

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів

Назва теми

КвРАКІТ.021033.01.06.ПЗ

Рівень вищої освіти перший

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

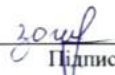
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

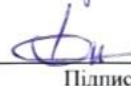
студент IV курсу, групи АКІТ-21-1

  
Підпис

Андрій ЗАХАРЧУК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри АКІТтаР

  
Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 18 » червень 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 15 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Спеціальність 151 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Освітня програма «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Валерій МАРТИНЮК



« 07 » 02 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Захарчуку Андрію Віталійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів

Керівник проекту (роботи) Федула Микола Васильович, к. т. н. доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 №23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 02.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Аналіз відомих методів керування та вибір оптимальних засобів автоматизації

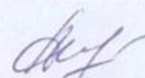

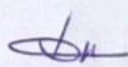
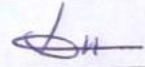
Розробка принципової електричної схеми об'єкта керування

Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення для керування та моніторингу

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

презентаційні слайди ( 12 слайдів)

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

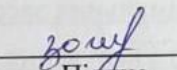
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Людмила КОРЕЦЬКА, доцент кафедри АКІТтаР		
Антиплагіат	Микола ФЕДУЛА, доцент кафедри АКІТтаР		

7. Дата видачі завдання «07»лютого2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

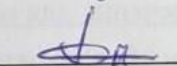
№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	31.12.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю. формулювання мети та задач дослідження. визначення об'єкта та предмета дослідження	10.04.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих методів керування	25.04.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка принципової електричної схеми об'єкта керування	12.05.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – розробка програмного забезпечення керування лінією подачі сипучих матеріалів	20.05.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	24.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	30.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

  
Підпис

Андрій ЗАХАРЧУК  
Ім'я, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Микола ФЕДУЛА  
Ім'я, прізвище

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів».

Автор роботи: Андрій ЗАХАРЧУК.

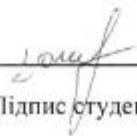
Керівник роботи: Микола ФЕДУЛА

Пояснювальна записка: 75 с., 28 рис., 3 дод., 67 джерел.

Графічна частина: 12 презентаційних слайдів

**ПРИНЦИПОВА СХЕМА, КЕРУВАННЯ, НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ, РЕЗЕРВУВАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, РЕЛЕЙНА ЛОГІКА.**

**Мета роботи:** У рамках розробки пристрою автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів було реалізовано комплексний підхід до забезпечення ефективного та надійного функціонування системи. Ключовим аспектом даної розробки є інтеграція сучасних промислових компонентів, таких як програмовані логічні контролери (ПЛК), датчики положення, частотні перетворювачі та системи візуалізації. Проведений аналіз та розробка принципових електричних схем, а також програмного забезпечення, підтверджують високий рівень автоматизації та функціональності розробленого пристрою. Застосування мови релейно-контактних схем (Ladder Diagram) для програмування ПЛК дозволило створити чітку та надійну логіку керування, що охоплює всі етапи технологічного процесу: від подачі матеріалу до його розподілу по бункерах. Таким чином, розроблений пристрій автоматизованого керування забезпечує оптимізацію логістичних процесів, підвищення продуктивності та безпеки на промислових підприємствах, що працюють з сипучими матеріалами. Він є гнучким та адаптивним рішенням, яке може бути легко інтегроване в існуючі виробничі лінії, мінімізуючи людський фактор та підвищуючи ефективність використання ресурсів.

  
Підпис студента

18.06.2025  
Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ.....	5
1.1 Стрічковий транспортер.....	5
1.2 Односекційний бункер інертних матеріалів.....	9
1.3. Деталізований опис пристрою розподілу сипких матеріалів поворотного типу.....	12
1.4. Пульти дистанційного радіокерування в системі автоматизованої подачі сипких матеріалів.....	15
1.5. Комплекс візуального спостереження на основі відеокамери та дисплея в автоматизованій системі транспортування сипких матеріалів.....	17
1.6 Висновки до першого розділу.....	19
2 СТВОРЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ 3 ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SOLIDWORKS.....	21
2.1. Принципова електрична схема силового кола автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів.....	21
2.2 Принципова схема командного кола.....	24
2.3 Схеми вихідних та вхідних сигналів модуля керування (контролера) CPUXXDIO 8/8 (A1) та A13.....	31
2.4 Висновки до другого розділу.....	38
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ЛІНІЄЮ ПОДАЧІ ІНЕРТНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА SIEMENS TIA PORTAL.....	40
3.1 Конфігурація апаратного забезпечення програмованого логічного контролера в Siemens TIA Portal.....	40
3.1.1 Вибір та основні характеристики контролера SIMATIC S7-1200....	41

КвРАКІТ. 021033.01.06.ПЗ				
Зм.	Лист.	№докум.	Підпис	Дата
Розроб		Захарчук А.В.	<i>Зах</i>	18.08.25
Перевір.		Федула М.В.	<i>Фед</i>	18.08.25
Н контр.		Корецька Л.О.	<i>Л.О.</i>	18.08.25
Затвер.		Мартинюк В.В.	<i>М.В.</i>	18.08.25
Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів Пояснювальна записка				
			Лист	Листів
			2	75
ХНУ, гр. АКІТ-21-1				













## 1.2 Односекційний бункер інертних матеріалів

У складі автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів, бункер для зберігання неактивних гранульованих речовин відіграє ключову роль у забезпеченні безперервного та рівномірного потоку матеріалу на подальші етапи технологічного процесу. В представленому бункері присутня односекційна конструкція [5], в якій передбачено наявність єдиного відсіку для тимчасової акумуляції запасу сипкого матеріалу. Така конструкція є типовою для систем з відносно однорідним типом матеріалу або для етапів технологічного процесу, де не потрібне роздільне зберігання різних компонентів.

Основними функціональними елементами даного бункера є система вібраційного розвантаження та система попереднього просіювання матеріалу.

Система вібраційного розвантаження потрібна для забезпечення ефективного та контрольованого вивантаження сипкого матеріалу з бункера, а також для запобігання таким небажаним явищам, як злежування, утворення аркових ефектів або зависання матеріалу на стінках ємності, бункер обладнано електричним вібраційним пристроєм виробництва компанії OLI [6]. Цей вібратор було встановлено робочу напругу 380 вольт та споживану потужність 0,5 кіловата. Принцип дії електровібратора ґрунтується на створенні механічних коливань певної частоти та амплітуди, які передаються на стінки бункера. Ці коливання збуджують масу сипкого матеріалу, знижуючи його внутрішнє тертя та сприяючи вільному перетіканню до випускного отвору.

Потужність вібратора в 0,5 кВт [7] є оптимальною для бункерів середнього розміру та більшості типів інертних сипких матеріалів. Однак, в конструкції бункера передбачено важливу можливість встановлення додаткового аналогічного вібраційного пристрою. Ця резервна опція може бути затребувана у випадках роботи з матеріалами, що мають особливо виражені адгезійні властивості(здатність матеріалів прилипати до поверхні другого матеріалу на молекулярному рівні) або схильність до утворення стійких агломератів.

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	9
		№докум.	Підпис			

Встановлення другого вібратора дозволить збільшити інтенсивність коливань та забезпечити більш надійне та рівномірне розвантаження навіть складних для транспортування матеріалів. Розміщення вібраторів на корпусі бункера здійснено у стратегічно важливих точках, визначених на основі аналізу потоків матеріалу та зон можливого зависання.

Керування роботою електровібраторів інтегровано в загальну систему автоматизованого керування лінією подачі. Залежно від алгоритму роботи, вібратори можуть активуватися періодично, безперервно під час вивантаження матеріалу або за сигналами від датчиків рівня, що контролюють заповнення бункера або наявність заторів.

Система попереднього просіювання матеріалу є також важливим елементом підготовки сипкого матеріалу до подальших технологічних етапів є його попереднє просіювання з метою видалення небажаних крупних фракцій або випадкових сторонніх включень. Для цієї мети всередині бункера встановлено спеціалізовану просіювальну решітку. Конструкція решітки, розмір її вічок та матеріал виготовлення підібрано відповідно до характеристик оброблюваного сипкого матеріалу та вимог до чистоти кінцевого продукту.

Для підвищення ефективності процесу сепарації, просіювальна решітка також обладнана окремим електричним вібратором виробництва OLI [6] з аналогічними характеристиками – робочою напругою 380 вольт та потужністю 0,5 кіловата. Застосування вібрації до просіювальної поверхні значно інтенсифікує процес поділу матеріалу на фракції. Створювані коливання забезпечують безперервне перемішування шару матеріалу, що знаходиться на решітці, сприяючи швидкому проходженню дрібних частинок через отвори сітки та ефективному затриманню більших фракцій, які потім можуть видалятися з бункера окремо або повертатися на попередні етапи обробки.

Розташування просіювальної решітки всередині бункера безпосередньо над випускним отвором забезпечує автоматизований процес видалення небажаних включень без необхідності ручного втручання. Керування вібратором

просіювальної решітки також інтегровано в загальну систему автоматизації та може бути синхронізовано з процесом вивантаження матеріалу або працювати за окремим алгоритмом.

Окрім основних систем вібрації та просіювання, конструкція односекційного бункера інертних матеріалів [5] включає ряд інших важливих елементів.

Завантажувальний отвір який розташовано у верхній частині бункера та призначено для завантаження вихідного сипкого матеріалу. Розміри та форма завантажувального отвору визначено способом подачі матеріалу (за допомогою стрічкового конвеєра).

Випускний отвір (живильник) розташовано у нижній частині бункера та обладнано пристроєм для контрольованої подачі матеріалу на наступний елемент технологічної лінії (стрічковий конвеєр). Тип живильника (наприклад, шнековий, пластинчастий, вібраційний) визначено характеристиками сипкого матеріалу та вимогами до точності подачі.

Оглядові люки зазвичай розташовано на бічних стінках бункера та призначено для візуального контролю рівня заповнення, стану матеріалу та проведення періодичного обслуговування або очищення внутрішньої порожнини.

Датчики рівня може бути встановлено всередині бункера для контролю рівня заповнення матеріалом та передачі відповідних сигналів до системи автоматизованого керування. Ці датчики можуть використовуватися для оптимізації процесу завантаження та розвантаження, а також для запобігання перепоповненню або повному спустошенню бункера.

Система аспірації (за потреби) потрібна для запобігання пилоутворенню під час завантаження та розвантаження сипких матеріалів бункер може бути обладнано системою аспірації, що включає патрубки для відведення пилу та фільтрувальне обладнання.

### 1.3. Деталізований опис пристрою розподілу сипких матеріалів поворотного типу

У складній структурі автоматизованої лінії для транспортування неструктурованих речовин, поворотний розвантажувач виконує функцію керованого спрямування потоку обробленого або транспортованого матеріалу до різних визначених пунктів призначення. Цей механізм, інтегровано у вихідну частину стрічкового конвеєра, що надає значну гнучкість у керуванні матеріальними потоками, дозволяючи оперативно змінювати напрямок руху сипких речовин між різноманітними технологічними лініями, зонами тимчасового зберігання або станціями пакування готової продукції.

За своєю конструкцією поворотний розвантажувач являє собою складний інженерний вузол, що включає прецизійний приводний механізм та високоточну систему датчиків, призначених для контролю положення.

У приводного вузла обертання (прецизійний приводний механізм) основою функціонування є надійний електричний приводний агрегат, що характеризується вихідною потужністю 0,18 кіловата. Цей привод, як правило, є інтегрованим блоком, що складається з компактного електродвигуна та редукторної передачі. Електродвигун генерує первинний обертальний рух, який через редуктор передається на виконавчий елемент розвантажувача – зазвичай це спеціалізований жолоб, конусоподібна лійка або відкидна секція складної форми. Редуктор виконує ключове завдання зі зменшення високої швидкості обертання валу електродвигуна до оптимальних значень, необхідних для контрольованого повороту розподільного елемента, одночасно значно збільшуючи вихідний крутний момент. Збільшення крутного моменту є необхідною умовою для ефективного подолання інерції маси поворотного механізму та опору, що чинить потік сипкого матеріалу, особливо при значних об'ємах або високій щільності транспортованої речовини.

Прецизійне керування обертанням приводного вузла здійснюється за допомогою команд, що надходять від центрального програмованого логічного контролера (ПЛК) [7] або мікроконтролера, який виступає в ролі інтелектуального ядра всієї автоматизованої системи керування лінією подачі. Відповідно до заданого алгоритму функціонування та сигналів, що надходять від сенсорів положення, ПЛК [7] генерує відповідні керуючі сигнали для приводного механізму, визначаючи необхідний кут повороту розподільного елемента та оптимальну швидкість його досягнення. У більш високотехнологічних системах може бути передбачений зворотний зв'язок від енкодера, встановленого на валу приводного механізму, що забезпечує можливість надзвичайно точного позиціонування розвантажувача в межах усього діапазону його обертання.

Система високоточних датчиків положення використовується для забезпечення надійного та безпомилкового контролю кутового положення поворотного розподільного пристрою, а також для його автоматизованого встановлення у восьми чітко визначених просторових позиціях, використано комплекс індуктивних сенсорів положення моделі АТ1/НР-3ННВК [8]. У кожного з восьми інтегрованих у систему датчиків присутній стандартизований циліндричний корпус з зовнішньою різьбою М30, що значно спрощує їх механічне встановлення та подальше регулювання. Принцип їхньої роботи ґрунтується на здатності виявляти наявність металевих об'єктів у межах їхньої зони чутливості, яка становить 15 міліметрів. Тип вихідного сигналу PNP (Positive-Negative-Positive) вказує на те, що при виявленні металевого об'єкта на вихідному контакті датчика з'являється позитивний електричний потенціал відносно загального проводу. Нормально відкритий (NO - Normally Open) тип електричного контакту означає, що у відсутності металевого об'єкта в зоні чутливості датчика електричний сигнал на його виході відсутній. Електричне з'єднання датчиків із системою керування здійснюється за допомогою

стандартизованих роз'ємів M12, що забезпечує швидке, надійне та герметичне підключення.

Розміщення восьми індуктивних сенсорів положення [8] виконано таким чином, щоб кожен з них активувався при досягненні поворотним розподільним елементом строго визначеного кутового положення, яке відповідає одному з восьми можливих пунктів вивантаження сипкого матеріалу. У процесі обертання розподільного елемента повз ці датчики, вони генерують дискретні електричні сигнали, які з мінімальною затримкою передаються на відповідні вхідні канали програмованого логічного контролера (ПЛК) [7] або мікроконтролера. Центральний керуючий пристрій, здійснюючи безперервний аналіз комбінації активних та пасивних сигналів, що надходять від усіх восьми датчиків, з високою точністю визначає поточне кутове положення поворотного розвантажувача.

На основі отриманої інформації про фактичне просторове положення розподільного елемента та відповідно до закладеного в програму ПЛК [7] алгоритму функціонування системи, центральний керуючий пристрій генерує відповідні керуючі сигнали для приводного механізму обертання, забезпечуючи його переміщення до необхідного кута, що відповідає обраному пункту призначення для вивантаження сипкого матеріалу. Після досягнення заданого кутового положення, ПЛК [7] ініціює фіксацію приводного механізму в цьому стані, забезпечуючи стабільне та безпомилкове спрямування потоку сипкої речовини. Використання восьми дискретних датчиків положення є ефективним та надійним способом реалізації функції позиціонування розподільного пристрою для восьми різних напрямків вивантаження матеріалу. У більш складних промислових установах можуть застосовуватися абсолютні енкодери, які забезпечують безперервну інформацію про точне кутове положення в усьому діапазоні обертання розвантажувача, що надає значно більшу гнучкість та точність керування процесом розподілу сипких матеріалів.

Інтеграція поворотного розвантажувача з автоматизованою системою керування значно підвищує продуктивність та адаптивність усього процесу

подачі сипких матеріалів. Оператор отримує можливість оперативно змінювати напрямок матеріального потоку за допомогою зручного пульта керування, а сама система здатна автоматично перенаправляти матеріал залежно від поточних потреб виробничого циклу або вимог логістики складського господарства. Застосування надійних приводних механізмів та високоточних датчиків положення гарантує стабільну та безвідмовну роботу поворотного розвантажувача протягом тривалого періоду експлуатації в умовах інтенсивного промислового використання.

#### 1.4. Пульт дистанційного радіокерування в системі автоматизованої подачі сипких матеріалів

У складі розглядуваного пристрою автоматизованого керування лінією подачі сипких матеріалів достатньо важливу роль у забезпеченні оперативного контролю та гнучкості управління відіграє пульт дистанційного радіокерування [9]. Цей портативний пристрій надає оператору можливість здійснювати ключові керуючі функції системи на відстані, підвищуючи безпеку та зручність експлуатації обладнання.

Пульт радіокерування [9] є компактним пристроєм, ергономічно розробленим для зручного тримання та використання в умовах промислового середовища. Він оснащений набором кнопок, перемикачів або джойстиків, кожному з яких призначено певну функцію керування елементами автоматизованої лінії.

Можливість керування транспортером. Пульт, як правило, включає елементи керування запуском та зупинкою стрічкового конвеєра. Це дозволяє оператору ініціювати або припиняти подачу матеріалу з будь-якої зручної точки в межах радіусу дії сигналу. Залежно від складності системи, можуть бути передбачені кнопки для регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки, забезпечуючи адаптацію продуктивності лінії до поточних потреб.

Керування поворотним розвантажувачем щоб забезпечити гнучкий розподіл сипких матеріалів по різних напрямках, пульт радіокерування може мати елементи керування поворотним механізмом розвантажувача. Це можуть бути кнопки для вибору одного з попередньо заданих положень розвантажувача або джойстик для плавного регулювання кута його повороту. Візуальне підтвердження обраного положення може відобразитися на невеликому дисплеї пульта або на головному інтерфейсі оператора (НМІ).

Активація аварійної зупинки є критично важливим елементом безпеки є наявність на пульті радіокерування кнопки аварійної зупинки, яка при натисканні миттєво блокує роботу всіх активних елементів системи – конвеєра, вібраторів бункера, поворотного розвантажувача тощо. Це забезпечує можливість швидкого реагування на небезпечні ситуації з будь-якої точки робочої зони.

Додаткові функції керування залежно від специфічних вимог технологічного процесу, пульт радіокерування має додаткові кнопки або перемикачі для керування іншими елементами системи, такими як вібратори бункера (вмикання/вимикання, регулювання інтенсивності), заслінки регулювання потоку або інше допоміжне обладнання.

Пульт радіокерування [9] обмінюється даними з центральним контролером (ПЛК [7] або мікроконтролером) через бездротовий радіоканал. При натисканні оператором певної кнопки на пульті, генерується радіосигнал, який приймається приймачем, підключеним до контролера. Контролер, відповідно до отриманої команди, виконує необхідну дію, активуючи відповідні виконавчі механізми системи.

