускатель подаётся на ПЧ (инвертор). Управляющие сигналы через интерфейс RS485 подаются от CPU 1212–C. В зависимости от управляющего сигнала ПЧ формирует выходное напряжение с требуемой частотой для электродвигателя.

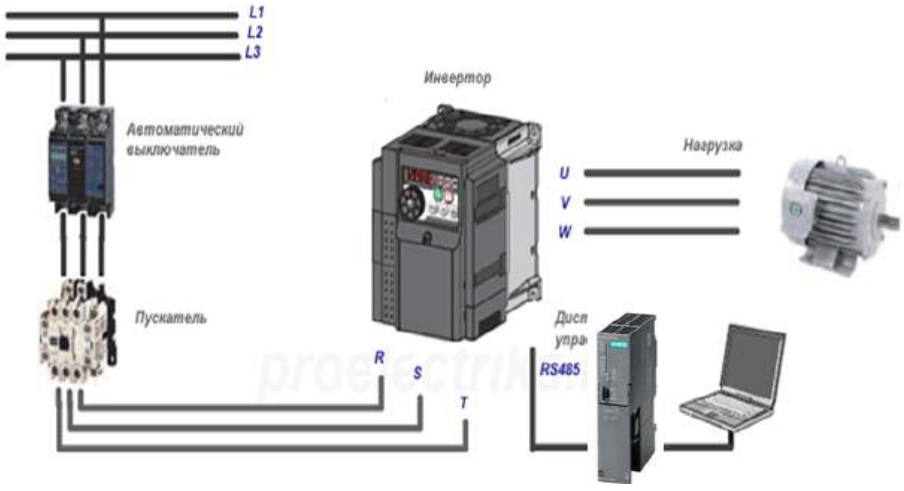


Рисунок 3.6 – ПЧ в системе автоматизации

3.3 Выбор вычислительного устройства

Одним из базовых технических средств автоматизации являются программируемые логические контроллеры (ПЛК) — устройства, предназначенные для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки управляющих команд. Такие устройства

применяются в локальных и распределённых системах управления в соответствии с заданной программой.

Использование свободно программируемой логики даёт возможность гибкой настройки контроллеров. Вместе с тем, некоторые производители используют нестандартные языки и подходы к описанию программируемой логики, что повышает зависимость пользователей от поставщика программного обеспечения и усложняет эксплуатацию контроллеров на объектах.

В разделе 2 данной пояснительной записки структура предлагаемой АСУ ТП определена как централизованная. В настоящем разделе необходимо выбрать программируемый логический контроллер с комплектом необходимых модулей.

Современный ПЛК состоит из следующих основных компонентов:

- блока питания;
- центрального процессора (CPU);
- коммуникационных модулей;
- модулей ввода–вывода.

Лидерами на рынке контроллерного оборудования являются Siemens, ABB, Rockwell Automation, Invensys, Schneider Electric, Cisco и др.

При выборе вычислительного устройства данного проекта проведён сравнительный анализ контроллеров–аналогов, как минимум двух производителей. Основное внимание уделяется выбору центрального процессора (CPU), так как он является сердцем контроллера, а затем — подбору необходимых модулей.

Предлагается сравнить технические характеристики, функциональные возможности и стоимость CPU контроллеров Siemens S7–1200 и ABB AC500. Основные данные приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.6 – Сравнение ЦПУ контроллеров Simatic S7–1200 CPU – 1212C и ABB AC500

CPU		Simatic S7–1200 CPU –1212C	ABB AC500
1		2	3
Рабочая память		1 МБ	64 КБ
Загружаемая память (MMC)		75 КБ	64 КБ – 4 МБ
Время выполнения операций, мкс:	логических	0.08	0.2
	с фиксированной точкой	1,7	4.0
	с плавающей точкой	2,3	5.0

Продолжение таблицы 3.6

Кол–во флагов / таймеров / счетчиков		204/128/128	1024/256/256
Кол–во каналов ввода–вывода, – дискретных / аналоговых, не более		44–42/19–9	253–253/85–90
Встроенные интерфейсы		MPI	MPI
Кол–во активных коммуникационных соединений, не более		3	6
Кол–во встроенных	дискретных входов / выходов:	8/6	нет
	аналоговых входов / выходов:	2/–	нет
Встроенные функции:	скоростные счетчики, кГц	6x100/30	3x30
	импульсные выходы, кГц	4x100	3x2.5
	ПИД–регулирование	Есть	Есть
	позиционирование	Нет	Нет
1	2		3
Габариты, мм	120x125x130		140x120x130
Степень защиты	IP 54 в соответствии с IEC 529		IP 54 в соответствии с IEC 529
Диапазон рабочих температур, °C:	0…+55		0…+60
Цена, $	230		920

Из анализа видно, что CPU ABB AC500 рассчитан на задачи с большим количеством входных/выходных переменных. В нашем проекте рассматривается 36 сигналов DI, 8 DO и 1 AI. Следовательно, CPU S7–1200 CPU1212C является оптимальным выбором — его двух встроенных аналоговых входов достаточно для подключения весов конвейера CV01, и нет необходимости в дополнительном модуле аналогового ввода-вывода.

Кроме того, цена CPU1212C значительно ниже.

Все необходимые модули будут выбраны из серии SIMATIC S7–1200 при конфигурации аппаратной части контроллера в TIA Portal (раздел 5).

Преимущества контроллеров серии SIMATIC S7–1200 (Siemens)

SIMATIC S7–1200 — логический контроллер с мощными функциональными характеристиками при относительно невысокой

стоимости. Контроллер обладает рядом достоинств, позволяющих решать задачи, ранее считавшиеся непосильными для других устройств:

- функциональность и удобство использования: контроллер оснащён встроенным Ethernet-интерфейсом, позволяющим программирование, диагностику, обмен данными с устройствами автоматизации и системами человеко–машинного интерфейса (HMI).

- компактность: пластиковый корпус, модульная конструкция, монтаж на стандартную DIN-рейку (35 мм) или плоскую поверхность.

- универсальность**:** подходит как для простых локальных узлов автоматики, так и для сложных комплексных систем автоматического управления.

- эффективность: интенсивный обмен данными через сети Industrial Ethernet / PROFINET и PtP (Point-to-Point) соединения.

Таким образом, руководствуясь основными критериями выбора ПЛК, в качестве ядра системы предлагается использовать промышленный контроллер SIMATIC S7–1200 фирмы Siemens с CPU–1212C и необходимым количеством модулей ввода–вывода.

Это распространённые контроллеры на предприятиях Казахстана, которые хорошо зарекомендовали себя, обладают открытой архитектурой, эстетичным дизайном и интуитивно понятным программным обеспечением.

3.4 Панель оператора и ЭВМ «верхнего» уровня

Для решения задач оперативного управления и мониторинга в сочетании с программируемыми контроллерами S7–1200 рекомендуется использовать базовые панели операторов SIMATIC, оснащённые встроенным интерфейсом PROFINET.

В данном проекте выбрана стационарная панель оператора SIMATIC HMI KP700 Comfort (модель 6AV2124–1GC01–0AX0).

