

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

Буркацький Олександр Анатолійович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ
ПРОЦЕСОМ ВИРОБНИЦТВА ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ
АНАЛІТИКИ ДАНИХ / AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE
TECHNOLOGICAL PROCESS OF CHEMICAL PRODUCTION BASED ON
DATA ANALYTICS

спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
фахове спрямування – Комп'ютеризовані системи управління та автоматика

Дипломна робота за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр"

Виконав студент групи АКІТ-41
Буркацький О. А.

Науковий керівник:
к.т.н., Гуменний П.В.

Дипломну роботу допущено до захисту:
« ____ » _____ 20__ р.

Завідувач кафедри
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін

“ _____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Буркацькому Олександрю Анатолійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва
хімічних речовин на основі аналітики даних/
Automated control system for the technological process of chemical production based on
data analytics

керівник роботи к.т.н., Гуменний П.В.

затверджені наказом по університету від ”12” грудня 2024 р. №753

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
10.05.2025р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Технологічне обладнання для виробництва хімічних речовин
2. Сенсори контролю температури, тиску, рівня, витрати речовин
3. Засоби автоматизації та керування технологічними процесами (ПЛК, SCADA)

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз сучасних систем автоматизації у хімічній промисловості
2. Розроблення структури автоматизованої системи керування
3. Розроблення програмного забезпечення для ПЛК S7-1200 та моделі в Simulink
4. Проведення імітаційного моделювання і аналізу ефективності керування

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема автоматизованої системи керування
2. Функціональна схема керування технологічним процесом
3. Схема взаємодії сенсорів та виконавчих механізмів з ПЛК
4. Блок-схема алгоритму роботи програми ПЛК
5. Модель системи у середовищі Simulink з передаточними функціями
6. Графіки реакції системи на одиничний вплив

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гуменний П.В.		
2	Гуменний П.В.		
3	Гуменний П.В.		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем автоматизації в хімічній промисловості	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Розроблення структури автоматизованої системи керування технологічним процесом	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розроблення програмного забезпечення та математичного моделювання елементів системи	04.2025р. – 05.2025р.	
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2025р. – 10.05.2025	

Студент

(підпис)

Буркацький О.А.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Гуменний П.В.

АНОТАЦІЯ

Буркацький О. А. Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин на основі аналітики даних. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі проведено аналіз сучасних підходів до автоматизації технологічних процесів у хімічній промисловості. На основі зібраних даних розроблено структуру автоматизованої системи керування, що дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз та регулювання основних параметрів процесу виробництва хімічних речовин.

Побудовано структурну та функціональну схему системи, розроблено програмне забезпечення для контролера Siemens S7-1200 у середовищі TIA Portal. Проведено математичне моделювання ключових елементів технологічного процесу з використанням Simulink, включаючи передаточні функції основних контурів управління.

Результати роботи підтверджують ефективність запропонованого підходу до автоматизації з можливістю подальшого масштабування та інтеграції аналітичних інструментів для покращення якості керування.

ANNOTATION

Burkatskyi O.A.

Automated Control System for the Technological Process of Chemical Production Based on Data Analytics. – Manuscript.

Bachelor's thesis submitted for the degree of Bachelor in specialty 151

"Automation and Computer-Integrated Technologies",
educational and professional program. – West Ukrainian National University,
Ternopil, 2025.

This work analyzes modern approaches to the automation of technological processes in the chemical industry. Based on the collected data, the structure of an automated control system was developed, enabling real-time monitoring, analysis, and regulation of key parameters in the chemical production process.

A structural and functional diagram of the system was constructed, and control software for the Siemens S7-1200 controller was developed using the TIA Portal environment.

Mathematical modeling of key process components was carried out in Simulink, including the derivation of transfer functions for the main control loops.

The results confirm the effectiveness of the proposed automation approach, with the potential for further system scalability and integration of analytical tools to improve control quality.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	9
1.1 Тенденції розвитку ПЛК в системі автоматичного управління.....	9
1.2 Аналіз фасування продукції.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.3 Аналіз об'єкту автоматизації.....	Ошибка! Закладка не определена.
2. ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ ФІЛЬТРАЦІХ ХІМІЧНИХ ВІДХОДІВ.....	32
2.1 Розробка структурної схеми системи керування	32
2.2 Розробка функціональної схеми системи	33
2.3 Вибір та аналіз компонентів пакувальної лінії	Ошибка! Закладка не определена.
3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАКУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	Ошибка!
3.1 Обґрунтування вибору ПЛК та його значення в автоматизації	Ошибка!
3.2 Вибір та налаштування середовища програмування.	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Розробка програмного забезпечення.....	63
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Буркацький			Система керування процесом виробництва хімічних речовин на основі аналітичних даних	Літ.	Арк.
Перевірив.		Гуменний П.В.					Акрушів
Консульт.							
Н. Контр.						5	79
Затверд.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні досягнення в галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій відкрили широкі можливості для побудови ефективних систем керування складними технологічними процесами. Одним із таких є процес виробництва хімічних речовин, який вимагає постійного моніторингу та точного регулювання таких параметрів, як температура, тиск, концентрація компонентів. Враховуючи складність та потенційну небезпеку хімічного виробництва, актуальність автоматизованих систем, що дозволяють зменшити людський фактор та підвищити безпеку й ефективність процесів, є надзвичайно високою.