Використання радіокерування забезпечує ряд переваг, завдяки чому підвищено мобільність оператора, стало можливим контролювати процес з безпечної відстані або з оптимальної точки спостереження, а також оперативно реагувати на нештатні ситуації. Сучасні пульти радіокерування [8]

характеризуються високою надійністю зв'язку, захищеністю від перешкод та низьким енергоспоживанням.

### 1.5. Комплекс візуального спостереження на основі відеокамери та дисплея в автоматизованій системі транспортування сипких матеріалів

У складі автоматизованої системи керування процесом переміщення неструктурованих речовин свою відведену роль у забезпеченні своєчасного візуального контролю відіграє комплекс, що включає в себе відеокамеру [10] та монітор [11]. Ця підсистема надає можливість оператору безперервно відстежувати ключові етапи технологічного циклу, дозволяючи оперативно ідентифікувати та реагувати на будь-які відхилення від встановлених параметрів або потенційні ускладнення.

Відеокамера [10], як складова частина даного комплексу, встановлюється в стратегічно важливій точці вздовж лінії транспортування сипких матеріалів. Її місце розташування визначено таким чином, щоб забезпечити оптимальний огляд однієї або декількох ключових зон.

Зона завантаження накопичувальної ємності для нагляду за процесом надходження вихідної речовини до бункера, запобігання його переповненню або виникненню блокувань у вхідному отворі.

Ділянка стрічкового транспортера для візуальної оцінки стану речовини на стрічці, контролю рівномірності її розподілу, виявлення можливих просипань або сторонніх об'єктів.

Вхідна або вихідна секція поворотного розподільника для спостереження за процесом розподілу речовини, контролю коректності спрямування потоку до визначеного пункту призначення та виявлення можливих засипань або блокувань.

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	17
		№докум.	Підпис			



Інтеграція комплексу візуального спостереження [10-11] в автоматизовану систему керування лінією транспортування сипких матеріалів є важливим фактором забезпечення ефективності, безпеки та надійності технологічного процесу, надаючи оператору необхідну візуальну інформацію для прийняття своєчасних та обґрунтованих управлінських рішень.

#### 1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі було здійснено аналіз та представлено основні компоненти автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів. Цей інтегрований комплекс розроблений для оптимізації виробничих процесів, де ключову роль відіграє контрольоване переміщення неструктурованих речовин. Було розглянуто взаємодію центральних підсистем, а саме: стрічкового конвеєра, односекційного бункера, поворотного розподільного пристрою, а також допоміжних засобів дистанційного керування та візуального моніторингу [1, 5, 9, 10, 11].

Детально описано функціонування стрічкового конвеєра, включаючи його приводний блок з електродвигуном та редуктором [1], систему регулювання швидкості за допомогою частотного перетворювача [2], а також елементи безпеки – електромагнітне гальмо та аварійні тросові вимикачі [3, 4], що забезпечують надійну зупинку. Проаналізовано особливості односекційного бункера [5], його систему вібраційного розвантаження та попереднього просіювання за допомогою електровібраторів OLI [6, 7], які гарантують безперебійний потік матеріалу.

Окрема увага приділена поворотному розподільному пристрою, що забезпечує точне спрямування матеріалу до восьми різних пунктів призначення. Його робота ґрунтується на прецизійному приводному механізмі та комплексі індуктивних датчиків положення [8], керованих програмованим логічним контролером (ПЛК) [7]. Важливість дистанційного радіокерування [9] та

комплексу візуального спостереження (відеокамера [10] та дисплей [11]) підкреслена як засоби підвищення оперативності, мобільності оператора та безпеки всієї системи.

Таким чином, перший розділ дає цілісне уявлення про архітектуру та функціонал автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів. Описані компоненти, їх технічні особливості та взаємодія спрямовані на забезпечення ефективності, надійності та безпеки виробничого процесу завдяки інтеграції сучасних автоматизованих рішень.

## 2 СТВОРЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ SOLIDWORKS

2.1. Принципова електрична схема силового кола автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів

Сучасні вимоги до промислових систем автоматизації передбачають не лише ефективність і продуктивність, але й безпеку, надійність та чітку логіку керування [12]. Саме тому розробка принципової електричної схеми [13] є обов'язковим етапом у проектуванні будь-якого автоматизованого комплексу. Така схема служить основою для реалізації як силових, так і сигнальних з'єднань між окремими компонентами обладнання, дозволяє уніфікувати підключення пристроїв та забезпечує відповідність технічним і нормативним вимогам [4].

У випадку лінії попередньої подачі інертних матеріалів, принципова електрична схема відіграє ключову роль, оскільки система містить низку виконавчих механізмів (електродвигуни, вібратори, приводи), а також великий масив керувальних сигналів від датчиків і пристроїв безпеки [15]. Без наочної і структурованої схеми неможливо забезпечити правильне з'єднання елементів, а також швидко локалізувати можливі відмови або несправності під час експлуатації [16].

Вибір саме такої структури схеми, яка реалізована в цьому проєкті, обумовлений складністю технологічного процесу, необхідністю централізованого керування та застосуванням частотного регулювання для електроприводів [17]. Розроблена схема повністю відповідає логіці автоматизованої роботи системи, включаючи пуск, зупинку, аварійні режими та інтеграцію з контролером ПЛК [7]. Крім того, вона створена з урахуванням принципів модульності [18], що полегшує обслуговування, оновлення та масштабування системи в майбутньому.

Принципова схема силового кола [13] автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів включає низку ключових компонентів, кожен з яких виконує визначену функцію в системі живлення і керування електроприводами [19].

Прорисовка схеми починається згори, зображенням клемної колодки X1 [20], через яку здійснюється підключення трифазного живлення (фази А, В, С, нуль N та захисний PE) [21]. Від клем живлення дроти ведуть до розмикача навантаження Q1 (63А) [22], який забезпечує ручне відключення всієї установки. Від нього живлення розподіляється на чотири окремі канали для підключення електродвигунів (рисунок 2.1). Для детального представлення клемної колодки X1 і її внутрішніх з'єднань див. Додаток А.

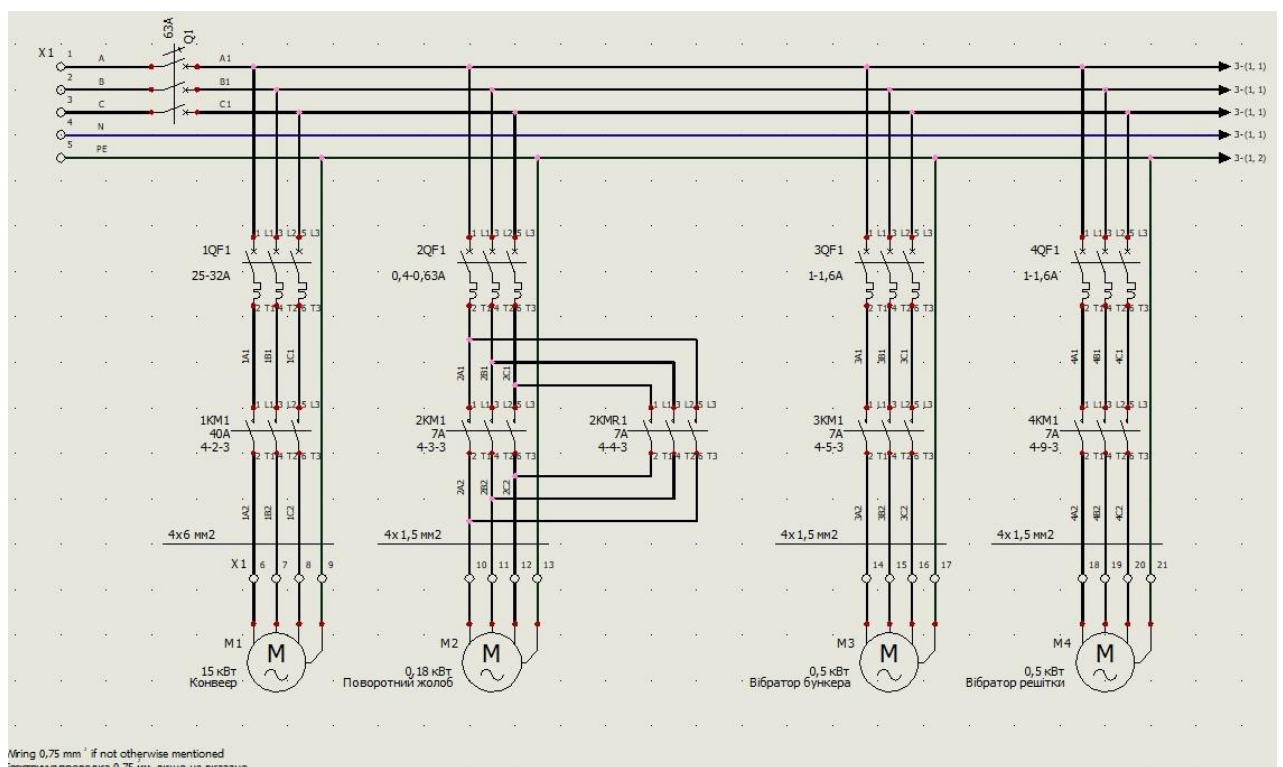


Рисунок 2.1 – Схема силового кола автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів

Як видно з рисунку 2.1, до складу схеми входить велика кількість комутаційних пристроїв.

Є пристрої які являються ключовими для забезпечення електричної безпеки та довговічності системи. Такими пристроями є автомати захисту двигунів (АВЗД) [23], кожен з яких відповідає за захист відповідного електродвигуна від перевантажень, коротких замикань та перевищення струму (рисунок 2.1):

- 1QF1 – захист потужного двигуна (15 кВт) конвеєра;
- 2QF1 – захист двигуна поворотного жолоба (0,18 кВт) ;
- 3QF1 і 4QF1 – захист вібраторів (по 0,5 кВт) [6].

Контактори (пускарі) [24] забезпечують увімкнення або вимкнення електродвигунів за командою від системи керування. Вони дозволяють дистанційно подавати напругу на двигуни через замикання силових контактів (рисунок 2.1.):

- 1KM1 – вмикає конвеєр (M1) ;
- 2KM1 – головний пускар поворотного жолоба (M2) ;
- 2KMR1 — контактор реверсування який працює у парі з 2KM1 для реалізації функції реверсу двигуна M2 (поворотного жолоба) [25]. Зміна напрямку обертання досягається шляхом зміни черговості фаз на вході двигуна;
- 3KM1, 4KM1 – пускарі для вібраторів бункера (M3) та решітки (M4).

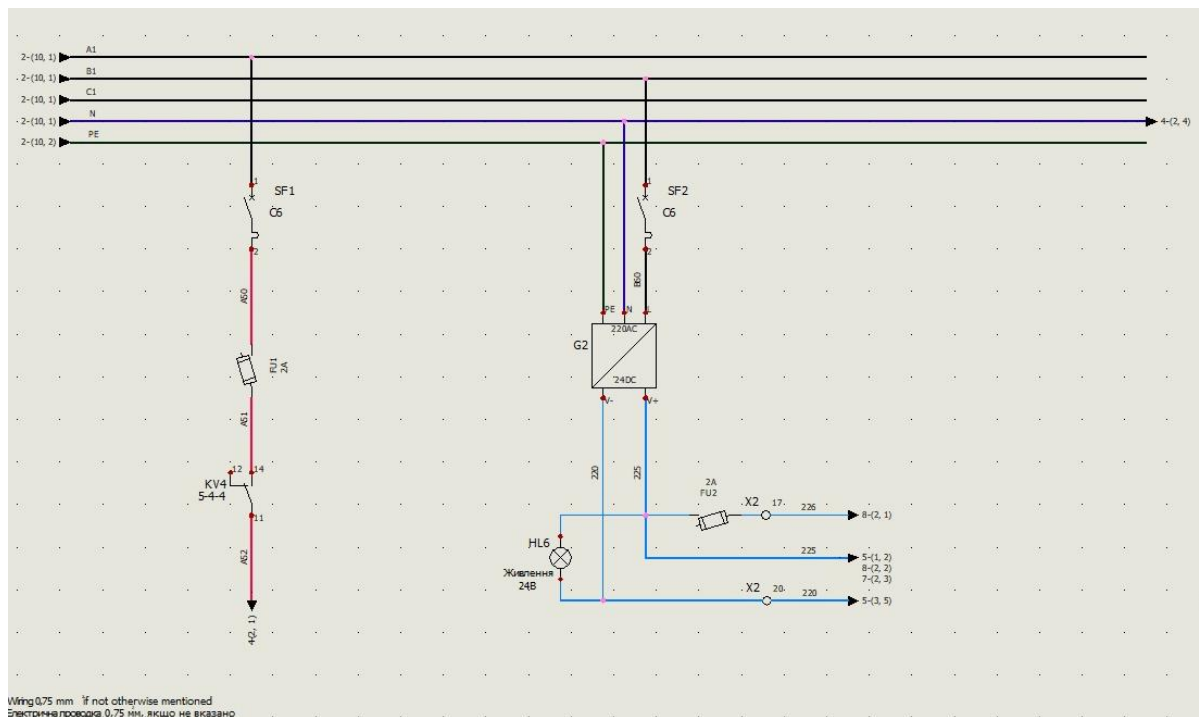
M1 – M4 це електродвигуни. Ці двигуни є виконавчими механізмами (рисунок 2.1.).

- M1 – основний двигун конвеєра (15 кВт)[1] ;
- M2 – двигун поворотного жолоба (0,18 кВт), що потребує реверсування;
- M3 – вібратор, встановлений на бункері (0,5 кВт)[5] ;
- M4 – вібратор просівної решітки (0,5 кВт)[6] .

Усі двигуни підключені через клеми Х1[20], що спрощує монтаж та обслуговування обладнання. Захисні та комутаційні пристрої підібрані згідно з номінальними характеристиками кожного споживача, що дозволяє забезпечити надійність і безпеку роботи всієї системи[4].

## 2.2 Принципова схема командного кола

Окрім силової частини, в системі автоматизованого керування передбачено окрему схему командного кола [13], яка забезпечує живлення елементів керування, індикації та логіки, а також взаємодію із зовнішніми пристроями. Принципова схема наведена на рисунку 2.2 та є ключовою для роботи контролера, реле та сигнальних пристроїв.



Рисунк 2.2 – Принципова електрична схема кола живлення та захисту командного кола

Схема починається з автоматичного вимикача SF1 [26], який служить для захисту та ручного увімкнення низьковольтного кола. Далі струм проходить через плавкий запобіжник FU1 [27], після чого подається на котушку електромагнітного реле KV4, яке забезпечує керування певним зовнішнім колом

(наприклад, увімкнення виконавчого елемента через замикання контактів 12–14).

У правій частині схеми знаходиться вузол живлення постійного струму. Живлення 220 В надходить до блоку живлення G2 [28], який перетворює змінну напругу у стабілізовану 24 В DC. Цей блок оснащений окремим захистом — автоматичним вимикачем SF2 [26], що забезпечує безпеку при обслуговуванні або несправностях (рисунок 2.2).

На виході блоку живлення G2 підключено світлосигнальну арматуру HL6 [29], яка вказує на наявність напруги 24 В у системі. Це важливо для оперативного контролю стану живлення допоміжних ланцюгів.

Додатковий запобіжник FU2 номіналом 2 А застосовується для захисту споживачів постійного струму, підключених через клемник X2 (Для детального представлення клемної колодки X2 і її внутрішніх з'єднань див. Додаток Б). Усі виходи мають відповідне маркування, що полегшує обслуговування та дозволяє чітко ідентифікувати напрямки сигналів у загальній структурі схеми (рисунок 2.2).

Таким чином, ця частина схеми формує командну (керуючу) підсистему, від якої залежить функціонування логічного обладнання, релейного захисту та операторської індикації [7].

На рисунку 2.3 представлено командну частину принципової електричної схеми, яка відповідає за логіку керування виконавчими механізмами лінії подачі інертних матеріалів. Схема побудована на базі електромагнітних реле [30] та контакторів, що забезпечують узгоджену роботу конвеєра, поворотного жолоба та вібраційного обладнання.

Коло живлення логічної частини починається з шини A52 (фаза) та N (нейтраль), після чого через контактні групи електромагнітних реле KV1, KV2, KVR2, KV3 (рисунок 2.3) подається напруга на котушки відповідних контакторів.

Кожне електромагнітне реле має свою основну функцію:

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	25
		№докум.	Підпис			

- 1KM1 – вмикає конвеєр;
- 2KM1 – обертання жолоба в один бік (наприклад, вліво) ;
- 2KMR1 – реверсивне обертання жолоба (вправо) ;
- 3KM1 – вмикає вібратор решітки;
- 4KM1 – вмикає вібратор бункера.

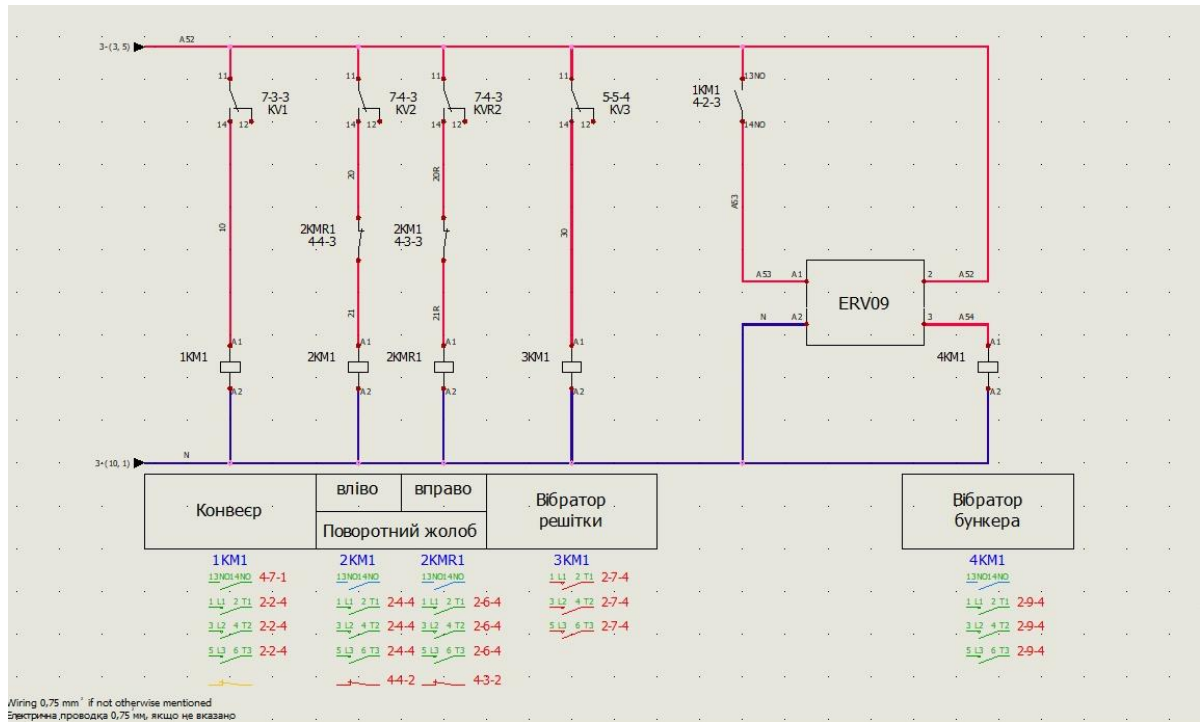


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема командного кола керування виконавчими механізмами лінії подачі сипучих матеріалів

Електромагнітні реле KV1–KV3 [30] слугують проміжними керувальними елементами, які отримують сигнали від зовнішніх кнопок [31], ПЛК [7] або пульта радіокерування [9] (рисунок 2.3).