Основные особенности панели оператора SIMATIC HMI KP700 Comfort:

- полная поддержка концепции Totally Integrated Automation (TIA), что обеспечивает повышение производительности, снижение инженерных затрат и эксплуатационных расходов в течение всего жизненного цикла оборудования.

- наглядная визуализация процесса с использованием различных элементов: поля ввода-вывода, графики, кривых, бар-графиков, текстовой информации и растровых изображений.

- наличие библиотеки графических объектов, упрощающих разработку интерфейсов.

- возможность отображения Интернет-страниц, документов Adobe Acrobat, MS Word и MS Excel.

- минимальные затраты на пуско-наладочные работы и обслуживание.

- сохранение и восстановление данных проекта через интерфейсы PROFINET, USB, MPI, PROFIBUS DP или с помощью SIMATIC HMI SD-карты.

- дистанционная загрузка и считывание параметров конфигурации и операционной системы с автоматической идентификацией процесса.

- поддержка 32 языков проектирования и сообщений, включая русский язык.

- стандартные программные и аппаратные интерфейсы, повышающие гибкость применения: PROFINET и MPI/PROFIBUS для централизованного управления оперативными и проектными данными, а также для подключения к контроллерам SIMATIC S7 / WinAC.

- сохранение архивов и рецептур в формате CSV, что позволяет использовать стандартные компьютерные приложения, такие как MS Excel, для обработки данных.

- наличие элементов управления для считывания и отображения диагностической информации, доступ к которой ранее требовал использования STEP 7.

ЭВМ «верхнего» уровня - верхний уровень системы управления реализован на базе промышленного персонального компьютера.

В качестве ЭВМ «верхнего» уровня используется встраиваемый промышленный компьютер Simatic Box IPC 427 D с техническими характеристиками:

- монитор: FP 15"
- процессор: Intel Core i7–3517UE, 2 ядра, 4 потока, тактовая частота 2,8 ГГц
- системная плата: Shuttle 43VN
- оперативная память: 8 ГБ DDR3-SDRAM
- встроенная графическая карта
- дисковый накопитель: 1×250 ГБ HDD

На рисунке 3.7 показано размещение контроллера S7–1200 и панели оператора KP700 Comfort.

Рисунок 3.3 – Контроллер S7–1200 и панель оператора KP700 Comfort

4 Разработка математической модели конвейера

Перегрузочный узел обогатительной фабрики по технологическому назначению является транспортным объектом, выполняющим транспортировку руды между участками фабрики. Следовательно, регулирование режимов работы конвейеров имеет смысл только в зависимости от интенсивности подачи руды на перегрузочный узел.

В данном проекте основное регулирование необходимо осуществлять по скорости ленты конвейера CV01, на который руда поступает с участка дробления. Оптимальное с точки зрения энергосбережения соотношение параметров — это «уровень загрузки ленты — величина скорости ленты», при этом производительность участка дробления не должна ограничиваться.

Грузопотоки обогатительной фабрики характеризуются значительной неравномерностью и периодами отсутствия поступления руды из-за технологических простоев дробильных машин, поэтому требуется регулирование скорости ленты.

Для этого в проекте предлагается использовать частотно-регулируемый электропривод — преобразователь частоты SIMOVERT MASTERDRIVES Vector Control фирмы Siemens, который обладает высокими энергетическими и механическими характеристиками [4].

Объектом регулирования является ленточный конвейер типа 1Л100ЛК с приводным асинхронным электродвигателем 2ЭДКОФ250LC6Т2,5 и преобразователем частоты SIMOVERT MASTERDRIVES.

Структурная схема САР конвейера

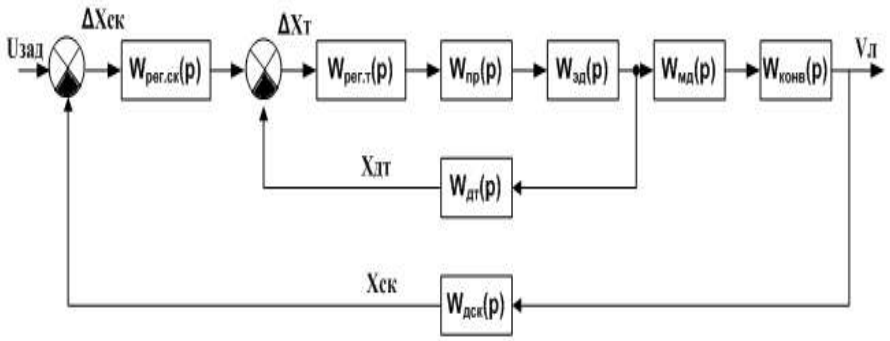


Рисунок 4.1 – Структурная схема САР конвейера

$W_{рег.ск}(p)$ – передаточная функция регулятора скорости; $W_{рег.т}(p)$ – передаточная функция регулятора тока; $W_{пр}(p)$ – передаточная функция тиристорного преобразователя частоты; $W_{эд}(p)$ – передаточная функция электромагнитной составляющей двигателя; $W_{мд}(p)$ – передаточная функция механической составляющей двигателя; $W_{конв}(p)$ – передаточная функция тягового органа ленточного конвейера; $W_{дт}(p)$ – передаточная функция датчика тока; $W_{дск}(p)$ – передаточная функция датчика скорости; $v_л$ – скорость ленты.

Система автоматического регулирования состоит из двух контуров:

- внешний контур: образован тахогенератором для измерения скорости ленты и регулятором частоты вращения электродвигателя.

- внутренний контур: образован датчиком тока в обмотке статора и регулятором тока.

Наличие внутреннего контура необходимо для поддержания перегрузочной способности электродвигателя в полном диапазоне регулирования. Двухконтурная схема обеспечивает неограниченный диапазон регулирования.

Регулятор скорости обеспечивает плавное изменение частоты вращения электродвигателя при переключении скоростей конвейера, что предотвращает динамические нагрузки на ленту и повышает надежность установки.

В качестве выходного параметра принимается скорость ленты, которая измеряется с высокой точностью.

Передаточные функции элементов САР

- датчики тока и скорости представлены как пропорциональные звенья:

$$W_{\text{дт}}(p) = k_{\text{дт}}; W_{\text{дск}}(p) = k_{\text{дск}} \quad (4.2)$$

Передаточная функция преобразователя частоты переменного тока по управляющему воздействию имеет вид:

$$W_{\text{пр}}(\text{p}) = \frac{k_{\text{пр}}}{\text{T}_{\text{пр}}p + 1}. \quad (4.3)$$

Передаточная функция тягового органа ленточного конвейера имеет вид:

$$W_{\text{конв}}(\text{p}) = \frac{e^{-tp}}{\text{T}_1{}^2p^2 + \text{T}_2p + 1}. \quad (4.4)$$

Передаточная функция асинхронного двигателя представлена как две составляющие, соответственно электромагнитная и механическая, которые представлены апериодическими звеньями 1 порядка:

$$W_{\text{эд}}(\text{p}) = \frac{k_{\text{эд}}}{\text{T}_{\text{эд}}p + 1}, \quad (4.5)$$

$$W_{\text{мд}}(\text{p}) = \frac{k_{\text{мд}}}{\text{T}_{\text{мд}}p + 1}. \quad (4.6)$$

Причем механическая составляющая включается в САР вв иде возмущения.