У сучасних умовах підвищених вимог до якості продукції та енергоефективності, підприємства прагнуть до впровадження інтелектуальних систем управління, що базуються на аналізі реальних виробничих даних. Такі системи здатні не лише реагувати на зміни параметрів у реальному часі, але й прогнозувати можливі відхилення, пропонувати або самостійно впроваджувати коригувальні дії. Для реалізації таких підходів використовуються програмовані логічні контролери (ПЛК), сенсори, SCADA-системи та алгоритми обробки даних[5].

У даному дипломному проєкті розробляється автоматизована система моніторингу та керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин, яка дозволяє в реальному часі відслідковувати ключові технологічні параметри та автоматично коригувати технологічний режим на основі аналізу вхідних даних. На відміну від класичних систем, що потребують постійного нагляду операторів, запропонована система дозволяє мінімізувати участь людини в оперативному управлінні, підвищити точність регулювання та зменшити ризики аварійних ситуацій.

Розробка такої системи є особливо актуальною в умовах необхідності дотримання суворих стандартів безпеки та якості у хімічній галузі. Завдяки застосуванню сучасних сенсорів, ПЛК, алгоритмів аналізу даних та засобів

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

візуалізації, можливо створити гнучку, адаптивну та надійну систему керування, яка сприяє підвищенню ефективності виробництва та зниженню витрат.

Управління різними процесами без втручання людини називається автоматичним управлінням, а технічні засоби, за допомогою яких воно здійснюється - засобами автоматики. Технологічний процес і конструкція технологічної машини при цьому підході залишаються без змін. Недоліком цього підходу є те, що технологічні процеси неавтоматизованого виробництва десятиліттями створювались і вдосконалювались у відповідності із обмеженими функціональними можливостями людини.

Мета роботи.Розробка автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин із функціями моніторингу параметрів (температура, тиск, концентрація) та автоматичного коригування режимів на основі аналізу вхідних даних.

Предметом дослідження. Програмне забезпечення та апаратні засоби для реалізації автоматизованої системи керування з функцією аналітики даних у хімічному виробництві.

Об'єкт дослідження.Технологічний процес виробництва хімічних речовин, що вимагає автоматичного моніторингу та управління його параметрами.

Методи дослідження.Методологія дослідження базується на застосуванні математичного моделювання, аналізу даних, синтезу логічних структур управління, експериментального порівняння різних режимів, узагальнення отриманих результатів.

Практичне значення одержаних результатів.Розроблено проект автоматизованої системи, що включає схему керування, алгоритм регулювання параметрів, інтерфейс моніторингу та модулі обробки вхідних даних. Система дозволяє зменшити ризики порушень технологічного режиму, підвищити якість продукції та забезпечити стабільність виробництва.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Напрямки подальшого розвитку.Подальший розвиток передбачає впровадження систем штучного інтелекту для прогнозування відхилень у технологічному процесі, автоматичної діагностики несправностей та побудови адаптивних моделей самонавчання на основі історичних виробничих даних.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Тенденції розвитку ПЛК в системі автоматичного управління

Автоматизоване управління технологічними процесами відіграє ключову роль у сучасному виробництві, особливо у таких критично важливих галузях, як хімічна промисловість. Його основна мета — забезпечити стабільне функціонування керованого об'єкта без постійного втручання людини, з дотриманням заданих параметрів (температура, тиск, концентрація) і оперативним реагуванням на відхилення. Це дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити точність регулювання, зменшити витрати ресурсів і покращити загальну ефективність виробництва.

У таких умовах програмовані логічні контролери (ПЛК) стали основним елементом систем автоматизованого управління. Завдяки своїй надійності, гнучкості та здатності працювати в режимі реального часу, ПЛК забезпечують реалізацію складних алгоритмів керування, контроль за технологічними параметрами, обробку сигналів від сенсорів та керування виконавчими механізмами.