Особливістю цієї схеми є використання реверсивного реле KVR2 [25], яке забезпечує перемикання напрямку обертання двигуна поворотного жолоба за рахунок чергування фаз на пускачах 2KM1 та 2KMR1. Таким чином реалізується двосторонній поворот.

Окрему увагу слід звернути на реле часу ERV09 [32], яке активується після замикання контакту 13NO контактора 1KM1 (тобто після запуску конвеєра). Після певної затримки воно замикає свій вихідний контакт, подаючи керування на 4KM1 (вібратор бункера). Це дозволяє автоматично запускати вібратор лише після пуску конвеєра та з затримкою, що оптимізує процес вивантаження. Кожна котушка пускача захищена і комутується незалежно, що дає змогу гнучко змінювати логіку роботи системи. Зв'язки між реле і котушками чітко структуровані, з дотриманням принципів кольорового маркування (рисунок 2.3).

На рисунку 2.4 представлена принципова електрична схема, що деталізує функціональність кола керування, відповідального за систему аварійної зупинки [3] та активацію вібраційного механізму просіювальної решітки. Цей сегмент електричної схеми є критично важливим для гарантування безпечної експлуатації обладнання та для підтримки ефективності технологічного процесу.

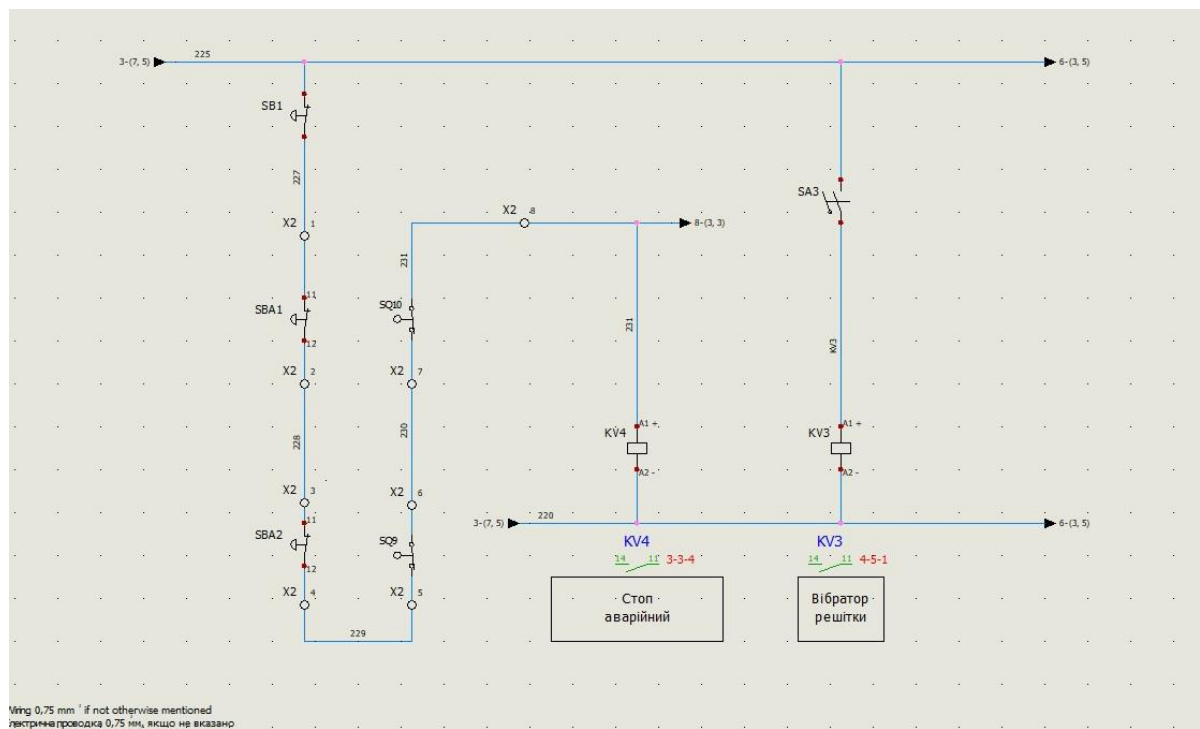


Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема кола аварійної зупинки та керування вібратором просіювальної решітки



подальшої логіки блокування системи. Інформація про стан цього реле може також передаватися до головного модуля керування.

KV3 – електромагнітне реле [30], основне призначення якого полягає в керуванні функціонуванням вібратора просівної решітки [6]. Котушка цього реле отримує живлення через нормально розімкнений контакт двопозиційного перемикача SA3 [31]. Перемикач SA3 надає оператору можливість прямого, ручного вмикання або вимикання вібраційного механізму решітки, що дозволяє оптимізувати процес просіювання матеріалу відповідно до поточних технологічних потреб.

Таким чином, представлений сегмент електричної схеми забезпечує реалізацію життєво важливого функціоналу безпеки через систему послідовно включених кнопок аварійної зупинки та кінцевих вимикачів [33]. Одночасно він надає оперативний контроль над вібратором решітки, що є суттєвим для тонкої налажки процесу просіювання.

У процесі розробки системи керування автоматизованою лінією подачі сипучих матеріалів було приділено особливу увагу інтеграції центрального процесорного модуля. На рисунку 2.5 представлено принципову електричну схему підключення модуля керування CPUXXDIO 8/8 [7], що є ключовим елементом реалізації логіки роботи всього комплексу. Вибір саме цього типу модуля зумовлений його функціональними можливостями та відповідністю поставленим технологічним завданням.

Підключення модуля CPUXXDIO 8/8 до джерела живлення здійснено з урахуванням вимог до стабільності та надійності [35]. Модуль отримує змінну напругу 220 В, що подається на клеми Н (фаза) та L (нейтраль), забезпечуючи живлення внутрішніх електронних компонентів контролера. Заземлення корпусу модуля реалізовано через клему PE [21], що є обов'язковою умовою для забезпечення електробезпеки та стабільної роботи електронного обладнання, мінімізуючи вплив електромагнітних завад [36].

Важливим аспектом є забезпечення належного перерізу провідників [37], що підводять живлення до контролера. Як зазначено на схемі, використано електричні провідники перерізом 0,75 мм<sup>2</sup>, якщо інше не вказано, що є достатнім для надійного живлення модуля з урахуванням його споживаної потужності. З'єднання виконано з дотриманням нормативних вимог [4], що гарантує безперебійне надходження енергії до керуючого пристрою.

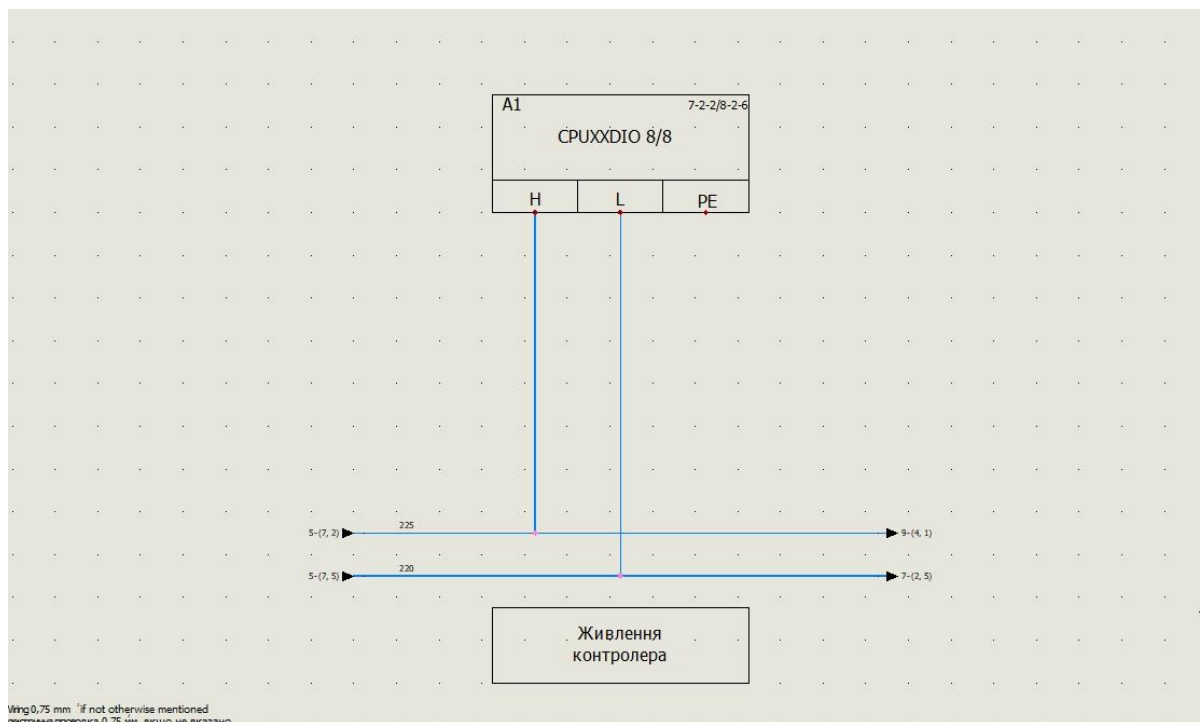


Рисунок 2.5 – Принципова електрична схема підключення модуля керування (контролера) CPUXXDIO 8/8

Принципова схема підключення відображає лише зовнішні виводи живлення модуля. Внутрішня структура контролера, що включає процесор, пам'ять та вбудовані модулі вводу/виводу, забезпечує обробку сигналів від датчиків, виконання закладеного алгоритму керування та формування команд для виконавчих механізмів, які були розглянуті в попередніх підрозділах [7]. Цей

модуль є центральною ланкою, що об'єднує всі компоненти системи в єдиний автоматизований комплекс [18].

2.3 Схеми вихідних та вхідних сигналів модуля керування (контролера) CPUXXDIO 8/8 (A1) та A13

Для реалізації комплексного керування та індикації стану автоматизованої лінії було розроблено принципову електричну схему вихідних підключень модуля керування CPUXXDIO 8/8 [7], представлену на рисунку 2.6. Цей сегмент схеми демонструє безпосередній зв'язок між програмною логікою контролера та виконавчими елементами низьковольтного кола.

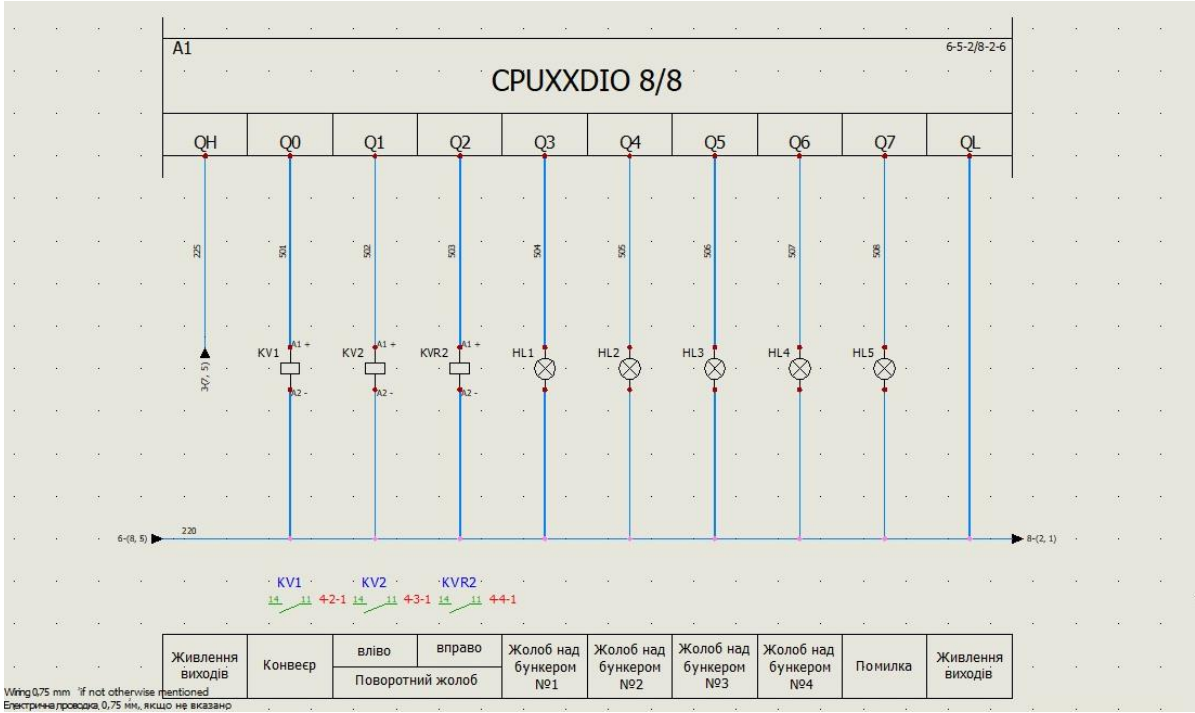


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема вихідних сигналів модуля керування (контролера) CPUXXDIO 8/8

Виходи контролера, позначені як Q0–Q7, а також спеціальні виводи живлення QH та QL, забезпечують подачу керуючих сигналів на різні компоненти системи. Живлення для вихідних модулів подається через клема QH (фаза 225 В) та QL (нейтраль) [21], що гарантує стабільну роботу вихідних каскадів контролера. Кожен з дискретних виходів контролера (Q0–Q7) підключений до відповідної котушки реле [30] або світлосигнальної арматури [29], що дозволяє контролеру дистанційно активувати необхідні функції (рисунок 2.6).

Вихід Q0 керує котушкою електромагнітного реле KV1[30], яке відповідає за активацію механізму конвеєра. Це забезпечує програмний контроль над запуском та зупинкою основного транспортного елементу.

Вихід Q1 підключено до котушки електромагнітного реле KV2[30], призначеного для керування рухом поворотного жолоба "вліво".

Вихід Q2 задіює котушку електромагнітного реле KVR2[25], що забезпечує рух поворотного жолоба "вправо". Таким чином, програмний алгоритм контролює реверсивний рух жолоба, забезпечуючи точне позиціонування для вивантаження матеріалу.

Виходи Q3, Q4, Q5, Q6 послідовно підключені до світлосигнальних арматур HL1, HL2, HL3, HL4 відповідно[29]. Ці індикатори, що працюють від напруги 24 В, ймовірно, відображають стан наповнення або рівень матеріалу в бункерах (наприклад, "Жолоб над бункером №1" і т.д.). Їхнє використання значно спрощує візуальний контроль за технологічним процесом для оператора.

Вихід Q7 керує світлосигнальною арматурою HL5 [29], яка призначена для індикації аварійних ситуацій або помилок у системі [38]. Це дозволяє оперативно реагувати на несправності та вживати заходів для їх усунення.

Усі з'єднання виконано провідниками перерізом 0,75 мм<sup>2</sup> [37], що відповідає вимогам до низьковольтних керуючих кіл. Завдяки цій схемі, контролер отримує можливість не лише аналізувати вхідні дані [7], але й активно впливати на роботу виконавчих механізмів та забезпечувати оператора

необхідною візуальною інформацією, що є фундаментом для повноцінної автоматизації [12].

Для забезпечення належного функціонування автоматизованої лінії та збору даних про її поточний стан, було розроблено принципову електричну схему підключення вхідних дискретних сигналів до модуля керування CPUXXDIO 8/8 [7], що наведено на рисунку 2.7. Цей вузол є критично важливим для отримання контролером інформації від польових пристроїв та операторських команд. Вхідні сигнали надходять на відповідні клеми контролера, позначені як I0–I7. Загальне живлення для вхідних ланцюгів забезпечується через клему S/S (Source/Sink), що дозволяє адаптувати підключення датчиків різного типу [15]. Підключення здійснюється від шин живлення 220 В та 225 В, що гарантує стабільну роботу індуктивних датчиків [8] та сигнальної арматури [29].

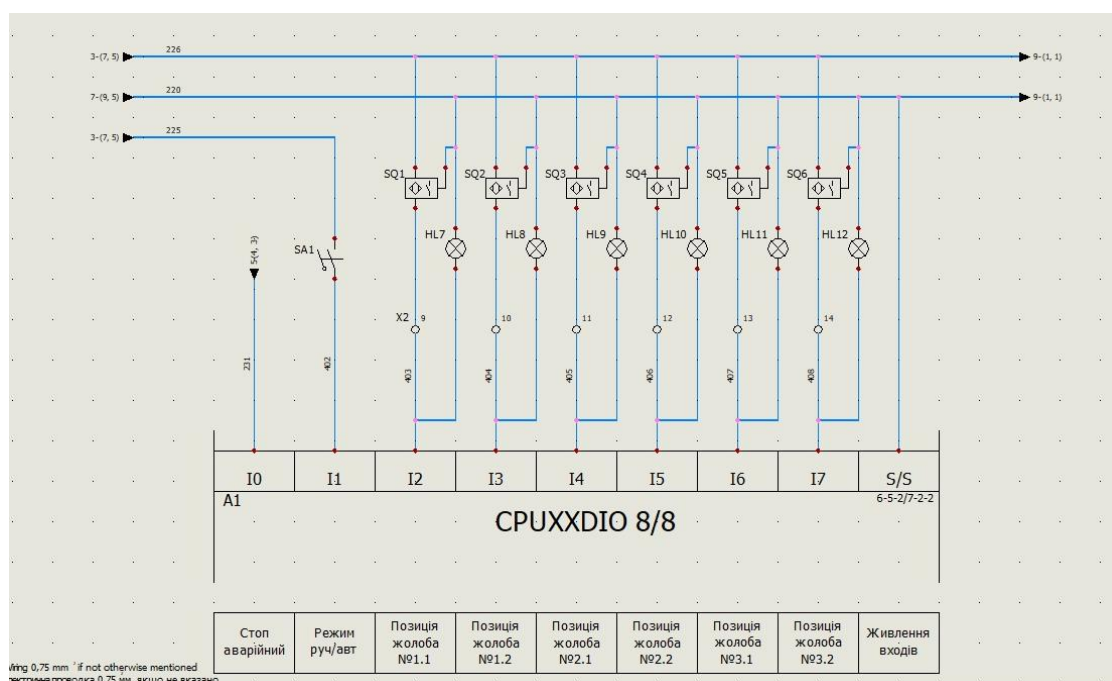


Рисунок 2.7 – Принципова електрична схема вхідних сигналів модуля керування (контролера) CPUXXDIO 8/8

Вхід І0 призначений для прийому сигналу "Стоп аварійний" [3]. Цей сигнал є активним при розмиканні контактів аварійних кнопок [33] або кінцевих вимикачів [3], забезпечуючи контролеру інформацію про необхідність негайної зупинки обладнання (рисунки 2.4, 2.7).