Для практических расчетов передаточные функции элементов САР определены в соответствии с рекомендациями [4]. Датчик тока и датчик скорости представлен в виде пропорциональных звеньев:

$$\text{Wдт}(\text{p}) = 1;\ \text{Wдск}(\text{p}) = 1 \tag{4.7}$$

Коэффициент и постоянная времени преобразователя частоты – $T_{пр}$ = 0,01с, $k_{пр}$ = 1. Следовательно,

$$W_{\text{пр}}(\text{p}) = \frac{1}{0{,}01p + 1}. \tag{4.8}$$

Запаздывание и постоянные времени конвейера – τ = 0,05с, T_1 = 0,031с, T_2 = 0,055с. Передаточная функция тягового органа ленточного конвейера имеет вид:

$$W_{\text{пр}}(\text{p}) = \frac{e^{-0.05p}}{0.00096p^2 + 0.055p + 1}. \tag{4.9}$$

Передаточная функция асинхронного двигателя со значениями коэффициентов и постоянных времени:

$$W_{\text{эд}}(\text{p}) = \frac{3.13}{0{,}053p + 1}, \tag{4.10}$$

$$W_{\text{мд}}(\text{p}) = \frac{1}{0{,}0244p + 1}. \tag{4.11}$$

Моделирование системы производится в Simulink Matlab.

Математическая модель конвейера по каналу скорость движения ленты представлена на рисунке 4.2.

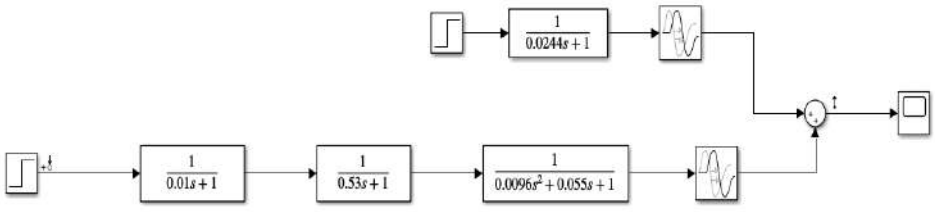


Рисунок 4.2 – Система управления скоростью ленты

Переходной процесс данной системы имеет вид – рисунок 4.3.

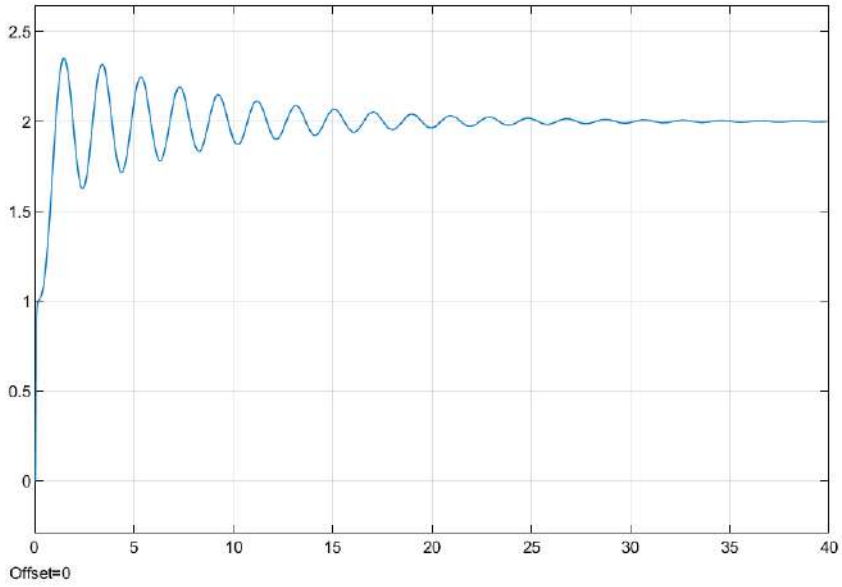


Рисунок 4.3 – Переходной процесс системы без регулятора

4.1 Настройка PI– регулятора

Для обеспечения требуемой динамики переходного процесса в системе необходим регулятор. В данном проекте проведена настройка и исследование PI и PID-регуляторов.

Настройка регулятора выполнена с использованием инструмента PID Tuning (Control System Designer – Tuning Methods). Процесс настройки иллюстрируется на рисунке 4.4.

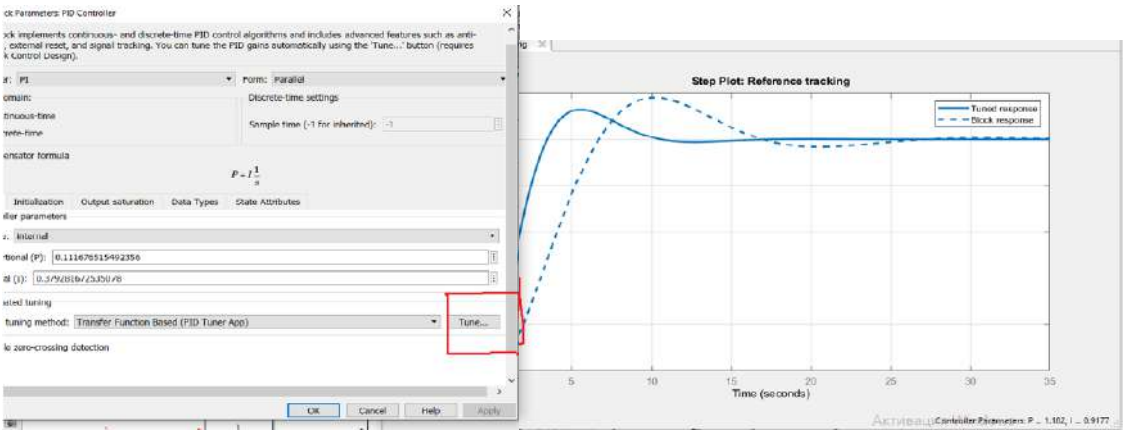


Рисунок 4.4 – Процесс настройки регулятора

Полученные коэффициенты для регулятора скорости:

$$k_p = 0{,}1116,\ k_i = 0.3792.$$

Для регулятора тока:

$$k_p = 0{,}150,\ k_i = 0.3107.$$

Моделируем систему с PI–регулятором – рисунок 4.5

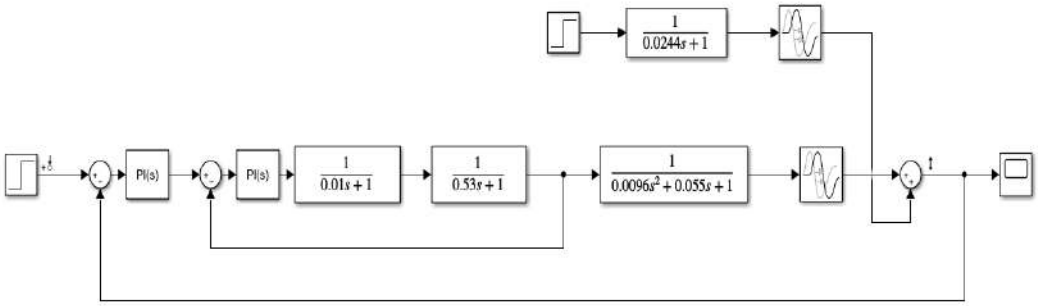


Рисунок 4.5 – Система управления скоростью ленты с PI–регулятором

Получаем график переходного процесса – рисунок 4.6.