Особливе значення в останні роки мають ПЛК нового покоління, які підтримують підключення до мереж, інтеграцію з SCADA-системами та мають вбудовані засоби збору та аналізу даних. У поєднанні з системами аналітики, ПЛК дозволяють реалізувати не лише класичне автоматичне регулювання, але й інтелектуальні функції — прогнозування, виявлення аномалій, автоматичне налаштування параметрів. Це надзвичайно важливо для хімічного виробництва, де відхилення технологічних параметрів навіть на незначні величини можуть призвести до втрати якості або аварійних ситуацій.

					ДП.СІ.07314/12.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Автоматизовані системи на основі ПЛК широко використовуються для:

- моніторингу та підтримки стабільних умов технологічного процесу;
- запуску, зупинки та діагностики обладнання;
- інтеграції з системами зборуданих та хмарними платформами;
- реалізації адаптивного керування на основі реального виробничого середовища.

У більшості випадків ПЛК працюють у складі комплексної системи керування, що включає сенсори (наприклад, датчики температури, тиску, рівня рН), інтерфейси введення-виведення, людино-машинні інтерфейси (НМІ) та програмне забезпечення для візуалізації й аналізу даних.

Таким чином, тенденції розвитку ПЛК спрямовані не лише на підвищення апаратної потужності та надійності, але й на глибшу інтеграцію з інформаційними технологіями, що забезпечує побудову гнучких, масштабованих і «розумних» систем управління.

Формалізоване представлення процесу керування зображено на (рисунку 1.1).

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

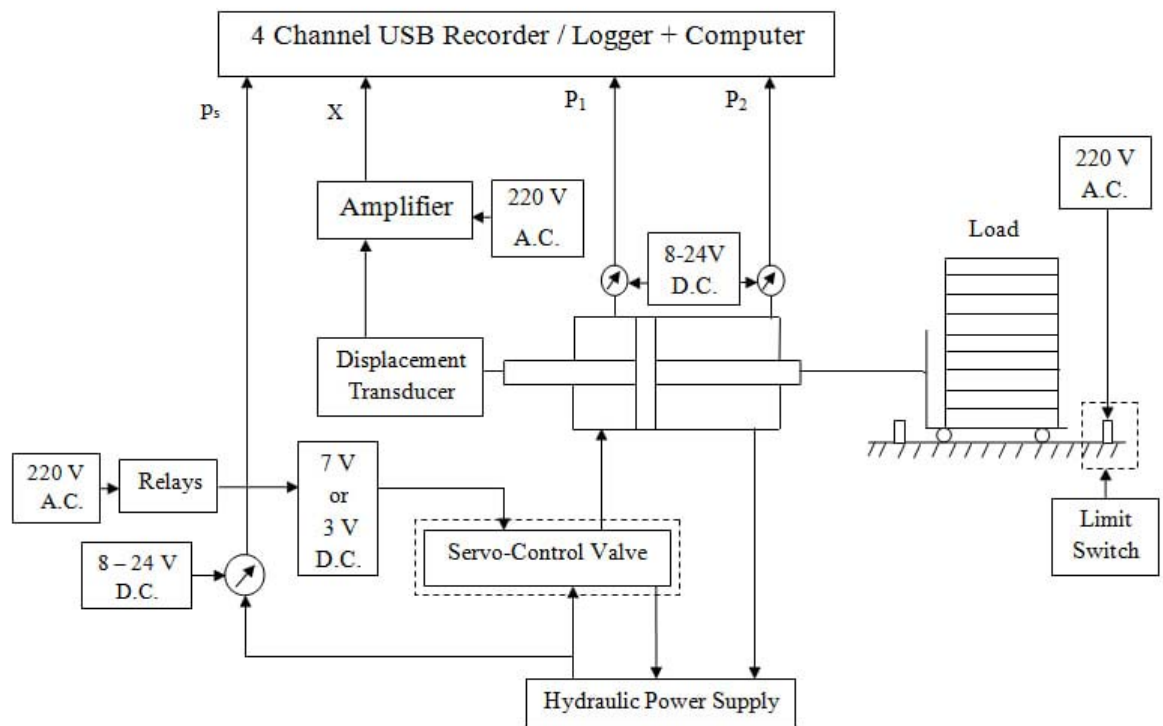


Рисунок 1.1 – Формалізоване представлення процесу керування

Стан керованого об'єкта в автоматизованій системі визначається сукупністю регульованих фізичних величин $Y_j(t)$, які мають відповідати певним заданим значенням. До таких величин можуть належати температура, тиск, рівень, витрата, швидкість тощо — залежно від галузі застосування. На ці параметри впливають внутрішні процеси та зовнішні дії — входні змінні $X_i(t)$, що надходять до системи у вигляді сигналів або функцій.