Вхід І1 підключено до контакту двопозиційного перемикача SA1 [31], який визначає "Режим ручний/автоматичний". Це дозволяє оператору обирати спосіб керування лінією: або вручну, або повністю під контролем автоматики, що забезпечує гнучкість в експлуатації (рисунки 2.2, 2.7).

Входи І2–І7 призначені для підключення індуктивних датчиків положення SQ1–SQ6 відповідно [8]. Ці датчики, які можуть бути розміщені на різних ділянках лінії, надають контролеру точну інформацію про позицію поворотного жолоба (наприклад, "Позиція жолоба №1.1", "Позиція жолоба №1.2" і т.д.). Дані від цих датчиків є фундаментальними для коректного позиціонування жолоба та реалізації логіки розвантаження матеріалів (рисунки 2.7).

Паралельно з кожним індуктивним датчиком SQ1–SQ6 підключено світлосигнальну арматуру HL7–HL12 [29]. Ці індикатори, що працюють від напруги 24 В, візуально підтверджують спрацювання відповідного датчика, що значно полегшує діагностику та контроль за роботою системи оператором.

Усі з'єднання вхідних ланцюгів виконано електричними провідниками перерізом 0,75 мм<sup>2</sup> [37], що відповідає стандартам для низьковольтних сигнальних ліній. Ця схема вхідних сигналів є основою для програмного забезпечення контролера, дозволяючи йому збирати всю необхідну інформацію для прийняття рішень та реалізації заданого алгоритму автоматичного керування [7].

Для розширення функціональних можливостей системи керування та забезпечення контролю над додатковими параметрами технологічного процесу, до складу автоматизованої лінії було інтегровано модуль розширення А13. На рисунку 2.8 наведено принципову електричну схему підключення вхідних

дискретних сигналів до цього модуля, що є доповненням до вхідних можливостей основного контролера.

Підключення модуля А13 до джерела живлення здійснюється від шин 220 В та 225 В. Дискретні входи модуля, позначені як І0–І7, а також спільна клемма S/S (загальний вхід) та клемма захисного заземлення PE [21], дозволяють підключати різноманітні датчики та органи керування [15]. Як і для інших частин командного кола, використовується електричний провідник перерізом 0,75 мм<sup>2</sup> [37], якщо інше не вказано, що забезпечує належну передачу сигналів.

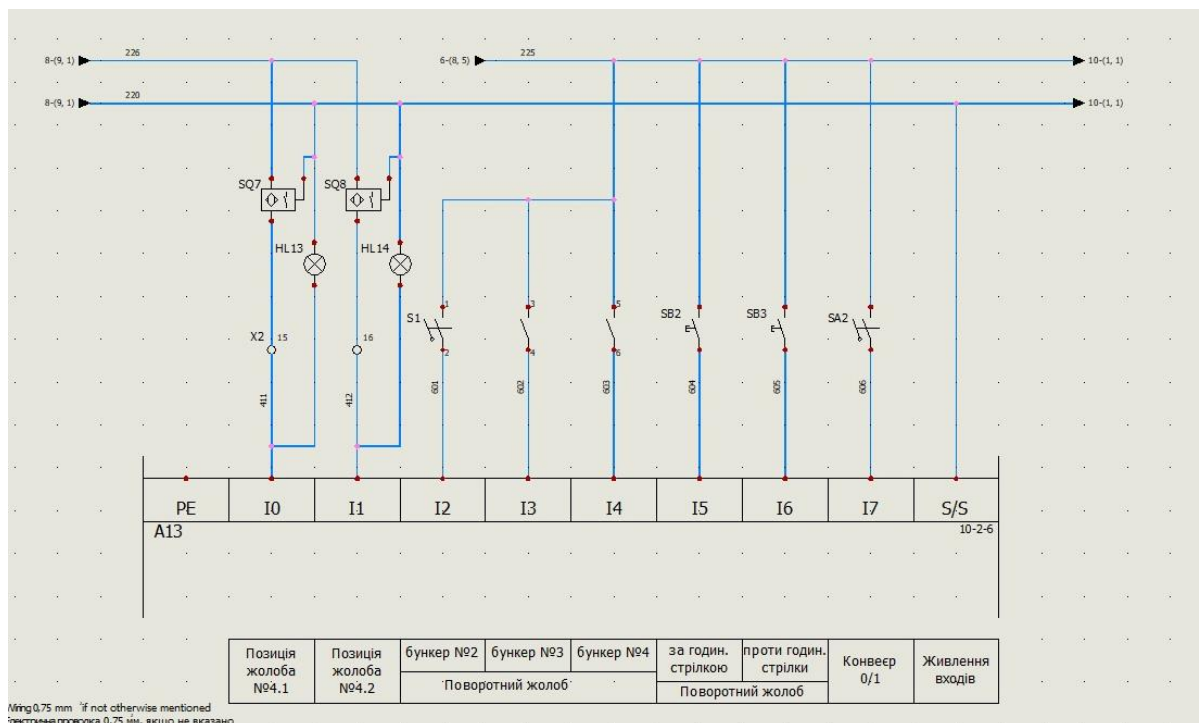


Рисунок 2.8 – Принципова електрична схема вхідних сигналів модуля розширення А13

Входи І0 та І1 призначені для підключення індуктивних датчиків SQ7 та SQ8 відповідно. Ці датчики відстежують точні позиції поворотного жолоба (наприклад, "Позиція жолоба №4.1" та "Позиція жолоба №4.2"). Паралельно до кожного з цих датчиків підключено світлосигнальну арматуру HL13 та HL14 (24

В) [29], яка візуально інформує про спрацювання датчика, що полегшує налагодження та діагностику (рисунок 2.8).

Вхід І2 приймає сигнал від чотирипозиційного перемикача S1 [31]. Цей перемикач, використовується для вибору бункера, над яким розташовуватиметься поворотний жолоб (наприклад, "Бункер №2", "Бункер №3", "Бункер №4"). Це дозволяє оператору вручну обирати напрямок подачі матеріалу, забезпечуючи гнучкість у розподілі (рисунок 2.8).

Вхід І5 підключено до нормально відкритої кнопки SB2[31], яка, ініціює рух поворотного жолоба "за годинниковою стрілкою". Це дає оператору можливість прямого керування напрямком повороту (рисунок 2.7).

Вхід І6 отримує сигнал від нормально відкритої кнопки SB3[31], що використовується для керування рухом поворотного жолоба "проти годинникової стрілки". Це доповнює функціонал ручного керування поворотом (рисунок 2.7).

Вхід І7 підключено до нормально розімкненого контакту двопозиційного перемикача SA2 [31], який контролює режим роботи конвеєра (наприклад, "Конвеєр Увімкнено/Вимкнено"). Це забезпечує пряме керування основним транспортуючим механізмом (рисунок 2.7).

Таким чином, модуль розширення А13 забезпечує додатковий збір інформації про положення елементів та надає розширені можливості ручного керування, що є важливим для забезпечення комплексного контролю над технологічним процесом та підвищення операційної гнучкості системи.

На рисунку 2.9 наведено принципову електричну схему підключення додаткового вхідного сигналу до модуля розширення А13, що є невід'ємною частиною системи діагностики та керування помилками [38]. Ця частина схеми забезпечує можливість скидання стану системи після виникнення та усунення несправності.

Підключення даної секції до модуля А13 здійснено через живлення від шин 220 В та 225 В. Дискретний вхід І0 модуля А13 призначений для прийому

									КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	
										36
			№докум.	Підпис						

керуючого сигналу від кнопки SB4 [31]. Кнопка SB4 є нормально відкритою і виконує функцію "Скидування помилки". При її натисканні контролер отримує сигнал, який ініціює програмний алгоритм скидання активних індикацій помилок або виходу системи з аварійного стану.

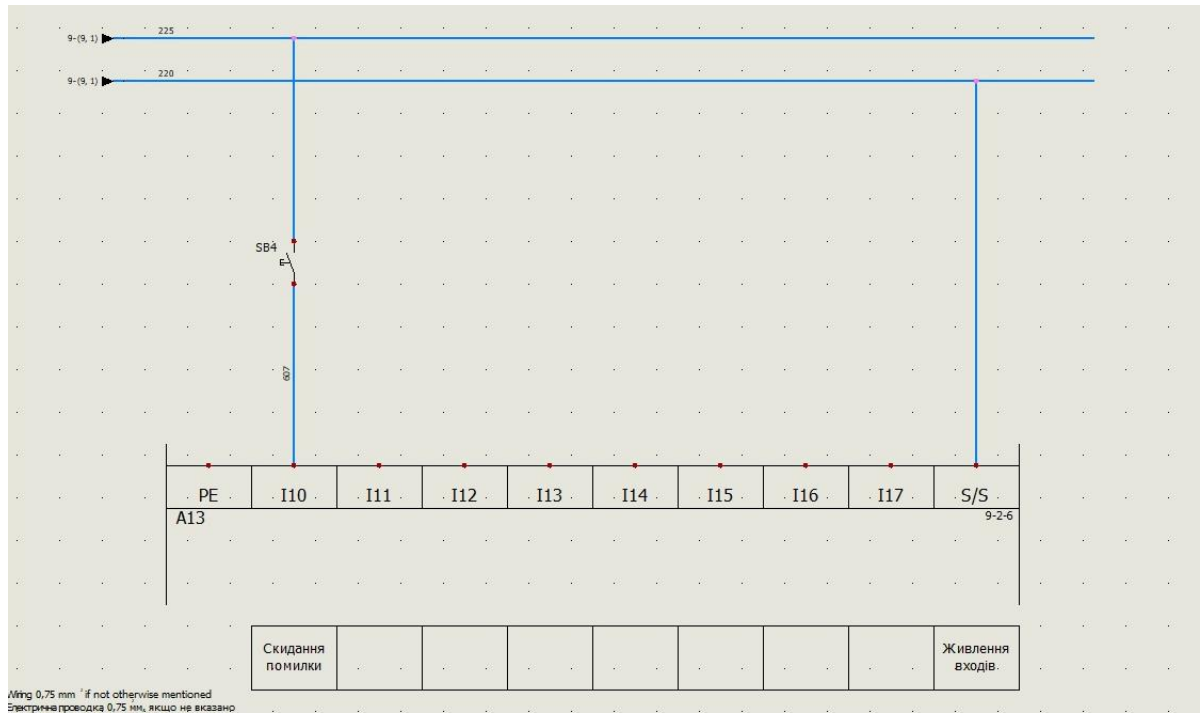


Рисунок 2.9 – Принципова електрична схема вхідних сигналів модуля розширення A13 (скидування помилки)

З'єднання виконано електричним провідником перерізом 0,75 мм<sup>2</sup> [37], що відповідає вимогам до низьковольтних сигнальних ліній та забезпечує надійну передачу сигналу. Цей вхідний канал є важливим елементом для взаємодії оператора з системою діагностики, дозволяючи йому контролювати та відновлювати нормальний робочий режим лінії після виправлення виявлених проблем [38].

Для візуалізації та точного розуміння механізму контролю положення поворотного жолоба, на в додаток В представлено схему розташування

індуктивних датчиків [8]. Дана схема відображає чотири сектори положення жолоба (позначені цифрами 1, 2, 3, 4), кожен з яких має дві контрольні точки, що фіксуються відповідними індуктивними датчиками.

Кожна позиція жолоба (1.1, 1.2, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2) контролюється окремим індуктивним датчиком [8]. Завдяки цим датчикам, модуль керування отримує точну інформацію про поточне положення жолоба, що є необхідним для його правильного позиціонування та ефективного розподілу інертних матеріалів за бункерами. На схемі також позначено напрямки руху жолоба – "Прямий хід" та "Реверс", що відображає можливості його обертання.

#### 2.4 Висновки до другого розділу

Комплексне функціонування автоматизованої лінії подачі інертних матеріалів базується на чітко визначеній послідовності дій, що контролюється програмованим логічним контролером (ПЛК) CPUXXDIO 8/8 [7]. Розроблений алгоритм враховує взаємодію всіх електричних компонентів — від силових підключень (клемна колодка X1, розмикач Q1, автомати захисту, контактори) до найменших сигнальних елементів — забезпечуючи ефективність процесу та безпеку експлуатації [12].

Система передбачає гнучкий вибір режимів роботи (ручний/автоматичний) за допомогою перемикача SA1 [2.7]. У ручному режимі оператор безпосередньо керує виконавчими механізмами, тоді як в автоматичному режимі вся послідовність дій виконується згідно із закладеною програмою ПЛК, ґрунтуючись на показаннях датчиків [7].

Реалізовано автоматизований запуск конвеєра (через реле KV1 та контактор 1KM1 [24]) та вібратора бункера (з часовою затримкою від реле ERV09 [32]), що забезпечує безперебійну подачу матеріалів [1, 6]. Позиціонування поворотного жолоба здійснюється командами ПЛК (або оператора) з використанням реверсивних контакторів (2KM1, 2KMR1 [25]) та

постійним контролем за допомогою індуктивних датчиків положення SQ1–SQ8 [8]. Датчики надають точну інформацію для позиціонування, а світлосигнальна арматура (HL7–HL14) [29] візуально підтверджує спрацювання.

Система також включає керування вібратором просіювальної решітки (через перемикач SA3 [31] та реле KV3 [30]) для ефективного просіювання [5]. Особливу увагу приділено функціональній безпеці: передбачено як нормальну зупинку, так і негайну аварійну зупинку натисканням кнопок (SB1, SBA1, SBA2 [33]) або спрацюванням кінцевих вимикачів (SQ9, SQ10 [3]), що призводить до знеструмлення всіх механізмів [3]. Стан аварійної зупинки індидується реле KV4 [30] та світлосигнальною арматурою HL5 [29], а скидання помилки відбувається за допомогою кнопки SB4 [31].

Постійний моніторинг стану системи здійснюється за допомогою світлосигнальної арматури (HL1–HL5, HL7–HL14) [29], що надає оператору візуальну інформацію про поточний режим, стан бункерів та положення жолоба, а також про аварійні ситуації. Усі підключення до контролерів через клемні колодки X1 (Додаток А) та X2 (Додаток Б) [20] забезпечують організованість та легкість обслуговування. Розроблений алгоритм керування забезпечив повну автоматизацію процесу подачі інертних матеріалів, мінімізуючи людський фактор та підвищуючи продуктивність і безпеку експлуатації системи [12].

### **3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРУВАННЯ ЛІНІЄЮ ПОДАЧІ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕРЕДОВИЩА SIEMENS TIA PORTAL**

У сучасному промисловому виробництві ефективність та надійність технологічних процесів значною мірою залежать від рівня їх автоматизації. Центральною ланкою будь-якої автоматизованої системи є програмне забезпечення, що реалізує закладені алгоритми керування та забезпечує взаємодію між апаратними компонентами та оператором [39]. Даний розділ дипломної роботи присвячений детальному опису процесу розробки програмного забезпечення для автоматизованої лінії подачі інертних матеріалів. Особлива увага зосереджена на реалізації логіки керування за допомогою програмованого логічного контролера (ПЛК) у інтегрованому середовищі розробки Siemens TIA Portal [40]. Розглянуто ключові аспекти перетворення електричних схем та функціональних вимог на програмний код, що забезпечує безперебійне та безпечне функціонування всієї системи [12].

#### **3.1 Конфігурація апаратного забезпечення програмованого логічного контролера в Siemens TIA Portal**

Ефективна розробка програмного забезпечення для автоматизованих систем нерозривно пов'язана з точною конфігурацією апаратного забезпечення керуючого пристрою [41]. У рамках даного дипломного проєкту як центральний елемент керування обрано програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC, який забезпечує необхідну обчислювальну потужність та кількість дискретних входів/виходів для реалізації поставлених завдань [42]. Конфігурація апаратного забезпечення ПЛК здійснюється в інтегрованому середовищі розробки Siemens TIA Portal, що надає широкі можливості для візуального налаштування та параметризації модулів

[40]. TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) є уніфікованою інженерною платформою від Siemens, яка об'єднує інструменти для конфігурації, програмування, діагностики та візуалізації, значно спрощуючи процес розробки та введення в експлуатацію систем автоматизації [43].

### 3.1.1 Вибір та основні характеристики контролера SIMATIC S7-1200

Обрання ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC (рисунок 3.1) було зумовлене його повною відповідністю визначеним вимогам проекту щодо необхідної кількості вхідних/вихідних сигналів, комунікаційних можливостей та економічної доцільності [44]. Цей компактний контролер визнано оптимальним рішенням для автоматизації машин та середніх технологічних установок, що є предметом даного дослідження [45]. Враховано деякі основні характеристики CPU 1214C DC/DC/DC.

Тип живлення з використанням вхідної напруги живлення постійного струму (DC 20.4-28.8V) для даного модуля[46].

Вбудовані входи/виходи серед яких 14 вбудованих дискретних входів (DI) 24 В DC та 10 дискретних виходів (DO) 24 В DC. Незважаючи на наявність у CPU 1214C двох аналогових входів, у даному проекті пріоритет віддано дискретним сигналам[47].

Обсяг програмної та робочої пам'яті (150 КБ, з урахуванням версії прошивки) було визнано достатнім для успішної реалізації розробленого алгоритму керування лінією подачі інертних матеріалів [48].

Комунікації, для використання інтегрованого інтерфейсу PROFINET (RJ45) забезпечило можливість легкого підключення контролера до інших PROFINET-сумісних пристроїв, що може бути інтегровано у майбутньому (наприклад, панелей оператора або систем візуалізації) [49]. Підтримка цим інтерфейсом широкого спектру протоколів гарантує гнучкість інтеграції в SCADA-системи, що передбачається для подальшого розвитку проекту [50].

Додаткові функції серед яких розуміння потенціалу підтримки високошвидкісних лічильників (HSC) та функцій генерації імпульсів (PTO/PWM) розширило можливості контролера для масштабування проєкту [51].