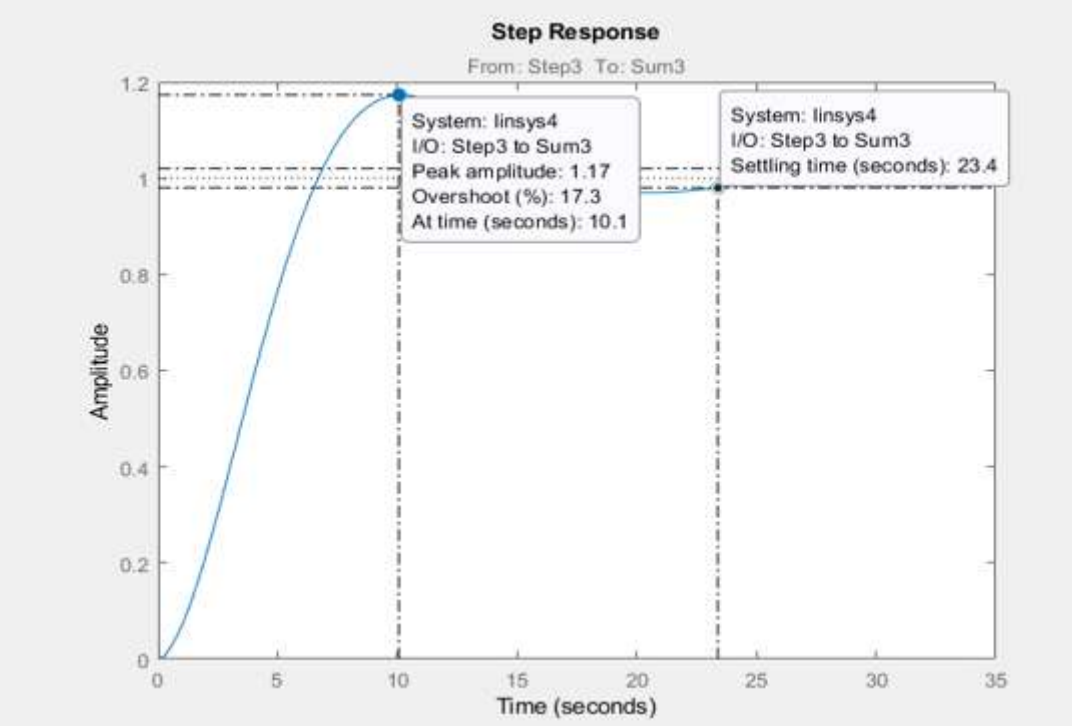


Рисунок 4.6 – Переходной процесс системы с PI–регуляторами

4.2 Настройка PID– регулятора

Для улучшения качества регулирования и уменьшения перерегулирования выполнен синтез PID-регулятора [16]. Процесс настройки показан на рисунке 4.7. Получены следующие коэффициенты PID-регулятора:

k_p = 0,4888;
k_i = 0.0870;
k_d = 0,08707.

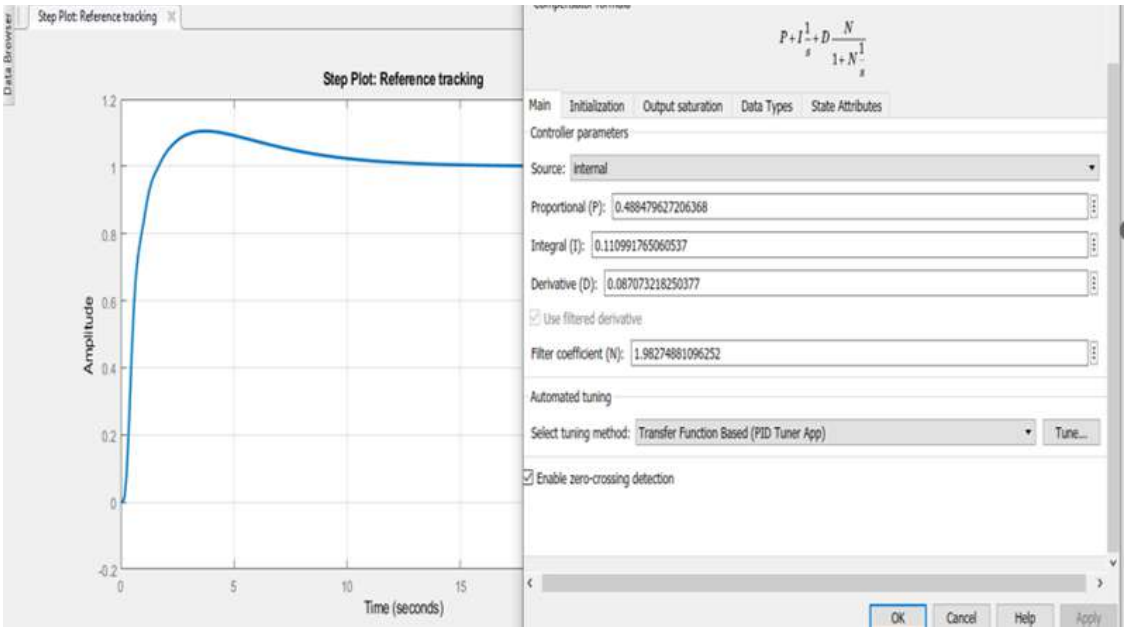


Рисунок 4.7 – Настройка регулятора PID –регулятора

Аналогично настраиваем регулятор скорости. Его коэффициенты равны
k_p = 0,4888;
k_i = 0.0870;
k_d = 0,08707, рисунок 4.8.

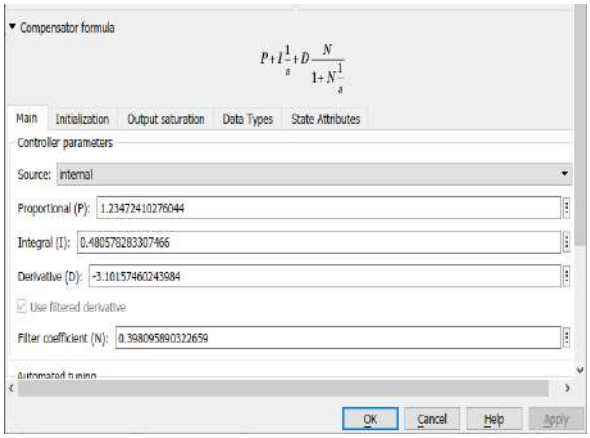


Рисунок 4.8– Коэффициенты регулятора скорости лент

Получаем график переходного процесса – рисунок 4.9.