Динамічний аналіз систем автоматизованого управління (САУ) дозволяє оцінити її точність, стабільність і здатність до адаптації у змінних умовах. Однією з ключових умов працездатності САУ є її стійкість — здатність зберігати задану поведінку при збуреннях або відхиленнях в параметрах.

Програмовані логічні контролери (ПЛК) — це пристрої, що історично закріпили за собою центральну роль у таких системах. Ще в 1969 році вони були вперше застосовані в автомобільній промисловості США як альтернатива жорстким реле-ним схемам керування. З того часу ПЛК зазнали значної

еволюції, зберігши при цьому свою функціональну суть: гнучке програмоване управління на основі цифрової логіки[4].

Типовий ПЛК — це мікропроцесорний пристрій з визначеним числом дискретних та аналогових входів і виходів, до яких підключаються сенсори, давачі та виконавчі механізми. За допомогою програмного забезпечення користувач може змінювати алгоритм роботи ПЛК без втручання в його апаратну структуру, що значно полегшує модифікацію та обслуговування промислових систем.

Сфера застосування ПЛК сьогодні охоплює практично всі галузі промисловості, зокрема:

- хімічну промисловість (контроль за реакціями, рівнем, температурою, витратами);
- енергетику (керування генераторами, розподілом навантаження);
- машинобудування та робототехніку;
- транспорт (керування естакадами, ліфтами, залізничними переїздами);
- харчову промисловість (автоматизовані лінії розливу, фасування).
- Сучасні тенденції розвитку ПЛК спрямовані на:
 - підвищення швидкодії — для забезпечення керування у режимі реального часу навіть за високої динаміки процесу;
 - інтеграцію з ІТ-системами (MES, SCADA, ERP, хмарами);
 - розширення комунікаційних можливостей — підтримка протоколів Modbus, Profibus, Ethernet/IP, OPC UA тощо;

- зростання рівня захищеності — вбудовані засоби захисту від електромагнітних завад, імпульсних перенапруг, електростатичних розрядів;
- гнучкість модульної архітектури — що дозволяє масштабувати систему залежно від складності виробництва.

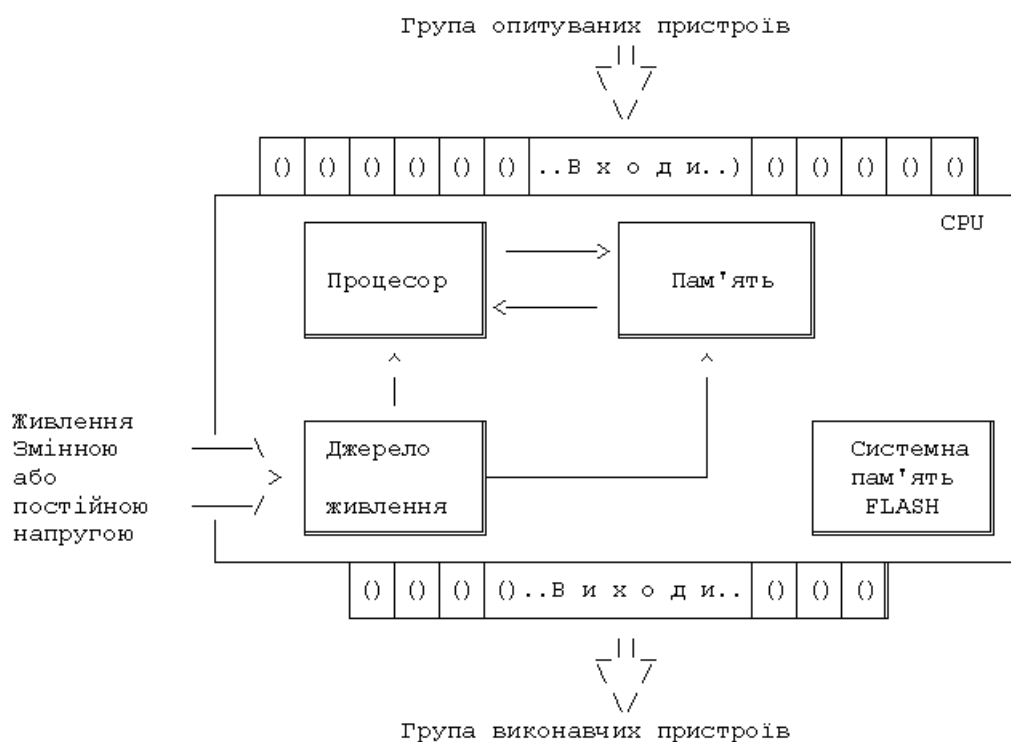


Рисунок 1.2 – Алгоритм роботи ПЛК

Програмований логічний контролер (ПЛК) є дискретною керуючою системою, здатною автоматично здійснювати аналіз вхідної інформації з об'єкта керування, приймати рішення згідно із заздалегідь заданим алгоритмом і відповідним чином формувати сигнали керування на виходах. ПЛК має обмежену, але достатню кількість входів, до яких підключаються сенсори або перемикачі, та виходів — для взаємодії з виконавчими механізмами, такими як реле, електродвигуни, пускачі тощо.