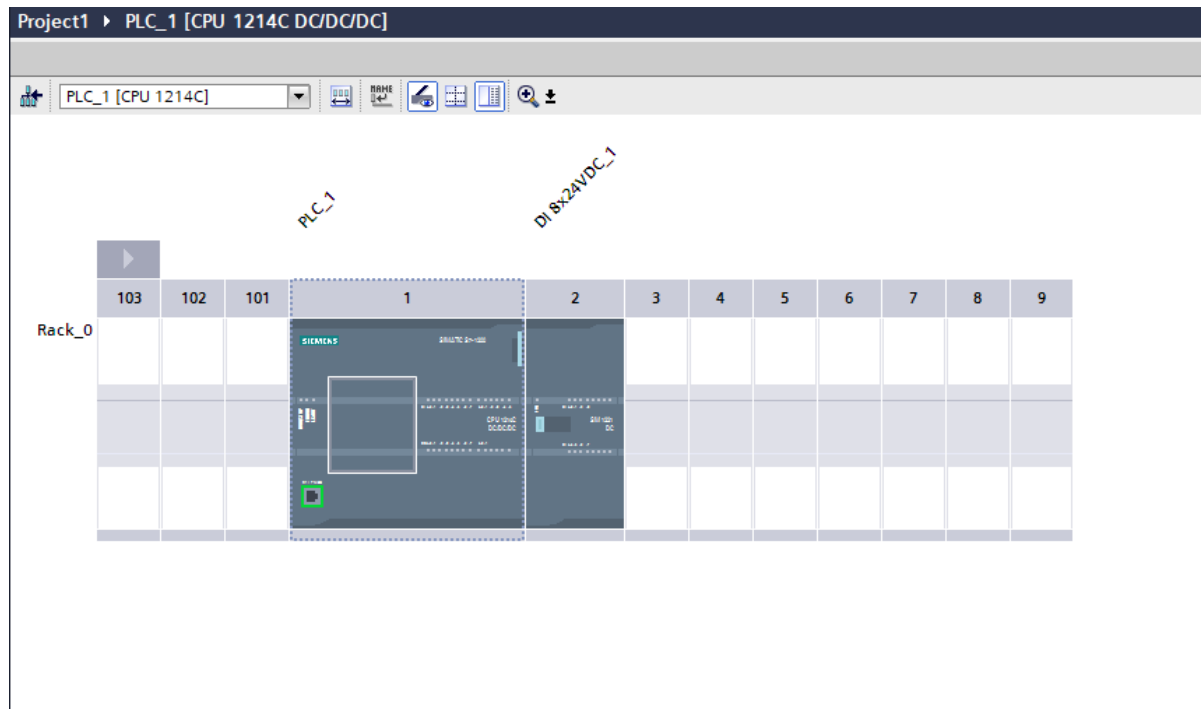


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд конфігурації пристроїв програмованого логічного контролера в TIA Portal

### 3.1.2 Процес конфігурації в TIA Portal

Початок робіт з конфігурації апаратного забезпечення в TIA Portal було здійснено як перший та фундаментальний крок у створенні проєкту автоматизації [41]. Весь процес реалізовано у середовищі "Device configuration" (Конфігурація пристроїв), що дозволило візуально відобразити фізичну структуру ПЛК та всіх його модулів, а також точно налаштувати їхні параметри [43].

На рисунку 3.1 представлено загальний вигляд конфігурації пристроїв у TIA Portal. У цьому графічному інтерфейсі здійснено додавання центрального процесорного модуля PLC\_1 (CPU 1214C DC/DC/DC), обраного з каталогу пристроїв SIMATIC S7-1200. Відображення модуля на віртуальній монтажній рейці дозволило імітувати його фізичне розташування [40].

Враховуючи недостатню кількість вбудованих входів/виходів CPU для всіх датчиків та кнопок системи, було додано модуль розширення DI 8x24VDC (артикул 6ES7 221-1BF32-0XB0) [52]. Цей модуль надав додаткові 8 дискретних входів, критично важливих для обробки сигналів від численних датчиків положення та кнопок керування [15]. Його встановлення здійснено шляхом перетягування відповідного модуля з апаратного каталогу до вільного слоту на віртуальній стійці контролера (у слот 2), що також відображено на рисунку 3.1.

Після додавання всіх необхідних модулів, розпочато їхню детальну параметризацію. Для кожного модуля було індивідуально налаштовано його властивості [53].

Адреси входів/виходів (I/O addresses) – здійснено перевірку та, за необхідності, коригування діапазонів адрес у пам'яті ПЛК, що відповідають фізичним входам та виходам модуля [48]. Це гарантувало точну відповідність між електричними схемами та програмним кодом.

Властивості входів/виходів – налаштовано фільтри для дискретних входів з метою усунення можливих шумів та хибних спрацювань, що підвищує стабільність роботи системи [54].

Діагностичні функції – активовано та налаштовано діагностичні функції, що дозволяють контролеру автоматично реагувати на обриви дротів, короткі замикання або інші несправності [55]. Це є важливим елементом для швидкого виявлення проблем у розробленій системі.

Діагностичні функції: Активовано та налаштовано діагностичні функції, що дозволяють контролеру автоматично реагувати на обриви дротів, короткі

замикання або інші несправності [55]. Це є важливим елементом для швидкого виявлення проблем у розробленій системі.

Module	Slot	I address	Q address	Type	Article no.	Firmware	Co...
	103						
	102						
	101						
▼ PLC_1	1			CPU 1214C DC/DC/DC	6ES7 214-1AG40-0XB0	V4.5	
DI 14/DQ 10_1	1 1	0...1	0...1	DI 14/DQ 10			
AI 2_1	1 2	64...67		AI 2			
	1 3						
HSC_1	1 16	1000...10...		HSC			
HSC_2	1 17	1004...10...		HSC			
HSC_3	1 18	1008...10...		HSC			
HSC_4	1 19	1012...10...		HSC			
HSC_5	1 20	1016...10...		HSC			
HSC_6	1 21	1020...10...		HSC			
Pulse_1	1 32		1000...10...	Pulse generator (PTO/P...			
Pulse_2	1 33		1002...10...	Pulse generator (PTO/P...			
Pulse_3	1 34		1004...10...	Pulse generator (PTO/P...			
Pulse_4	1 35		1006...10...	Pulse generator (PTO/P...			
OPC UA	1 254			OPC UA			
▶ PROFINET interface_1	1 X1			PROFINET interface			
DI 8x24VDC_1	2	2		SM 1221 DI8 x 24VDC	6ES7 221-1BF32-0XB0	V2.0	
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						

Рисунок 3.2 – Огляд модулів та їхніх адресних просторів у TIA Portal

### 3.1.3 Присвоєння тегів та їхнє відображення

Після завершення конфігурації фізичних модулів, розпочато вирішальний етап – присвоєння символічних імен, або тегів (PLC Tags), усім входним та вихідним сигналам, а також внутрішнім змінним пам'яті [56]. Використання тегів замість абсолютних адрес (наприклад, %I0.0 для входу чи %Q0.1 для виходу) розглядається як обов'язкова умова для створення якісного програмного забезпечення ПЛК [57].

Таблиця тегів ПЛК, що відображає присвоєні імена, відповідні типи даних та абсолютні адреси в контролері, представлена на рисунку 3.3. Кожному фізичному входу та виходу, задіяним у розробленій принциповій електричній

схемі (а це кнопки, датчики, контактори, світлосигнальна арматура), було призначено унікальні символічні імена [13].

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	qCnvr	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	qFw	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	qBw	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	qHl1	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	qHl2	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	qHl3	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	qHl4	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	qHLError	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	iSb5top	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	iSaMode	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	iSq11	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	iSq12	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	iSq21	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	iSq22	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	iSq31	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	iSq32	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	iSq41	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	iSq42	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	iSa2	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	iSa3	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	iSa4	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	iSbFw	Bool	%I1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	iSbBw	Bool	%I2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	iSaCnvr	Bool	%I2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	iSbAck	Bool	%I2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	mError	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	mFw1	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	mBw1	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	mFw2	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	mBw2	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	mFw3	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	mBw3	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	mFw4	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	mBw4	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	mFw5	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36	mCnvr1	Bool	%M2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	mCnvr2	Bool	%M2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38	mCnvr3	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39	mCnvr4	Bool	%M2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	mSaCnvr	Bool	%M2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 3.3 – Таблиця тегів ПЛК із призначеними адресами

### 3.2 Розробка програмного коду логіки керування

Розробка програмного коду є кульмінаційним етапом створення системи автоматизації, що трансформує теоретичні рішення електричних схем та алгоритмів функціонування в практичні інструкції для контролера [39]. У даному підрозділі буде представлено ключові фрагменти програмного забезпечення,

розробленого на мові релейно-контактних схем (Ladder Diagram - LD) у середовищі Siemens TIA Portal [58]. Ця мова обрана завдяки її наочності та інтуїтивній зрозумілості для інженерів, що працюють з промисловою автоматизацією [59]. Кожен "сходи́нка" (Network) програми відповідає певній логічній функції або операції, забезпечуючи чітку та послідовну реалізацію алгоритму керування лінією подачі інертних матеріалів.

### 3.2.1 Код керування світловою індикацією

Важливий аспект функціонування будь-якої автоматизованої системи є забезпечення оператора чіткою та зрозумілою візуальною інформацією про поточний стан обладнання [29]. Для досягнення цієї мети, у програмному забезпеченні контролера передбачено логіку керування світловою індикацією, що відображає певні режими роботи або стани датчиків.

На рисунку 3.4 представлено фрагмент програмного коду, реалізованого на мові Ladder Diagram, відповідальний за активацію чотирьох світлосигнальних елементів – HL1, HL2, HL3 та HL4 (відповідно до тегів %qHL1, %qHL2, %qHL3, %qHL4, як це визначено у таблиці тегів на рисунку 3.3) [58]. Цей блок коду складається з чотирьох незалежних мереж (Network), кожна з яких керує окремим світловим індикатором. Детальний аналіз кожної мережі свідчить про деяку логіку.

Активація HL1 (%qHL1) – перша мережа відповідає за керування світлосигнальною лампою HL1, що індикує положення поворотного жолоба над бункером №1. Умовами її активації є одночасне спрацювання трьох вхідних сигналів: %I1.2 (відповідний тегу iSa2), %I1.3 (відповідний тегу iSa3), та %I1.4 (відповідний тегу iSa4) [60]. Це означає, що світлодіод HL1 увімкнеться лише тоді, коли всі три зазначені вхідні умови будуть істинними (тобто, коли

відповідні контакти будуть замкнені), сигналізуючи про точне позиціонування над першим бункером.

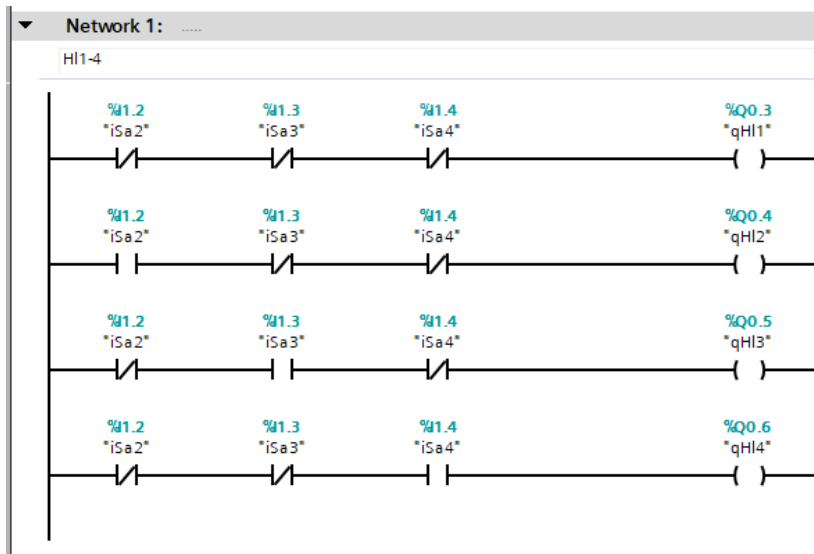


Рисунок 3.4 – Фрагмент програмного коду керування світловою індикацією HL1-  
HL4

Активація HL2 (%qHL2) – аналогічно, друга мережа контролює світлосигнальну лампу HL2, призначену для індикації положення поворотного жолоба над бункером №2. Її активація також залежить від логічної операції "І" (AND) між тими ж трьома входними сигналами: %I1.2 (iSa2), %I1.3 (iSa3), та %I1.4 (iSa4).

Активація HL3 (%qHL3) – третя мережа призначена для керування світловою індикацією HL3, що відображає позицію поворотного жолоба над бункером №3. Умова її спрацювання ідентична попереднім мережам – потреба в одночасному спрацюванні %I1.2 (iSa2), %I1.3 (iSa3), та %I1.4 (iSa4).

Активація HL4 (%qHL4) – четверта мережа керує світлосигнальною лампою HL4, що вказує на положення поворотного жолоба над бункером №4. Вона використовує ту ж саму логічну комбінацію входних сигналів: %I1.2 (iSa2), %I1.3 (iSa3), та %I1.4 (iSa4).

### 3.2.2 Код обробки аварійних сигналів та скидання помилки

Для забезпечення безпеки функціонування автоматизованої лінії та своєчасного реагування на позаштатні ситуації, у програмному забезпеченні контролера реалізовано блок обробки аварійних сигналів [3]. Цей блок відповідає за формування загального сигналу помилки та механізму його скидання оператором [38].

На рисунку 3.5 відображено логіку формування внутрішньої змінної пам'яті %M0.0 (що відповідає тегу mError згідно з таблицею тегів на рисунку 3.3). Ця змінна є індикатором наявності помилки в системі. Її встановлення в логічну одиницю (активація) відбувається при спрацюванні будь-якого з численних дискретних входів, що свідчать про аварійну ситуацію [61].

Логіка формування сигналу "mError" (%M0.0) базується на певних комбінаціях спрацювання цих датчиків, що свідчать про некоректний стан або потенційну несправність [62]. Датчики та їх функціонал у контексті помилки описуються наступним чином:

Датчики iSq11 (%I0.2) та iSq12 (%I0.3): Це датчики положення 1.1 та 1.2 відповідно (Додаток В), що контролюють позицію жолоба біля бункера №1 [8].

Умова помилки – якщо спрацює датчик iSq11 АБО iSq12, І при цьому спрацює БУДЬ-ЯКИЙ з шести інших датчиків (тобто iSq21, iSq22, iSq31, iSq32, iSq41, iSq42), це призводить до формування сигналу mError. Така логіка вказує на одночасне перебування жолоба у двох несумісних позиціях, що є прямим свідченням заклинювання або несправності датчиків [63].

Датчики iSq21 (%I0.4) та iSq22 (%I0.5): Це датчики положення 2.1 та 2.2 (Додаток В), що контролюють позицію жолоба біля бункера №2 [8].

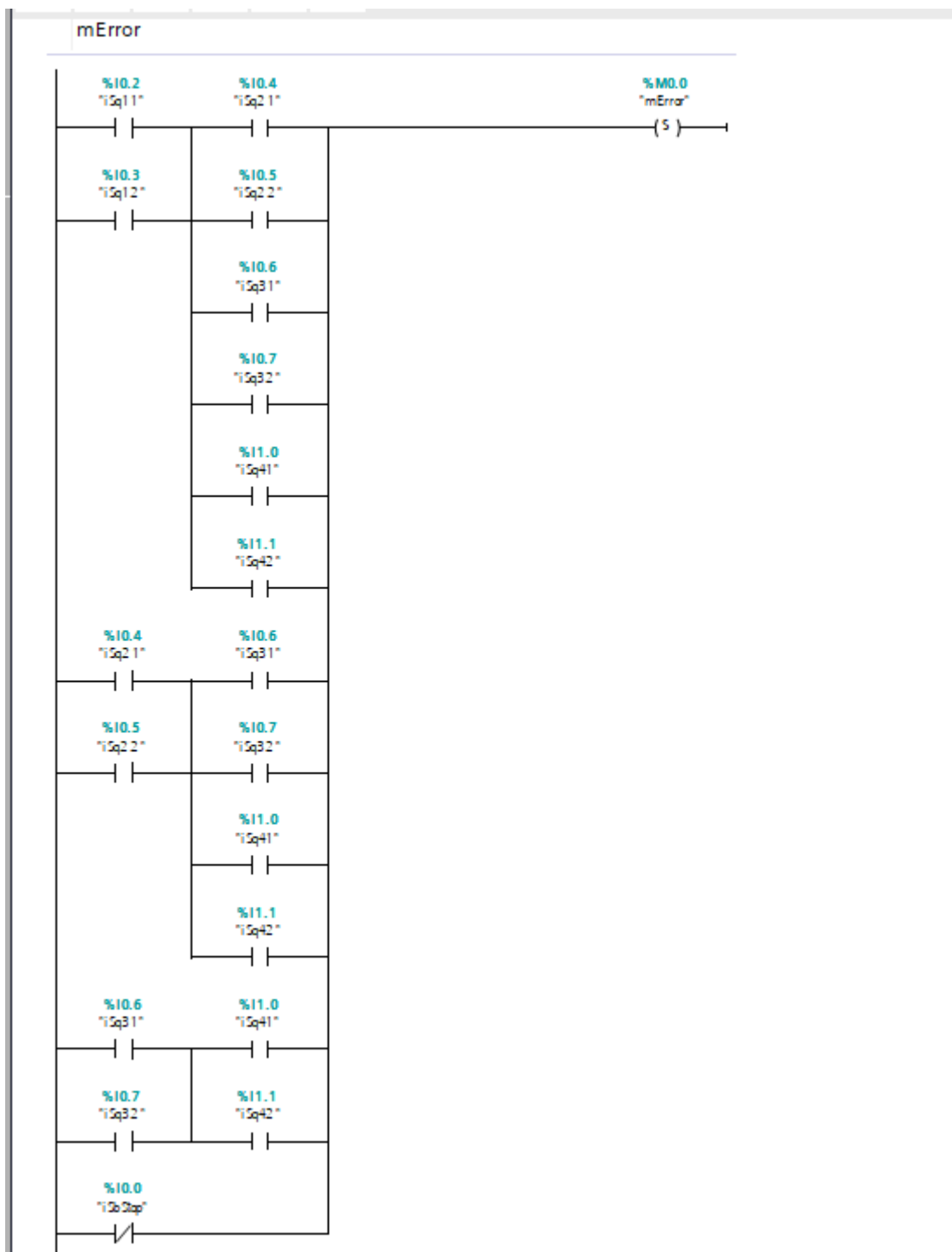


Рисунок 3.5 – Фрагмент програмного коду скидання сигналу загальної помилки "mError" та кнопки "Стоп"

Умова помилки – одночасне спрацювання iSq21 I iSq22 викликає формування сигналу mError. Це критична ситуація, оскільки ці два датчики, ймовірно, контролюють різні крайні точки в межах однієї зони або бункера, і їх

одночасна активація вказує на вихід жолоба за допустимі межі або його фізичне заклинювання. Також iSq21 є частиною комбінацій з iSq11 або iSq12, що також призводить до помилки.

Датчики iSq31 (%I0.6) та iSq32 (%I0.7): Це датчики положення 3.1 та 3.2 (Додаток В), що контролюють позицію жолоба біля бункера №3 [8].

Умова помилки – аналогічно попередньому випадку, одночасне спрацювання iSq31 I iSq32 призводить до формування сигналу mError, сигналізуючи про некоректне позиціонування або заклинювання жолоба в зоні бункера №3. Також iSq31 та iSq32 є частиною комбінацій з iSq11 або iSq12.

Датчики iSq41 (%I1.0) та iSq42 (%I1.1): Це датчики положення 4.1 та 4.2 (Додаток В), що контролюють позицію жолоба біля бункера №4.