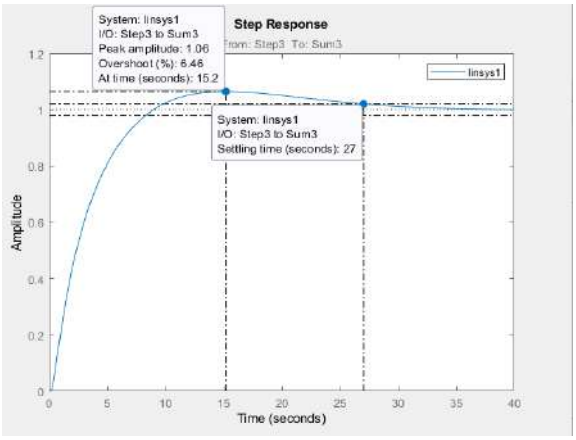


Рисунок 4.9– График переходного процесса системы с PID–регуляторами

На рисунке 4.10 представлено исследование системы с регулятором на устойчивость по амплитуде и фазе. Система устойчива, запасы устойчивости: по амплитуде – 27,9 дБ, по фазе – 149 градусов.

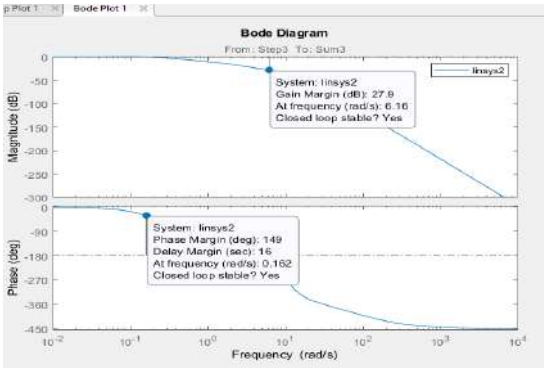


Рисунок 4.10 – ЛАЧХ и ФЧХ системы

4.3 Анализ качества регулирования

На рисунках 4.6 и 4.9 представлены переходные характеристики системы автоматического регулирования (САР) скорости ленты с PI- и PID-регуляторами соответственно. Рассмотрим основные показатели качества регулирования:

Время регулирования:

- для PID-регулятора TpPID=27T_{pPID} = 27TpPID=27 с,
- для PI-регулятора TpPI=23,6T_{pPI} = 23{,}6TpPI=23,6 с;

Перерегулирование:

- у PID-регулятора существенно меньше (примерно на 60%) по сравнению с PI-регулятором.

Несмотря на то, что время регулирования у PID-регулятора несколько больше, чем у PI-регулятора, уменьшение перерегулирования делает его более предпочтительным вариантом для управления скоростью ленты конвейера. Это обеспечивает более плавный и надежный переходный процесс, что важно для предотвращения динамических нагрузок на оборудование.

В данном разделе дипломного проекта была разработана математическая модель конвейера по каналу скорости ленты и проведено её исследование в среде Matlab. В приложении Control System Designer были синтезированы PI и PID-регуляторы для стабилизации скорости конвейера.

На основании анализа переходных процессов с использованием разных регуляторов сделан вывод, что PID-регулятор обеспечивает лучшие показатели качества регулирования за счёт снижения перерегулирования при допустимом увеличении времени регулирования.

5 Создание программы управления

5.1 Требования к алгоритму управления конвейерной линией перегрузочного узла

Автоматизация конвейерных линий выполняется по двум основным схемам:

Дистанционное управление — автоматизируются только пуск и остановка конвейера.

Автоматизированный контроль работы конвейера и его элементов — приводные двигатели автоматически отключаются при нарушении режима работы конвейера или отдельных его компонентов.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к системам автоматизации конвейерных линий [15], разработанная система управления должна обеспечивать следующие функции:

Пуск конвейеров в направлении, обратном грузопотоку, чтобы

исключить образование завала в месте перегрузки. Команда на запуск следующего конвейера выдаётся только после того, как грузонесущий орган запущенного конвейера достигнет номинальной скорости.

Автоматическую остановку всех конвейеров, подающих груз на аварийно остановившийся конвейер, при его аварийной остановке. При этом остальные конвейеры должны продолжать работу, чтобы разгрузить тяговый орган от груза.

Контроль времени пуска конвейеров. В случае затянувшегося пуска конвейер автоматически отключается, а запуск остальных конвейеров предотвращается. Затянувшийся пуск указывает на неисправность электропривода или проскальзывание ленты, что может привести к возгоранию.

Аварийную остановку конвейера и подающих его конвейеров при следующих неисправностях и аварийных состояниях:

- затянувшийся пуск конвейера;
- снижение скорости ленты конвейера;
- обрыв тягового органа;
- перегрузка электродвигателя конвейера;
- перегрев подшипников приводных барабанов;
- образование завала в местах перегрузки;
- сход ленты конвейера.

5.2 Разработка алгоритма

Алгоритм, разработанный в данном диплом проекте отвечает всем требованиям, предъявляемым к пункте 5.1. Он представлен на рисунке 5.1.