Умова помилки – одночасне спрацювання iSq41 I iSq42 також викликає формування сигналу mError, вказуючи на аномалію положення жолоба в зоні бункера №4. Також iSq41 та iSq42 є частиною комбінацій з iSq11 або iSq12.

Також у цій частині кода (рисунок 3.5) інтегровано логіку обробки сигналу від кнопки "Стоп", представленаї контактом %I0.0 з тегом iSbStop [31]. Це нормально замкнений (NC) контакт, що забезпечує функцію аварійної зупинки [33]. При натисканні на кнопку "Стоп" відбувається розмикання контакту %I0.0 (iSbStop). Таке розмикання діє як умова для переривання нормального функціонування системи [64].



Рисунок 3.6 – Фрагмент програмного коду скидання сигналу загальної помилки

"mError"

На рисунку 3.6 представлений фрагмент програмного коду, який реалізує логіку скидання (reset) біта mError (%M0.0) [57]. Ця функція є ключовою для відновлення нормальної роботи системи після усунення аварійного стану [38].

### 3.2.3 Логіка індикації загальної помилки та затримки імпульсу

На рисунку 3.7 представлені дві окремі логічні мережі – Network 3 та Network 4, які відповідають за індикацію загальної помилки та формування затримки імпульсу відповідно.

У мережі Network 3 реалізована пряма залежність активації вихідного сигналу qHLError від стану внутрішньої змінної mError.

Контакт %M0.0 (mError) – це нормально відкритий контакт, який відображає стан загальної помилки системи. (наприклад, некоректне спрацювання датчиків положення жолоба, див. рисунок 3.5)[61].

Вихід %Q0.7 (qHLError) – це котушка вихідного сигналу, якій присвоєно тег qHLError (рисунок 3.3). Згідно з електричною схемою (рисунок 2.6), вихід %Q0.7 підключено до індикаторної лампи HL5 "Помилка" [29].

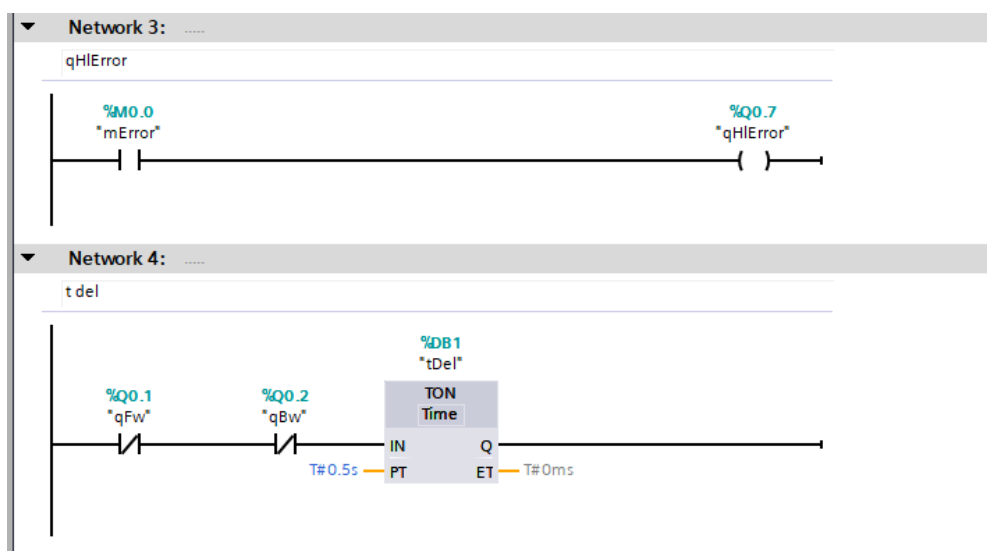


Рисунок 3.7 – Фрагменти програмного коду індикації загальної помилки та формування затримки імпульсу

Мережа Network 4 на рисунку 3.7 відповідає за формування часової затримки [65].

Таймер TON [66] почне відлік 0.5 секунди, якщо одночасно активуються виходи %Q0.1 (qFw) та %Q0.2 (qBw) [25]. Це є нештатною ситуацією, оскільки одночасний рух в обох напрямках, як правило, свідчить про конфлікт команд або механічну несправність (наприклад, заклинювання двигуна або редуктора) [63]. Після закінчення цієї затримки (0.5 с), якщо аномальна ситуація зберігається, вихід Q таймера активується. Цей сигнал Q далі буде використовуватися в програмному забезпеченні для ініціювання подальших дій, таких як зупинка двигунів, активація додаткової сигналізації або встановлення іншого аварійного біта, що свідчить про більш серйозну несправність [38].

#### 3.2.4 Логіка керування рухом поворотного жолоба

Написано 4 мережі (Network 5, Network 6, Network 7, Network 8) які відповідають за логіку керування рухом поворотного жолоба по чотирьох бункерах, або, точніше, за формування внутрішніх керуючих сигналів для кожного з чотирьох можливих положень/напрямків руху [7].

Керування рухом для бункера 1 формує внутрішні сигнали mFw1 (прямий хід) та mBw1 (зворотний хід). Активація цих сигналів дозволена лише за відсутності загальної помилки (mError), у певному режимі роботи (iSaMode), при активному сигналі qH11 та за відсутності сигналу конфлікту руху (tDel.Q). Рух блокується при досягненні кінцевих або проміжних положень, що контролюються відповідними датчиками [8].

Код керування рухом для бункера 1 зображено на рисунку 3.8.

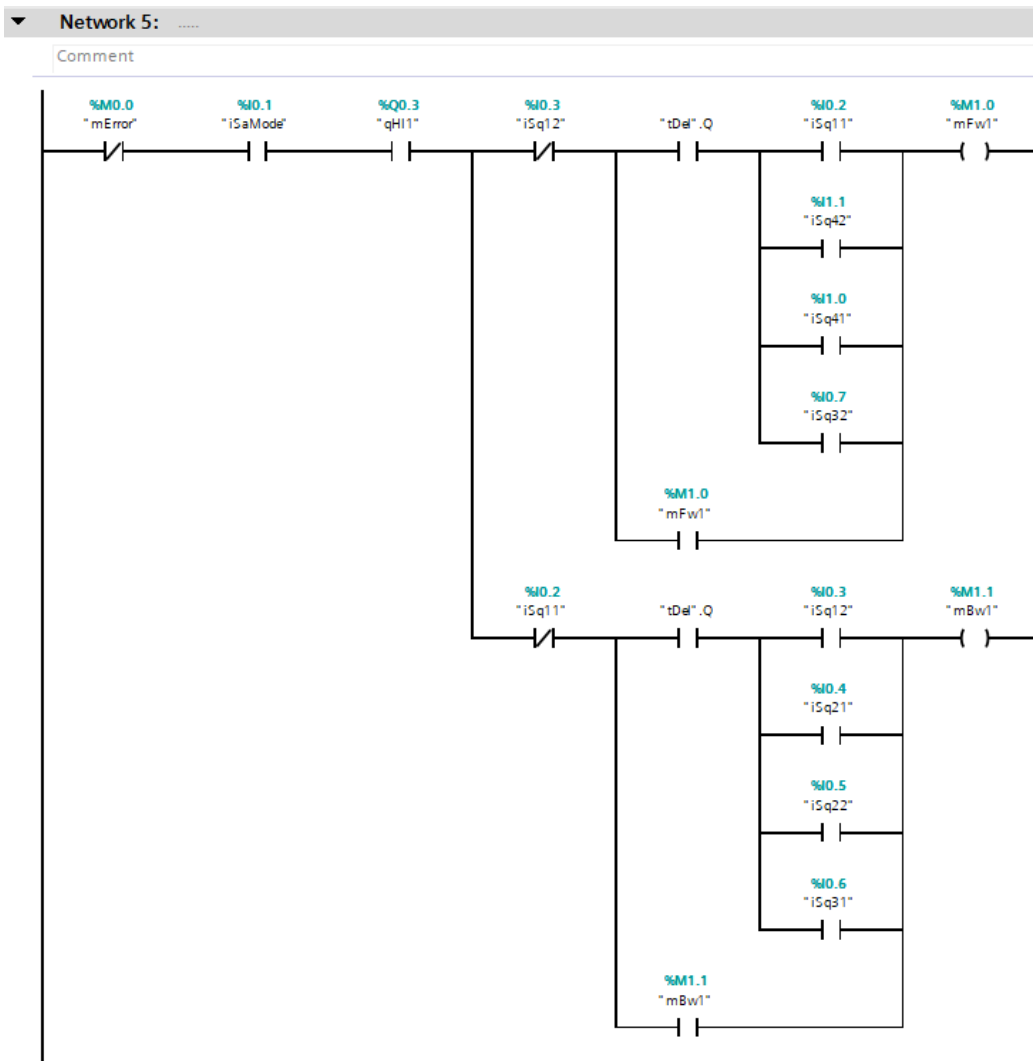


Рисунок 3.8 – Керування рухом для бункера 1

Керування рухом для бункера 2 на рисунок 3.8 аналогічно Рисунку 3.7, ця мережа формує внутрішні сигнали mFw2 (прямий хід) та mBw2 (зворотний хід) для бункера 2. Логіка дозволу та блокування руху ідентична, але використовує інші датчики положення для бункера 2 та сигнал qH12

Аналогічно написані коди і для керування бункером 3 і бункером 4, які відрізняються використанням інших датчиків положення для бункера та сигналом qH13(qH14) [8]. Керування рухом поворотного жолоба для 3 і 4 бункерів зображено на рисунку 3.10 і 3.11 відповідно.

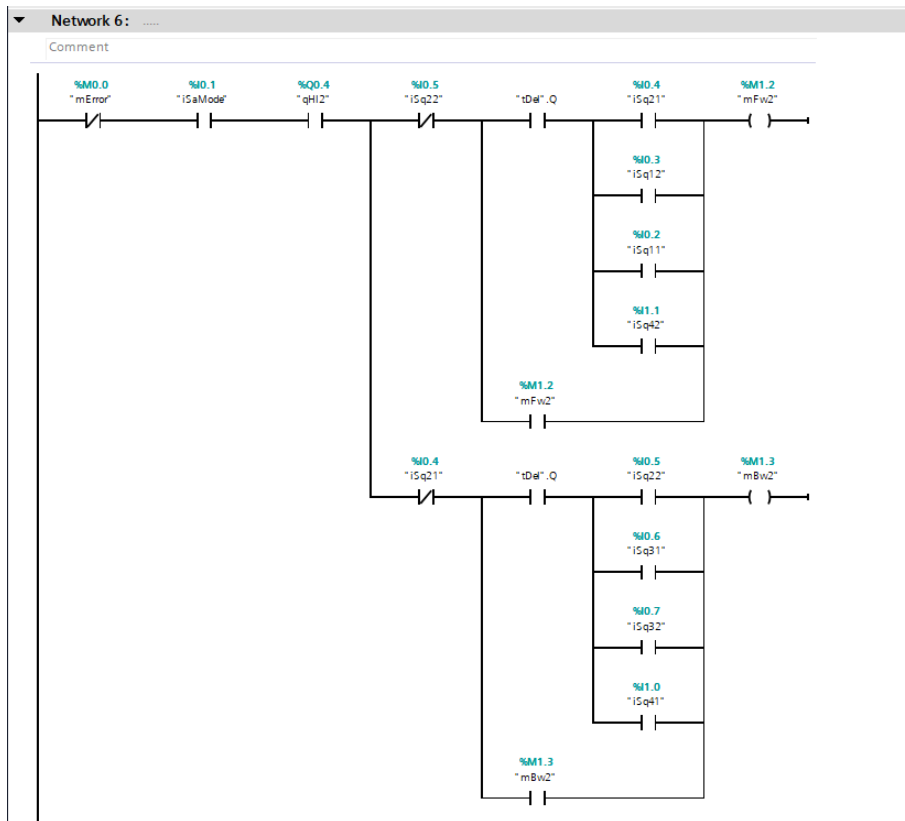


Рисунок 3.9 – Керування рухом для бункера 2

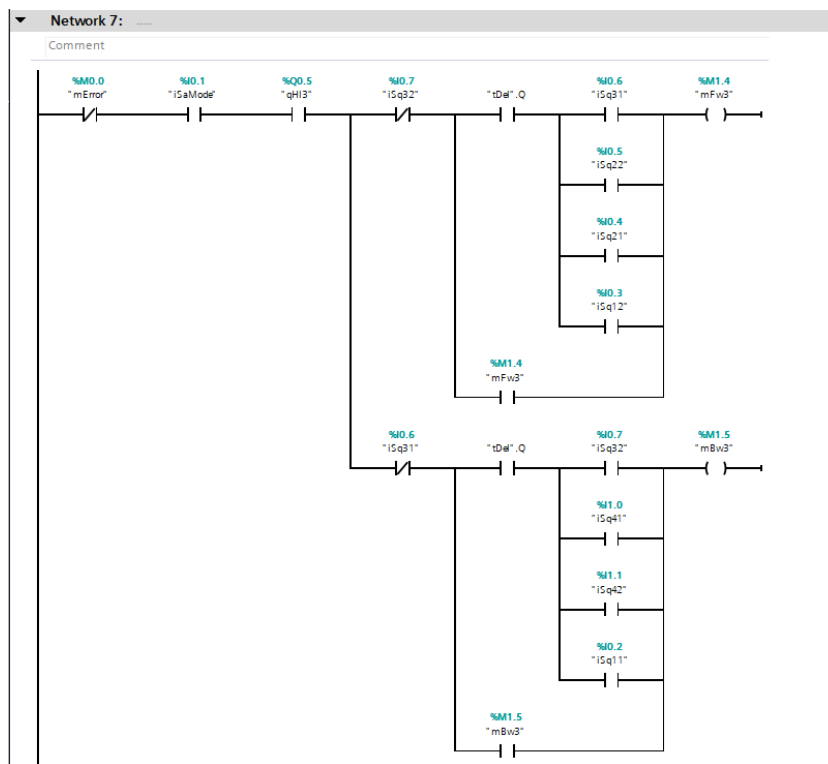


Рисунок 3.10 – Керування рухом для бункера 3

		№докум.	Підпис	

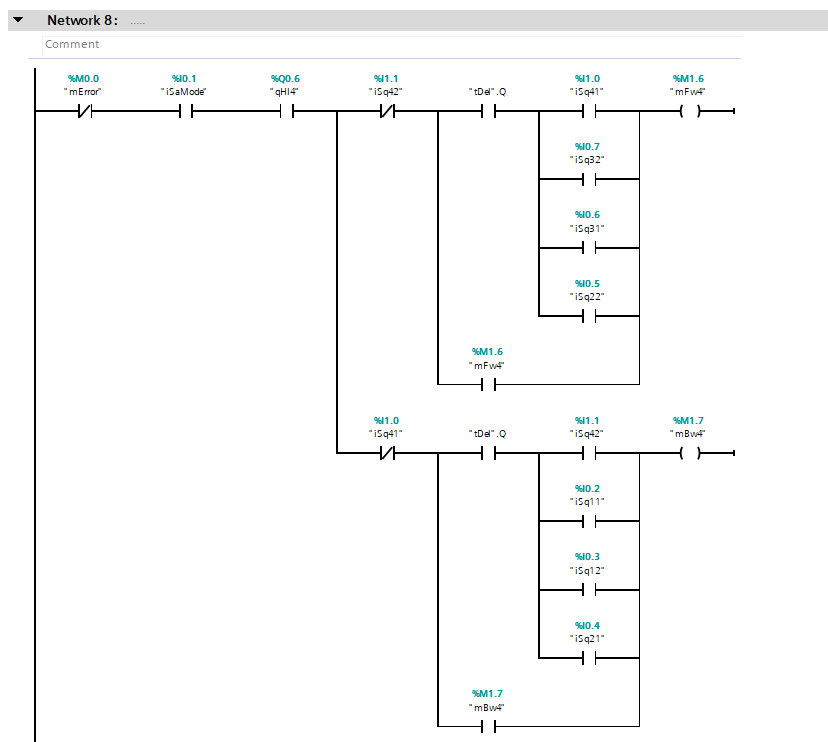


Рисунок 3.11 – Керування рухом для бункера 4

### 3.2.5 Керування виходами двигунів поворотного жолоба

Network 9 (рисунок 3.12) є кінцевою логікою для керування фізичними виходами поворотного жолоба: %Q0.1 (qFw) для прямого ходу та %Q0.2 (qBw) для зворотного ходу [25].

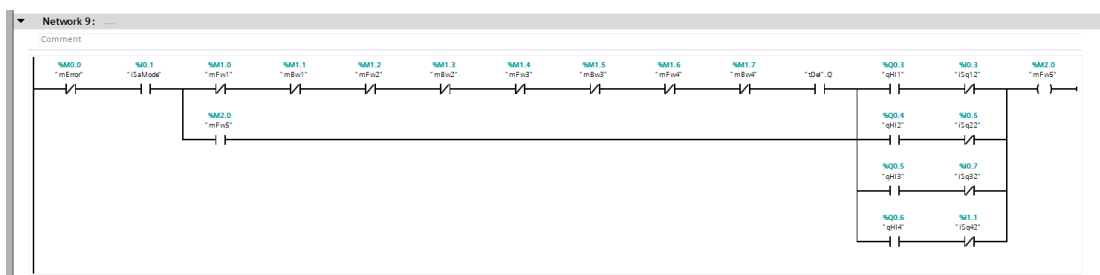


Рисунок 3.12 – Керування виходами двигунів поворотного жолоба

Активація qFw або qBw вимагає виконання кількох умов:

- дозвіл рухів – активний сигнал %I2.2 (iSbAck);
- внутрішній сигнал руху – активний один з внутрішніх бітів mFwX (для прямого ходу) або mBwX (для зворотного ходу) ;
- відсутність конфлікту – таймер tDel.Q не активний;
- взаємоблокування – неактивний протилежний внутрішній сигнал mFw5 (для qBw) або mBw5 (для qFw) [67] ;
- умови кінцевого положення – стан сигналів qHlX та датчиків iSqX дозволяє рух, блокуючи його при досягненні відповідних кінцевих позицій для кожного напрямку [8].

### 3.2.6 Керування сигналами "Прямий хід" (qFw) і "Зворотний хід" (qBw)

Network 10 (рисунок 3.13) відповідає за активацію вихідного сигналу %Q0.1 (qFw), що керує прямим ходом поворотного жолоба [25]. Для активації qFw необхідно, щоб система була без загальної помилки (mError не активний)[61], був активний режим автоматичного керування (iSaMode активний)[7], була натиснута кнопка "Прямий хід" (iSbFw)[31], не була натиснута кнопка "Зворотний хід" (iSbBw не активний), а також був активний один з внутрішніх бітів "прямого ходу" для бункерів (mFw1, mFw2, mFw3, mFw4, mFw5). Ця логіка забезпечує запуск двигуна на прямий хід за певних умов безпеки та ручного керування.

Network 11 (рисунок 3.14) відповідає за активацію вихідного сигналу %Q0.2 (qBw), що керує зворотним ходом поворотного жолоба [25]. Для активації qBw необхідно, щоб система була без загальної помилки (mError не активний) [61], був активний режим автоматичного керування (iSaMode активний) [7], була натиснута кнопка "Зворотний хід" (iSbBw) [31], не була натиснута кнопка "Прямий хід" (iSbFw не активний), а також був активний один з внутрішніх бітів

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	
		№докум.	Підпис			56



### 3.2.7 Керування сигналом конвеєра для бункерів

Мережа Network 12 (рисунок 3.15) відповідає за активацію внутрішнього біта пам'яті %M2.1 (mCnvr1) [57]. mCnvr1 стає активним (логічна "1"), якщо одночасно виконуються кілька умов.

Активний сигнал qH11 (%Q0.3), що вказує на положення жолоба над бункером №1 [29] :

– датчик положення iSq11 (%I0.2) неактивний (нормально закритий контакт замкнений) [8] ;

– датчик положення iSq22 (%I0.4) неактивний;

– датчик положення iSq31 (%I0.6) неактивний;

– датчик положення iSq32 (%I0.7) неактивний;

– датчик положення iSq41 (%I1.0) неактивний;

– датчик положення iSq42 (%I1.1) неактивний;

– додаткова умова – або датчик iSq12 (%I0.3) активний, АБО сигнал qCnvr (%Q0.0) активний. Ця логіка визначає, коли можна подавати матеріал у бункер 1, базуючись на його точному позиціонуванні та стані конвеєра [7].

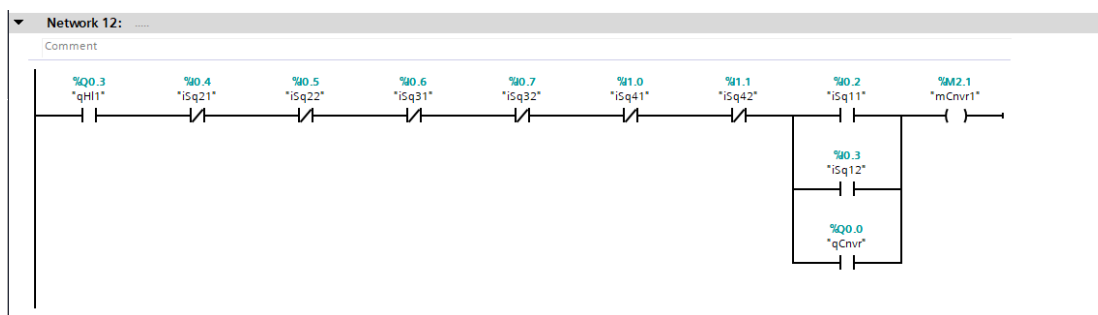


Рисунок 3.15 – Керування сигналом конвеєра для бункера 1

Мережа Network 13 (рисунок 3.16) відповідає за активацію внутрішнього біта пам'яті %M2.2 (mCnvr2)[57]. mCnvr2 стає активним, якщо одночасно виконуються кілька умов.

Активний сигнал qH12 (%Q0.4), що вказує на положення жолоба над бункером №2 [29]:

- датчик положення iSq11 (%I0.2) неактивний [8] ;
- датчик положення iSq12 (%I0.3) неактивний;
- датчик положення iSq31 (%I0.6) неактивний;
- датчик положення iSq32 (%I0.7) неактивний;
- датчик положення iSq41 (%I1.0) неактивний;
- датчик положення iSq42 (%I1.1) неактивний;
- додаткова умова – або датчик iSq21 (%I0.4) активний, АБО сигнал qCnvr (%Q0.0) активний. Ця логіка визначає, коли можна подавати матеріал у бункер 2 [7].

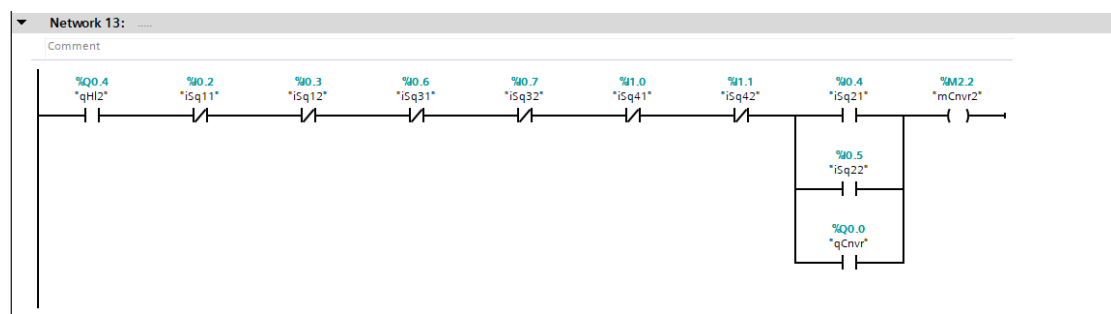


Рисунок 3.16 – Керування сигналом конвеєра для бункера 2

Мережа Network 14 (рисунок 3.17) відповідає за активацію внутрішнього біта пам'яті %M2.3 (mCnvr3) [57]. mCnvr3 стає активним, якщо одночасно виконуються кілька умов.

Активний сигнал qH13 (%Q0.5), що вказує на положення жолоба над бункером №3 [29]:

- датчик положення iSq11 (%I0.2) неактивний [8] ;
- датчик положення iSq12 (%I0.3) неактивний;
- датчик положення iSq21 (%I0.4) неактивний;
- датчик положення iSq22 (%I0.5) неактивний;

- датчик положення iSq41 (%I1.0) неактивний;
- датчик положення iSq42 (%I1.1) неактивний;
- додаткова умова – або датчик iSq32 (%I0.7) активний, АБО сигнал qCnvr (%Q0.0) активний. Ця логіка визначає, коли можна подавати матеріал у бункер 3 [7].

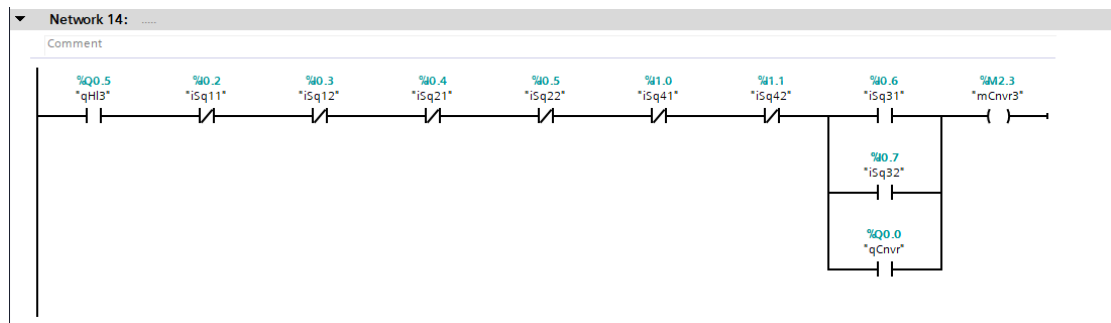


Рисунок 3.17 – Керування сигналом конвеєра для бункера 3

Мережа Network 15(рисунок 3.18) відповідає за активацію внутрішнього біта пам'яті %M2.4 (mCnvr4)[57]. mCnvr4 стає активним, якщо одночасно виконуються кілька умов.

Активний сигнал qH14 (%Q0.6), що вказує на положення жолоба над бункером №4 [29]:

- датчик положення iSq11 (%I0.2) неактивний [8];
- датчик положення iSq12 (%I0.3) неактивний;
- датчик положення iSq21 (%I0.4) неактивний;
- датчик положення iSq22 (%I0.5) неактивний;
- датчик положення iSq31 (%I0.6) неактивний;
- датчик положення iSq32 (%I0.7) неактивний;
- додаткова умова – або датчик iSq41 (%I1.0) активний, АБО сигнал qCnvr (%Q0.0) активний. Ця логіка визначає, коли можна подавати матеріал у бункер 4 [7].

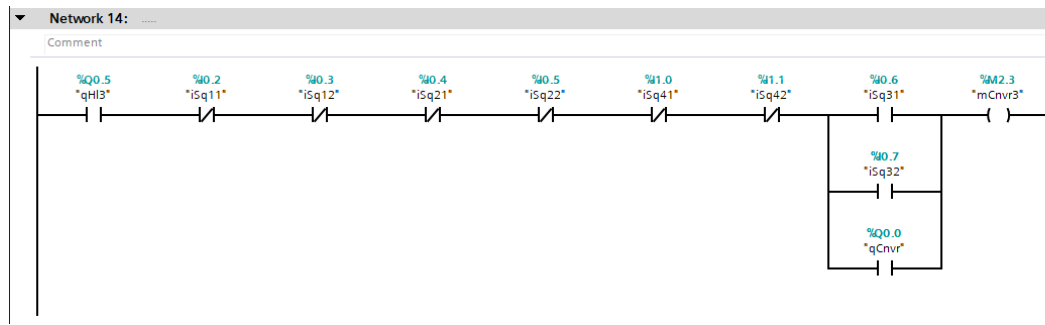


Рисунок 3.18 – Керування сигналом конвеєра для бункера 4

### 3.3 Висновки до третього розділу.

Представлені фрагменти програмного коду, починаючи з Network 3 та до Network 15, а також схеми підключень та таблиця тегів, деталізують систему керування поворотним жолобом для розподілу матеріалу по чотирьох бункерах [39].

Стало можливим узагальнити написане в програмі і коротко і зрозуміло пояснити роботу програми.

Система передбачає механізм виявлення некоректних станів через одночасне спрацювання несумісних датчиків положення [63]. При виявленні такої ситуації активується біт пам'яті %M0.0 (mError), який служить індикатором загальної аварії (рисунок 3.5) [61].

Передбачено ручне скидання сигналу mError за допомогою кнопки %I2.2 (iSbAck), що дозволяє системі вийти з аварійного стану після усунення проблеми (рисунок 3.6) [38].

Система візуально інформує про стан за допомогою індикаторних ламп. Лампа "Помилка" (qH1Error, %Q0.7) активується при наявності mError. Лампи qH1-qH4 (%Q0.3-%Q0.6) індикують положення жолоба над відповідним бункером (рисунок 3.4) [29].

Реалізовано функцію безпеки за допомогою таймера tDel (%DB1) [65]. Він запускається при одночасній активації команд "прямого" (qFw) та "зворотного"

(qVw) ходу, що є неприпустимою ситуацією [25]. Вихід цього таймера (tDel.Q) використовується для блокування будь-яких подальших рухів (рисунок 3.7) [67].

Network 5-8 формують внутрішні дозволи на рух (mFwX та mBwX) для кожного з чотирьох бункерів. Ці дозволи враховують відсутність загальної помилки (mError), режим роботи (iSaMode), сигнал конфлікту (tDel.Q), поточне положення жолоба (qHlX) та сигнали від датчиків положення (iSqX), які блокують рух при досягненні кінцевих або проміжних точок (рисунок 3.8-3.11) [7].

Network 9 є головною мережею для активації фізичних виходів двигунів (qFw - прямий хід, qVw - зворотний хід) [25]. Вона збирає всі умови: дозвіл iSbAck, дозволи mFwX/mBwX, блокування tDel.Q та взаємоблокування напрямків, а також сигнали qHlX та iSqX для безпечного та точного керування рухом (рисунок 3.12) [67].

Network 12-15 формують внутрішні сигнали mCnvrX (для кожного бункера), які, ймовірно, використовуються для керування конвеєром подачі матеріалу [7]. Активація mCnvrX залежить від точного позиціонування жолоба над відповідним бункером (qHlX та певні комбінації iSqXX) та стану головного сигналу конвеєра (qCnvr) (рисунок 3.15-3.18) [29]. Розроблений алгоритм керування забезпечив повну автоматизацію процесу подачі інертних матеріалів, мінімізуючи людський фактор та підвищуючи продуктивність і безпеку експлуатації системи [12].

## ВИСНОВКИ

Актуальність даної кваліфікаційної роботи зумовлена постійно зростаючою потребою промисловості в підвищенні ефективності, зниженні виробничих витрат та забезпеченні безпеки праці при роботі з сипучими матеріалами. Впровадження подібних автоматизованих систем є ключовим фактором для модернізації виробництва та досягнення конкурентних переваг на сучасному ринку.

1. Проведений аналіз об'єкту управління, а саме автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів, дозволяє зробити висновок про її комплексний та інтегрований характер. Застосування сучасних промислових компонентів, таких як стрічковий конвеєр з регульованим приводом та системою безпеки, односекційний бункер з вібраційним розвантаженням та просіюванням, поворотний розподільний пристрій з прецизійним керуванням положенням, дистанційний радіопульт та система візуального моніторингу, свідчить про високий рівень автоматизації та функціональності розглянутої системи.

На підставі виконаного аналізу можна стверджувати, що інтеграція перелічених функціональних блоків під керуванням центрального програмованого логічного контролера (ПЛК) забезпечує ефективне, надійне та безпечне транспортування та розподіл сипких матеріалів. Застосування дискретних датчиків положення та, потенційно, абсолютних енкодерів для керування поворотним розвантажувачем, а також можливість дистанційного керування основними елементами системи, підвищують гнучкість та адаптивність виробничого процесу.

Таким чином, завдяки проведеному аналізу підтверджено, що розглянута автоматизована система керування лінією подачі сипких матеріалів являє собою сучасне та ефективне рішення для оптимізації логістичних процесів, підвищення продуктивності та забезпечення безпеки на промислових підприємствах, що працюють з неструктурованими речовинами.

		№докум.	Підпис					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	63

2. Проведений комплексний аналіз та розробка принципової електричної схеми автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів, виконані з використанням програмного забезпечення SolidWorks, підтверджують високий рівень інженерної деталізації та функціональної повноти проекту. Застосування сучасних промислових стандартів та компонентів, що знайшло відображення у структурі силового та командного кіл, забезпечує надійність, безпеку та ефективність експлуатації всієї системи.

Детальне опрацювання принципової схеми силового кола, включаючи вибір автоматичних вимикачів захисту двигунів, контакторів та виконавчих механізмів (електродвигунів конвеєра, поворотного жолоба та вібраторів), свідчить про глибоке розуміння вимог до навантажень та захисту обладнання. Особлива увага, приділена інтеграції центрального програмованого логічного контролера (ПЛК) CPUXXDIO 8/8 та модуля розширення A13, підкреслює реалізацію інтелектуального керування, що забезпечує гнучкість у виборі режимів роботи (ручний/автоматичний), точне позиціонування поворотного жолоба за допомогою індуктивних датчиків, а також ефективну обробку вхідних та вихідних сигналів.

Таким чином, розроблена принципова електрична схема є не лише технічним документом, а й фундаментальною основою для подальшої реалізації та впровадження автоматизованої лінії подачі сипких матеріалів. Вона гарантує узгоджену роботу всіх компонентів, дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації через чітко структуровану систему аварійної зупинки та діагностики, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню продуктивності, безпеки праці та оптимізації технологічних процесів на промислових підприємствах.

3. Розробка програмного забезпечення керування лінією подачі сипучих матеріалів у середовищі Siemens TIA Portal, детально описана у третій частині кваліфікаційної роботи, є критично важливим етапом у створенні повноцінної та ефективної автоматизованої системи. Вибір та конфігурація програмованого логічного контролера (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC,

разом із модулем розширення, продемонстрували відповідність апаратного рішення усім функціональним вимогам проєкту, забезпечуючи необхідну кількість вхідних/вихідних сигналів та надійну комунікацію.

Створення символьних імен (тегів) для всіх фізичних входів і виходів, а також внутрішніх змінних, значно підвищило читабельність та зручність обслуговування програмного коду, що є запорукою подальшої масштабованості та модифікації системи. Реалізація логіки керування на мові релейно-контактних схем (Ladder Diagram) дозволила візуалізувати алгоритми функціонування, охоплюючи широкий спектр операцій: від керування світловою індикацією та позиціонуванням поворотного жолоба, до складних механізмів обробки аварійних сигналів та взаємоблокувань.

Таким чином, розроблене програмне забезпечення є невід'ємною частиною інтегрованої системи автоматизації. Воно не лише перетворює теоретичні принципи роботи на практичні інструкції для ПЛК, але й забезпечує комплексний контроль за технологічним процесом, мінімізуючи ризики та оптимізуючи ефективність подачі сипких матеріалів. Впроваджені алгоритми обробки помилок, логіки керування рухом та механізми взаємодії з оператором підтверджують, що система готова до безпечної, надійної та продуктивної експлуатації у промислових умовах.

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	
		№докум.	Підпис			65

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електродвигун потужністю 15 кВт [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/gdprazi> (дата звернення: 10.04.2025).

2. Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування : навчальний посібник. Київ.

3. Тросовий вимикач Pizzato FD 1883 [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.gd/heuuik> (дата звернення: 10.04.2025).

4. Лут М. Т., Радько І. П., Тракай В. Г., Чміль А. І. Безпека праці в електроустановках : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2012. 430 с.

5. Бункер інертних матеріалів односекційний [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/gnemaа> (дата звернення: 11.04.2025).

6. Електровібратор OLI – 380В 0,5 кВт [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/fxvdno> (дата звернення: 11.04.2025).

7. Принцип роботи програмованого логічного контролера (ПЛК) [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/eghdyi> (дата звернення: 12.04.2025).

8. Датчики положення AT1/HP-3HNBK [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.lu/kkyfnt> (дата звернення: 12.04.2025).

9. Пульти радіокерування [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/ojnihx> (дата звернення: 13.04.2025).

10. Комплекс камер для відеоспостереження за процесом функціонування пристрою [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.lu/pflclc> (дата звернення: 13.04.2025).

11. Дисплей (монітор) для відеоспостереження [Електронний ресурс]. URL: <https://surl.li/nymqff> (дата звернення: 14.04.2025).

12. Стрілецький Д. Г. Основи автоматизації виробничих процесів. Київ : ВПЦ "Київський університет", 2018.

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ	66
		№докум.	Підпис			

13. ДСТУ ISO 1219-1:2018 (ISO 1219-1:2012, IDT). Гідравлічні, пневматичні та електромеханічні системи та їх компоненти. Графічні символи та принципіві схеми. Частина 1. Графічні символи трубопроводів та елементів керування. Київ : Держстандарт України, 2018.

14. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII.

15. Автоматизація технологічних процесів. Датчики та виконавчі пристрої [Електронний ресурс]. URL: [https://www.meandr.in.ua/automation/sensors\\_and\\_actuators/](https://www.meandr.in.ua/automation/sensors_and_actuators/) (дата звернення: 15.04.2025).

16. Діагностика та налагодження систем автоматизації [Електронний ресурс]. URL: <https://www.control.ua/service/diagnostika-i-naladka-sistem-avtomatizacii/> (дата звернення: 15.04.2025).

17. Будьонний В. М., Коробко С. Ф., Скриннік В. А. Електроприводи та системи керування. Вінниця : ВНТУ, 2019.

18. Модульні системи автоматизації [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/2704-modicon-m221/> (дата звернення: 16.04.2025).