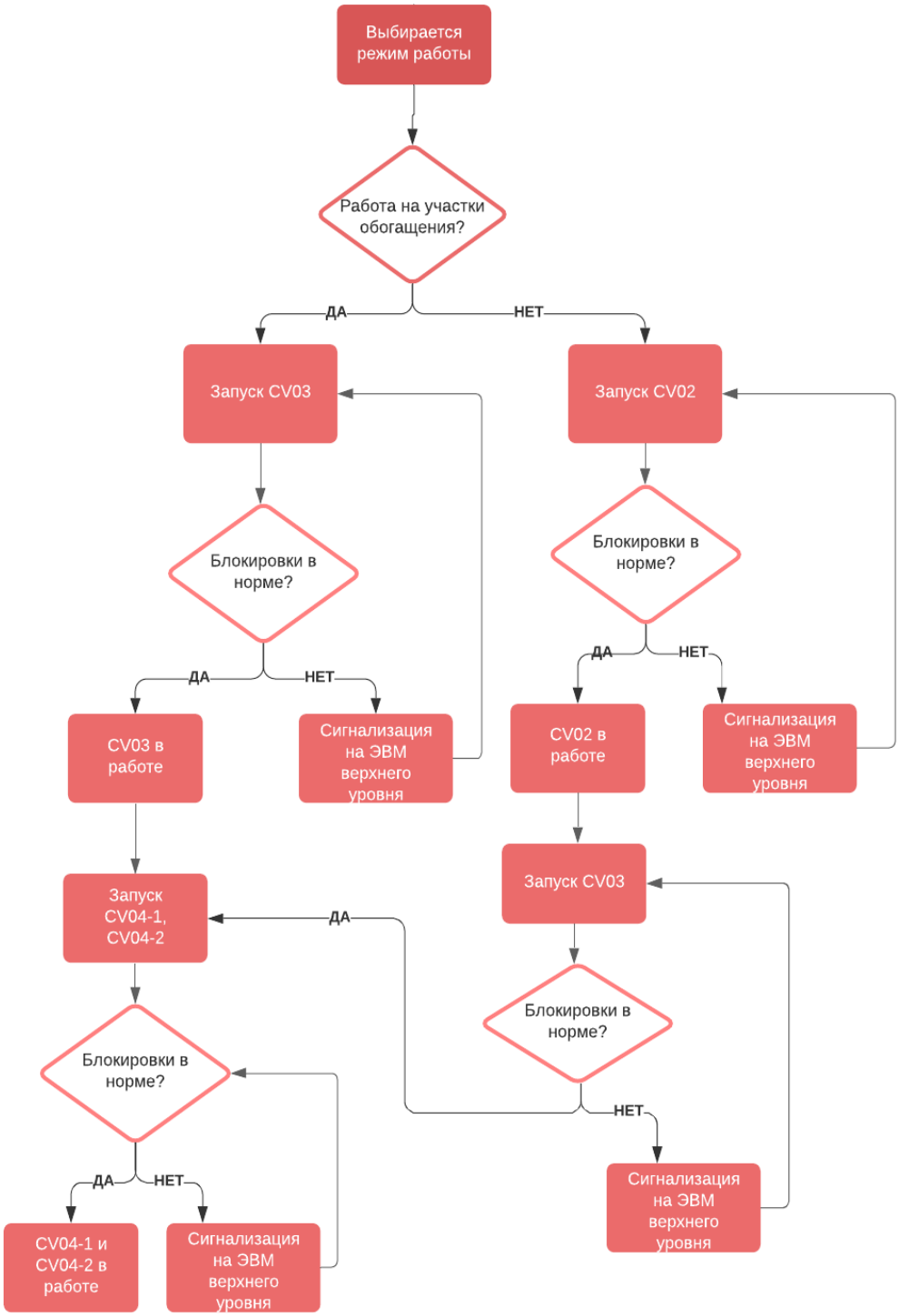


Рисунок 5.1 – Алгоритм работы перегрузочного узла

5.3 Среда TIA – портал

Программная реализация АСУТП перегрузочного узла выполнена в среде TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — современном интегрированном программном комплексе компании Siemens, предназначенном для проектирования и программирования систем автоматизации на базе контроллеров SIMATIC. В данном дипломном проекте

применяется контроллер S7–1200, который поддерживается TIA Portal наравне с контроллерами серий S7–300, S7–400 и S7–1500.

Основной задачей среды TIA Portal является упрощение процесса разработки проектов автоматизации за счёт интеграции всех инструментов в едином пользовательском интерфейсе. Преимущества TIA Portal можно выделить следующим образом:

- Интуитивно понятный интерфейс. Все инструменты сгруппированы логически, что обеспечивает быстрый доступ к необходимым функциям. Интерфейс ориентирован на визуальную работу, минимизируя глубину вложенных структур. Контекстные подсказки и автоматическая проверка корректности снижают вероятность ошибок при проектировании.

- Единое проектное пространство. Все компоненты проекта (контроллеры, HMI, сети, переменные, блоки логики) объединены в единую структуру. Это обеспечивает бесшовную интеграцию между различными частями проекта и исключает необходимость многократного ввода одних и тех же данных, значительно упрощая синхронизацию.

- Гибкая работа с библиотеками. Пользователи могут создавать собственные или использовать стандартные библиотеки, содержащие как программные модули (блоки PLC), так и графические элементы HMI. Это позволяет создавать типовые решения, ускоряя разработку за счёт повторного использования проверенных компонентов.

TIA Portal поддерживает разработку программ на различных языках, включая LAD (релейная логика), FBD (функциональные блоки), SCL (структурированный текст), STL (операторный язык) и GRAPH. Для контроллеров S7–1200, используемых в проекте, доступны LAD, FBD и SCL.

Также в TIA Portal реализована поддержка широкого спектра устройств человеко-машинного интерфейса (HMI), таких как панели серий KTP, KP, TP, а также реализация SCADA-систем на базе WinCC Runtime Advanced и Professional.

Дополнительным преимуществом среды является локализация: начиная с версии 12, TIA Portal имеет полноценную поддержку русского языка, разработанную при участии российского представительства Siemens.

Таким образом, использование TIA Portal в проекте позволяет реализовать автоматизированную систему управления перегрузочным узлом с высокой степенью интеграции, надёжности и гибкости, а также обеспечивает удобство разработки и сопровождения проекта на всех этапах его жизненного цикла.

5.4 Разработка программы управления перегрузочным узлом в TIA–портал

Разработка программного обеспечения для автоматизированной системы управления перегрузочным узлом была выполнена в среде TIA Portal с использованием языка программирования LAD (релейно-контактная логика), входящего в состав пакета Simatic Step 7 V15 Basic. В качестве

примера реализован фрагмент программы, управляющий запуском двух конвейеров: CV01 и CV02, работающих в режиме транспортировки руды на склад («режим на склад»). Алгоритм работы данного участка представлен на рисунке 5.2.

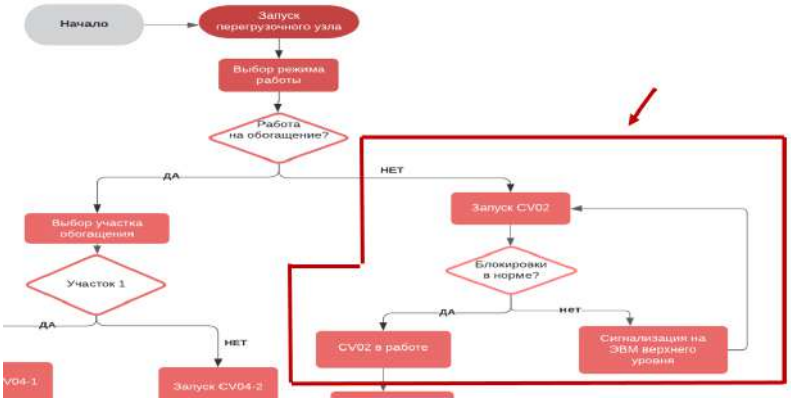


Рисунок 5.2 – Алгоритм запуска конвейеров CV01 и CV02

Основные этапы создания программного обеспечения автоматизированной системы управления (АСУ ТП) включают:

Конфигурацию оборудования (Hardware Configuration):

- выбор и настройка компонентов контроллера;
- выбор CPU (в данном случае – контроллер серии S7–1200);
- добавление модулей питания и модулей ввода/вывода;

Разработку программного обеспечения (Software Development):

- обработка аналоговых сигналов;
- реализация логики управления технологическим оборудованием.

Конфигурация контроллера и состав используемого оборудования представлены на рисунке 5.3.

Рисунок 5.3 – Конфигурация контроллера

На конвейере CV01 установлены весы, сигнал от которых подаётся в контроллер по аналоговому входу. В проекте реализовано масштабирование аналогового сигнала в инженерные единицы (например, в тонны). Этот этап, а

также сравнение полученного значения с заданной уставкой, отражены на рисунке 5.4.