19. Електричні схеми силових кіл [Електронний ресурс]. URL: <https://www.electrolab.com.ua/statti/elektrichni-shemy/> (дата звернення: 16.04.2025).

20. Клемні колодки та роз'єми [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eaton.com/ua/uk/products/electrical-components/terminal-blocks.html> (дата звернення: 17.04.2025).

21. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ, 2017.

22. Автоматичні вимикачі та розмикачі [Електронний ресурс]. URL: <https://www.schneider-electric.ua/uk/product-range/2544-actidis--i-s-range-of-switches-and-disconnectors/> (дата звернення: 17.04.2025).

		№докум.	Підпис				КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ		67

23. Автомати захисту електродвигунів [Електронний ресурс]. URL: <https://www.etk-komplekt.ua/ua/catalog/avtomaty-zahystu-elektrodvyguniv/> (дата звернення: 18.04.2025).

24. Контактори та магнітні пускачі [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eaton.com/ua/uk/products/electrical-components/contactors.html> (дата звернення: 18.04.2025).

25. Реверсивні схеми керування електродвигунами [Електронний ресурс]. URL: <https://www.elektro.com.ua/news/173-revers-dvigatelya.html> (дата звернення: 19.04.2025).

26. Модульні автоматичні вимикачі [Електронний ресурс]. URL: <https://www.legrand.ua/ua/produkty/modulni-avtomatychni-vimikachi/> (дата звернення: 19.04.2025).

27. Запобіжники електричні [Електронний ресурс]. URL: <https://www.volt.ua/catalog/predohraniteli-elektricheskie-t1030/> (дата звернення: 20.04.2025).

28. Джерела живлення постійного струму [Електронний ресурс]. URL: <https://www.meanwell.ua/uk/catalog/dc-power-supplies/> (дата звернення: 20.04.2025).

29. Світлосигнальна арматура [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eaton.com/ua/uk/products/electrical-components/indicator-lights.html> (дата звернення: 21.04.2025).

30. Проміжні реле [Електронний ресурс]. URL: <https://www.etk-komplekt.ua/ua/catalog/promizhni-rele/> (дата звернення: 21.04.2025).

31. Кнопки керування та перемикачі [Електронний ресурс]. URL: <https://www.schneider-electric.ua/uk/product-range/770-harmony-pushbuttons-switches-and-indicator-lights/> (дата звернення: 22.04.2025).

32. Реле часу [Електронний ресурс]. URL: <https://www.etk-komplekt.ua/ua/catalog/rele-chasu/> (дата звернення: 22.04.2025).

					КВРАКІТ.021033.01.06.ПЗ		
		№докум.	Підпис				68



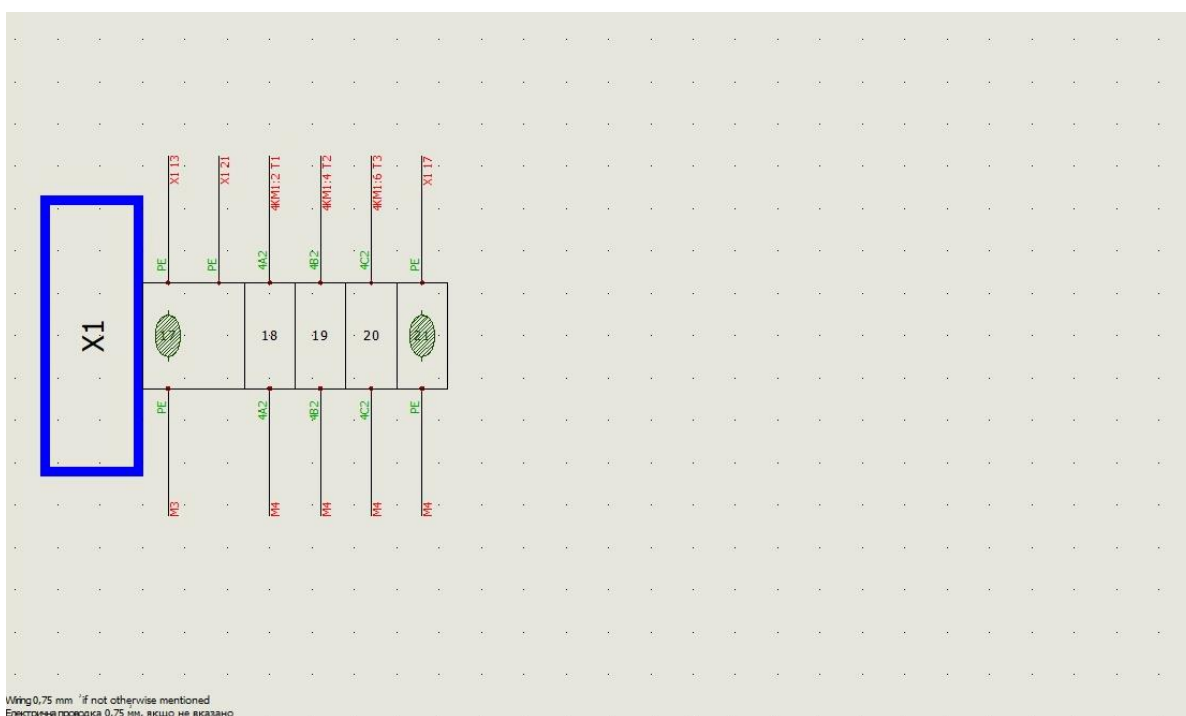
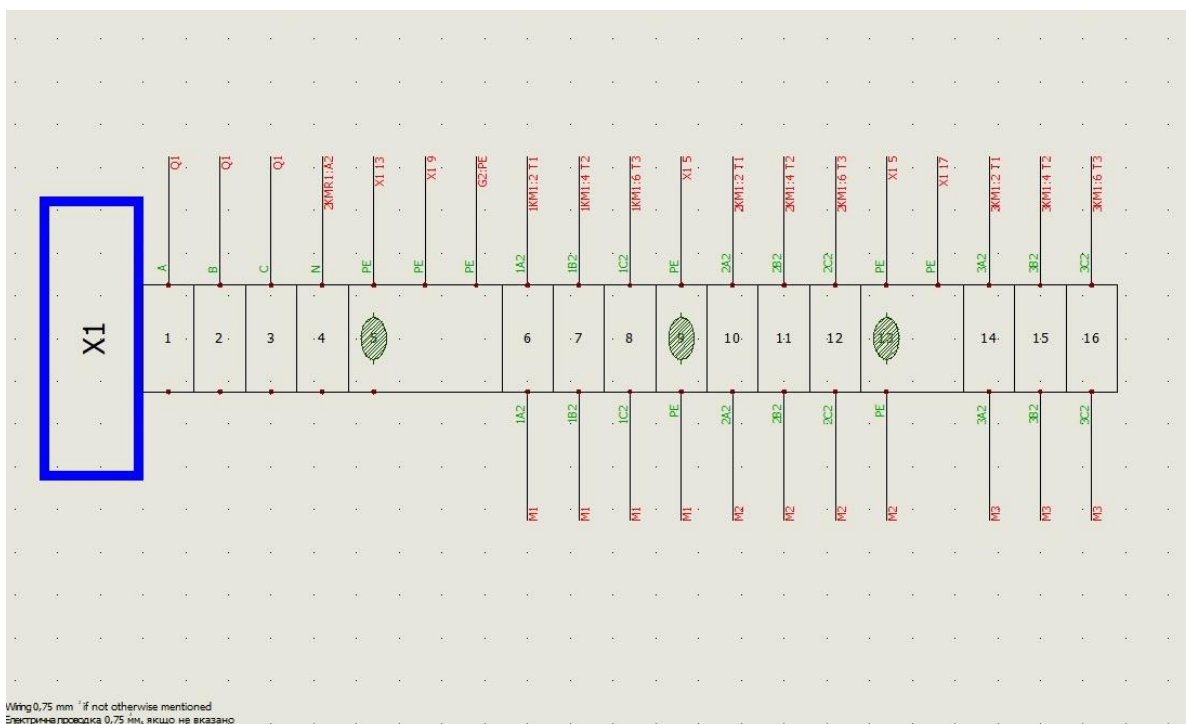






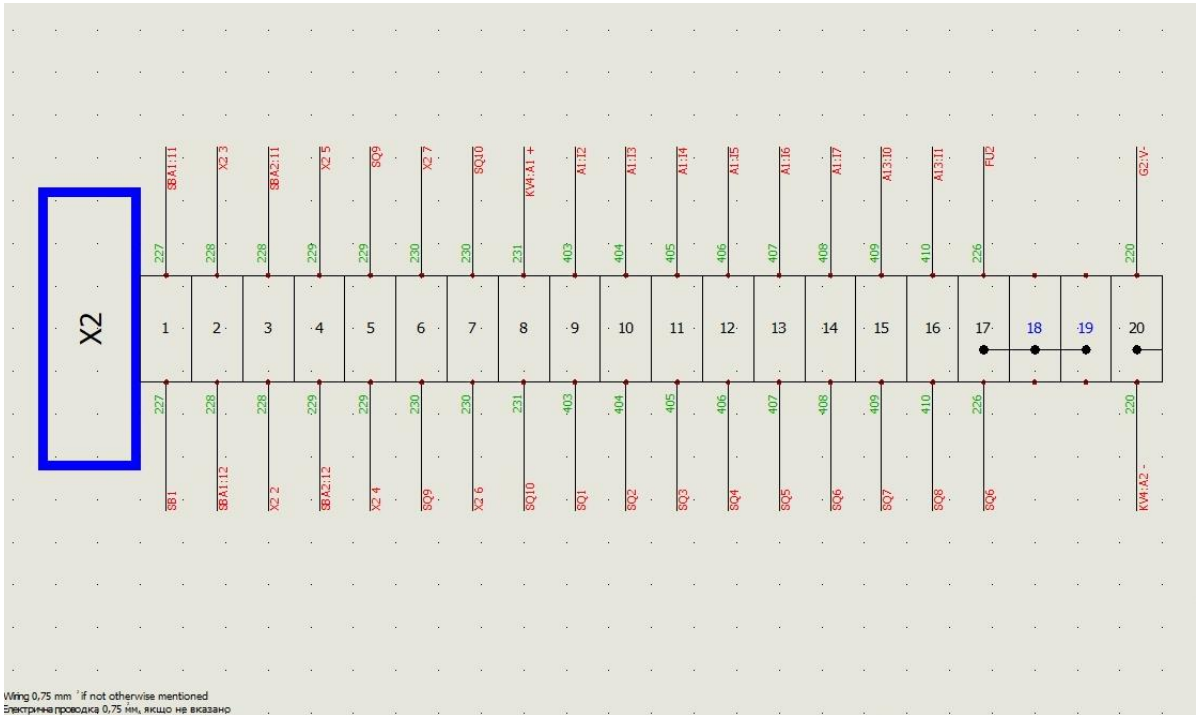
# ДОДАТОК А

## Клемна колодка X1

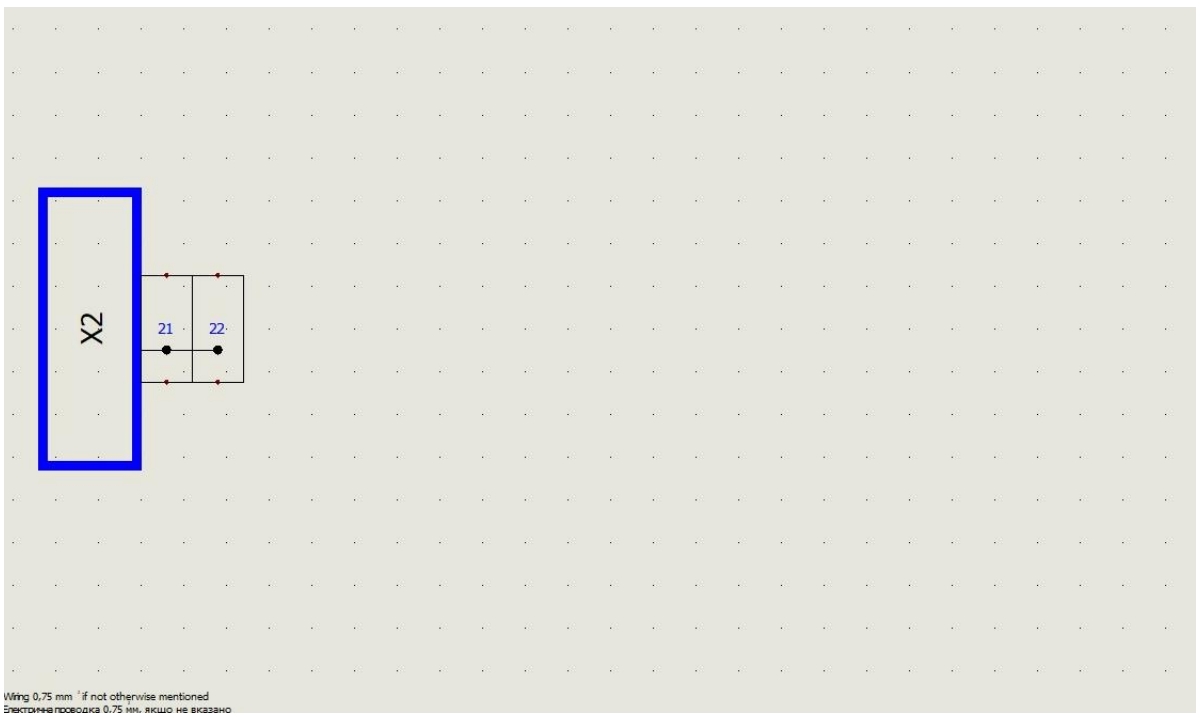


# ДОДАТОК Б

## Клемна колодка X2



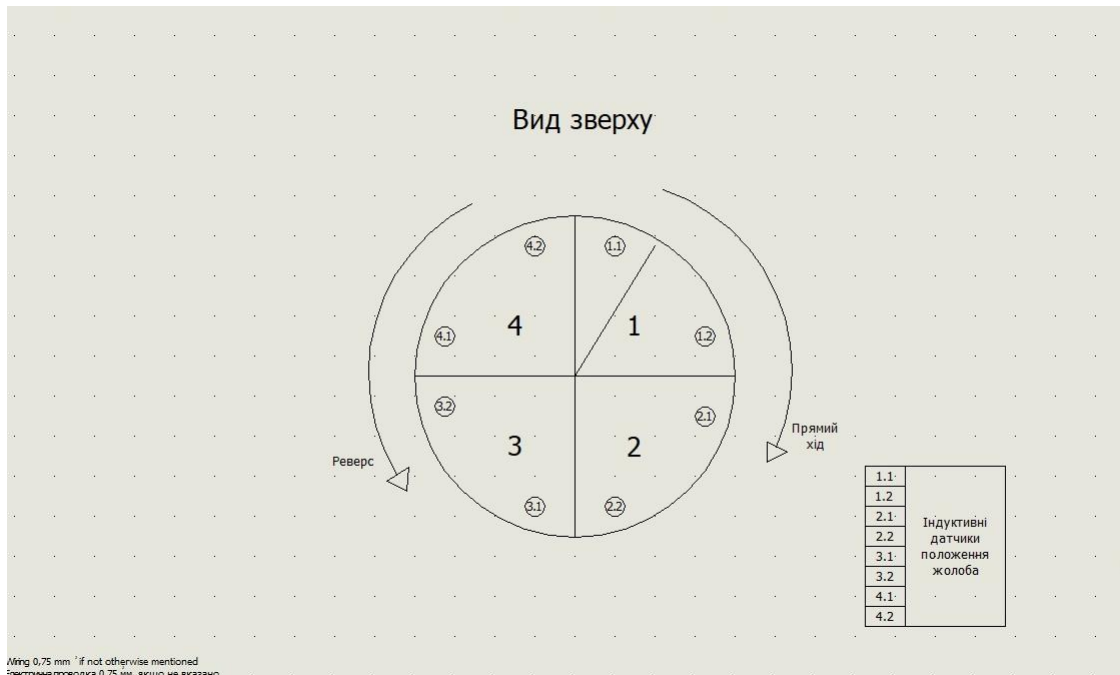
Wiring 0,75 mm<sup>2</sup> if not otherwise mentioned  
 Електрична провідка 0,75 мм, якщо не вказано



Wiring 0,75 mm<sup>2</sup> if not otherwise mentioned  
 Електрична провідка 0,75 мм, якщо не вказано

# ДОДАТОК В

## Схематичне зображення індуктивних датчиків положення поворотного жолоба



РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Захарчук Андрій Віталійович

Тема: Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 75

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка пристрою автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів на основі сучасної мікропроцесорної техніки.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі було здійснено аналіз та представлено основні компоненти автоматизованої системи керування лінією подачі сипких матеріалів.

У другому розділі була детально розроблена принципова електрична схема автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів, яка охоплює силове та командне кола, схеми підключення контролера (ПЛК) та модулів розширення, а також систему аварійної зупинки, а також розглянуто функціонування кожного компонента та їхню взаємодію для забезпечення ефективного, безпечного та надійного керування процесом.

У третьому розділі було детально описано розробку програмного забезпечення для автоматизованої лінії подачі сипучих матеріалів за допомогою середовища Siemens TIA Portal [39, 40].

4. Позитивні сторони роботи: Цінність даної роботи полягає у створенні повної, функціональної та безпечної системи автоматизації подачі сипучих матеріалів, що базується на розроблених електричних схемах і програмному забезпеченні. Це дозволяє значно підвищити ефективність, продуктивність та безпеку промислових процесів, одночасно зменшуючи експлуатаційні витрати.

5. Негативні сторони роботи: У роботі недостатньо уваги приділяється аналізу та порівнянню існуючих технічних рішень для автоматизації подачі сипучих матеріалів, що обмежує можливість глибшої оцінки переваг обраних компонентів та методів керування.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (5,0/А)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Чешун Віктор Миколайович

канд техн. наук, доц.

доцент кафедри кібербезпеки

"20" червня 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Захарчук Андрій Віталійович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курс, групи АКІТ-21-1

### ЗАЯВА

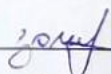
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2025

дата

  
підпис

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Андрій ЗАХАРЧУК

**Співавтор:**

**Назва:** Дипломна Захарчука Андрія антиплагіат

**Експерт:**

**Підрозділ:** Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

**Коефіцієнт подібності 1:** 0.1%

**Коефіцієнт подібності 2:** 0%

**Мікропробіли:** 2

**Заміна букв:** 0

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 1

**Дата створення звіту:** 2025-06-18 19:48:13.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

**Обґрунтування:**

2025-06-19

Доцент Микола Федула

Дата

експерт

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 246798 Title: БКР Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів Added in a DB: 2025-06-18 Authors: Андрій ЗАХАРЧУК Heads: Микола ФЕДУЛА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	86990	645	606 (1%)	11 (2%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Пристрій автоматизованого керування лінією подачі сипучих матеріалів

Автор: Захарчук Андрій Віталійович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, к. т. н. доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,1 % і адресується до 67 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Микола ФЕДУЛА