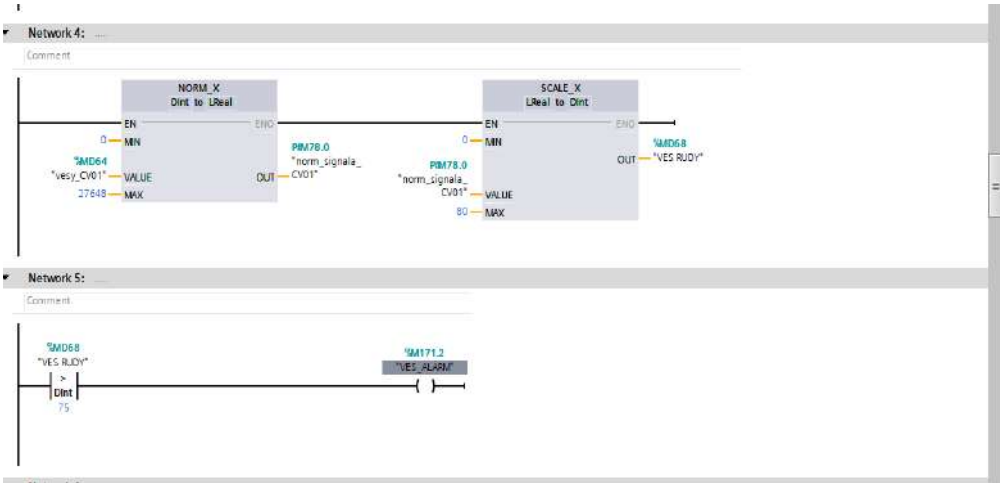


Рисунок 5.4 – Масштабирование и сравнение аналогового сигнала

В network 5 реализовано сравнение сигнала с уставкой. Сигнал может быть использован для сигнализации превышения веса в Scada–системе или логике работы оборудования.

Далее в блоках FB создается алгоритм работы конвейеров.

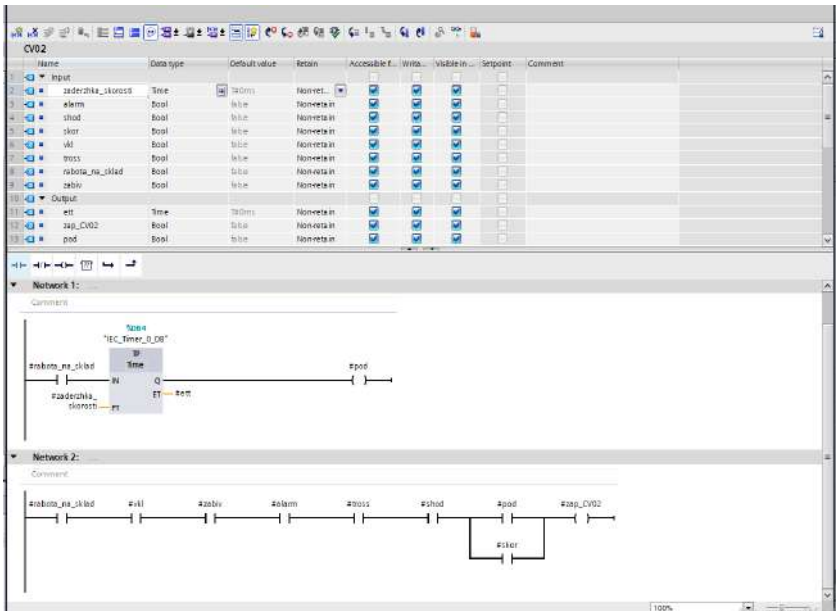
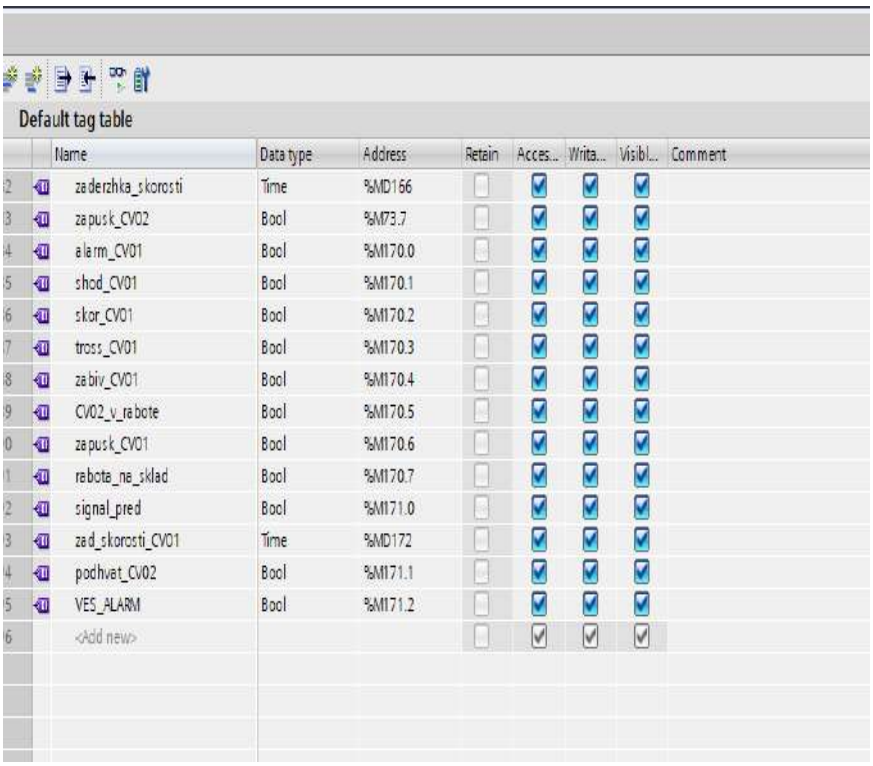


Рисунок 5.5 – Функциональный блок FB CV02

Таймер используется для задержки включения датчика скорости. Фрагменте таблицы тегов представлен на рисунке 5.6.



Default tag table

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
2	zaderzhka_skorosti	Time	%MD166		☑	☑	☑	
3	zapusk_CV02	Bool	%M73.7		☑	☑	☑	
4	alarm_CV01	Bool	%M170.0		☑	☑	☑	
5	shod_CV01	Bool	%M170.1		☑	☑	☑	
6	skor_CV01	Bool	%M170.2		☑	☑	☑	
7	tross_CV01	Bool	%M170.3		☑	☑	☑	
8	zabiv_CV01	Bool	%M170.4		☑	☑	☑	
9	CV02_v_rabote	Bool	%M170.5		☑	☑	☑	
10	zapusk_CV01	Bool	%M170.6		☑	☑	☑	
11	rabota_ne_sklad	Bool	%M170.7		☑	☑	☑	
12	signal_pred	Bool	%M171.0		☑	☑	☑	
13	zad_skorosti_CV01	Time	%MD172		☑	☑	☑	
14	podhvat_CV02	Bool	%M171.1		☑	☑	☑	
15	VES_ALARM	Bool	%M171.2		☑	☑	☑	
16	<Add new>				☑	☑	☑	

Рисунок 5.6 – Таблица тегов

Вызов и процесс отладки программы в организационном блоке OB01

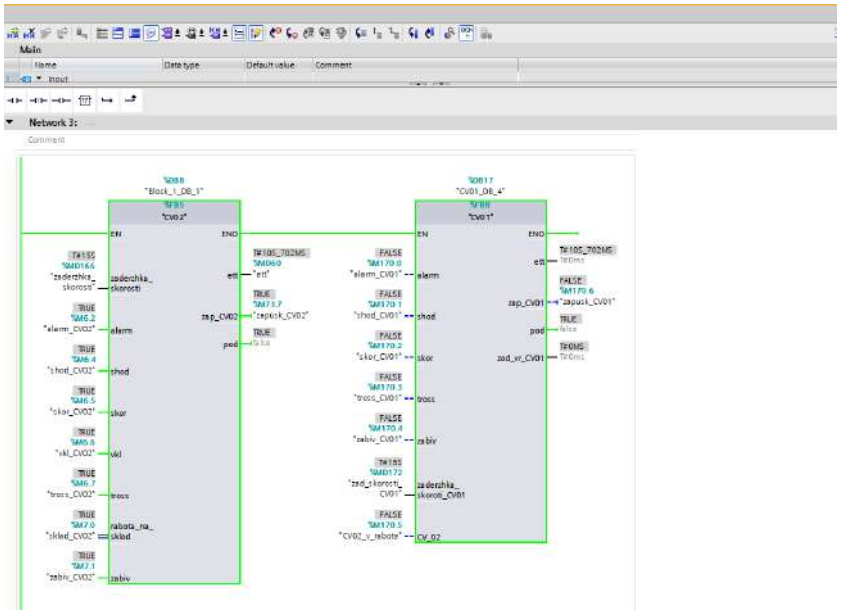


Рисунок 5.7 – Вызов программы в OB01

Таким образом, в данном разделе дипломного проекта реализован фрагмент программы управления перегрузочным узлом, с использованием среды TIA Portal и контроллера Siemens S7–1200. Продемонстрированы основные этапы разработки: от аппаратной конфигурации до логической

реализации в функциональных блоках, что подтверждает практическую применимость выбранного подхода к управлению технологическим процессом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения дипломного проекта была разработана автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) перегрузочным узлом обогатительной фабрики. Разработанная система направлена на упрощение работы обслуживающего персонала, повышение производительности и эффективности функционирования предприятия в целом за счёт автоматизации ключевых участков транспортировки руды. В процессе проектирования были определены основные технологические параметры, подлежащие контролю и регулированию с целью оптимизации процесса перемещения руды. В систему включены средства аварийной сигнализации и автоматического отключения оборудования при возникновении нештатных ситуаций. Разработанная структура системы автоматизации представляет собой централизованную иерархическую модель. В качестве основного управляющего элемента выбран программируемый логический контроллер Siemens SIMATIC S7–1200 с CPU–1212C. Верхний уровень системы визуализации и управления реализован на базе автоматизированного рабочего места оператора, оборудованного встраиваемым промышленным компьютером Simatic Box IPC 427D (монитор FP 15”, процессор Intel Core i7–3517UE, 2 ядра, 4 потока, частота 2,8 ГГц), а также, опционально, панелью оператора SIMATIC HMI KP–700 Comfort.

В рамках проекта произведён выбор необходимых средств автоматизации, разработана функциональная схема системы, алгоритм работы конвейерной линии, а также выполнена программная реализация системы в среде TIA Portal с использованием Simatic Step 7 V15. Программирование продемонстрировано на примере запуска и согласованной работы конвейеров CV01 и CV02. Кроме того, проведено моделирование и анализ системы автоматического регулирования производительности конвейера CV01 путём изменения скорости движения его ленты. Таким образом, предложенная автоматизированная система управления перегрузочным узлом соответствует современным требованиям к производственным системам, позволяет повысить надёжность, безопасность и эффективность технологического процесса, а также обеспечивает экономическую целесообразность её внедрения.

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

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Әділбеков Әліби Нұрсұлтаұлы
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Актуальность разработки автоматизированной системы управления производственными потоками в обогатительном производстве обусловлена необходимостью повышения эффективности работы технологических линий, снижения простоев оборудования и обеспечения стабильности качества конечного продукта. В дипломной работе реализован комплексный подход к автоматизации, включающий современные средства промышленной автоматизации, такие как ПЛК Siemens серии S7, сети Profibus/Profinet и SCADA-системы на базе WinCC, что свидетельствует о современном уровне проекта.

Работа включает теоретическую, расчетную и программно-техническую части, каждая из которых подробно раскрыта и логически взаимосвязана. В теоретической части рассмотрены особенности структуры производственного потока и технологической схемы обогатительного производства. В расчетной части представлены алгоритмы управления и логика работы узлов системы. Отдельное внимание уделено оптимизации работы перегрузочных и транспортных участков с использованием логики на языке LAD и функций диагностирования.

Программная реализация выполнена в среде TIA Portal, где разработан проект для контроллера Siemens S7-1200 (или S7-300), реализованы основные циклы управления в организационных блоках, а также создан интерфейс операторского контроля с визуализацией состояния потоков, аварийной сигнализацией и средствами настройки. Работа оформлена в соответствии с требованиями к выпускным квалификационным проектам и демонстрирует высокий уровень подготовки автора в области автоматизации технологических процессов.

Оценка работы

Дипломная работа Әділбекова Әліби Нұрсұлтанұлы 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. Г.
Даукеева

_____ Оракбаев Е. Ж.

«13» июня 2025г.

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

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

Дипломная работа

Әділбеков Әліби Нұрсұлтанұлы

6В07103 – «Автоматизация и роботизация »

Тема: Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве

Целью данной дипломной работы является разработка автоматизированной системы управления (АСУ) производственных потоков на обогатительном производстве. В рамках выполнения работы были рассмотрены структура производственного процесса, особенности функционирования технологического оборудования, а также принципы построения современных автоматизированных систем управления.

Студентом проведён анализ технологической схемы обогатительного узла, обоснован выбор программно-аппаратных средств автоматизации. Разработана функциональная схема управления, включающая логику работы ленточных конвейеров, датчиков, исполнительных механизмов и сигнальных устройств. В качестве среды проектирования использованы TIA Portal и SIMATIC HMI, что позволило создать полнофункциональную модель системы с визуализацией всех этапов работы.

Особое внимание уделено вопросам безопасности, надёжности и энергоэффективности автоматизированной системы. Студентом были реализованы алгоритмы аварийной остановки, система индикации неисправностей и предусмотрены режимы ручного и автоматического управления.

В ходе выполнения дипломного проекта автор продемонстрировал высокий уровень теоретической подготовки и практических навыков в области автоматизации технологических процессов. Использованные методы и программные средства подобраны обоснованно, а разработанная система управления соответствует современным требованиям к промышленной автоматике. Все поставленные задачи выполнены в полном объёме. Студент проявил инициативность, самостоятельность и способность к решению технически сложных задач.

Дипломный проект Әділбекова Әліби Нұрсұлтанұлы демонстрирует высокий уровень подготовки в области систем автоматического управления и заслуживает присвоение академической степени бакалавра по образовательной программе 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

Научный руководитель
Старший преподаватель
_____ Кулакова Е.А
«13» января 2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Әділбеков Әліби Нұрсұлтанұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 3.2

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 15

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

13.06.25г

проверяющий эксперт

Е. А Кулакова

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: Әділбеков Әліби Нұрсұлтанұлы

Тақырыбы: Разработка автоматизированной системы управления производственных потоков в обогатительном производстве

Жетекшісі: Елена Кулакова

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.2

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.5

Әріптерді ауыстыру: 15

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

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*