У своїй роботі контролер циклічно виконує опитування вхідних сигналів, обробку даних за допомогою користувацького програмного алгоритму і формування вихідних сигналів. Цей цикл отримав назву робочий цикл ПЛК, і

він відбувається постійно з фіксованим інтервалом часу, забезпечуючи безперервність керування навіть у складних технологічних процесах. Основу обробки складають дискретні алгоритми, що повторюються з високою частотою, наближаючи цифрову логіку до умов реального часу.

Основна функціональність ПЛК реалізується за допомогою програмного забезпечення, яке дозволяє гнучко задавати логіку роботи контролера. Завдяки підтримці стандартизованих мов програмування, таких як мови з пакету ІЕС 61131-3 (LD, FBD, ST, IL, SFC), розроблені алгоритми є портативними — їх можна переносити між різними моделями ПЛК без суттєвих змін.

На ранніх етапах розвитку ПЛК були орієнтовані переважно на реалізацію простих послідовних логічних операцій (що й дало підставу включити слово «логічний» до назви). Проте з часом функціональні можливості значно розширилися: сучасні ПЛК можуть здійснювати аналогову обробку сигналів, управління електроприводами, реалізацію ПД-регуляторів, взаємодію з системами візуалізації, а також обмін даними по мережі з іншими пристроями та системами.

Щодо конструктивного виконання, ПЛК можуть бути дуже різними: від компактних міні-контролерів, призначених для локальних або допоміжних задач, до модульних багатоканальних систем, що займають кілька монтажних рейок у щитовому обладнанні. Така гнучкість дозволяє використовувати ПЛК як у простих локальних рішеннях (наприклад, автоматичне керування насосом), так і в складних розподілених системах керування з великою кількістю об'єктів і точок контролю.

Варто підкреслити, що ще однією перевагою сучасних ПЛК[4] є доступність програмування — інтерфейси розробки створені з урахуванням потреб інженерів, які не мають глибоких знань в області програмування. Це відкриває широкі можливості для застосування таких пристроїв у різноманітних галузях без потреби в залученні ІТ-фахівців.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14



Рисунок 1.3 –Програмований логічний контролер

Під архітектурою програмованого логічного контролера (ПЛК) розуміють сукупність основних функціональних блоків пристрою та взаємозв'язків між ними (див. рисунок 1.3). Типова конфігурація включає центральний процесор (ЦП), оперативну та постійну пам'ять, вхідні/вихідні модулі (I/O), а також комунікаційні інтерфейси. У деяких випадках ця структура доповнюється такими елементами, як панель оператора, програмуючий термінал, засоби візуалізації, принтери, клавіатура, миша або інші пристрої взаємодії з користувачем[4].

Після подачі живлення контролер автоматично виконує процедуру самодіагностики: перевіряється справність апаратних компонентів, ініціалізуються ресурси, очищується оперативна пам'ять, перевіряється цілісність прикладного коду. Якщо користувацька програма успішно завантажена до ПЗП або флеш-пам'яті, контролер переходить у основний режим роботи, що полягає у циклічному виконанні алгоритму.

Фази робочого циклу ПЛК:

1. Ініціалізація циклу.
2. Зчитування сигналів з входів.
3. Обробка даних та виконання користувацької програми.
4. Формування та запис сигналів на виходи.

5. Обслуговування вбудованих апаратних засобів.
6. Виконання системного моніторингу та підтримки ПЗ.
7. Контроль загального часу виконання циклу.
8. Перехід до нового циклу.

Одним з основних технічних параметрів ПЛК є кількість каналів введення/виведення, яка визначає масштаб і призначення пристрою. Згідно з цією ознакою ПЛК поділяються на:

- Нано-ПЛК – до 16 I/O-каналів;
- Мікро-ПЛК – від 16 до 100 каналів;
- Середні ПЛК – від 100 до 500 каналів;
- Великі ПЛК – понад 500 каналів.

Завдання процесорного модуля ПЛК:

- зчитування сигналів з модулів введення та передача керуючих команд до модулів виводу;
- взаємодія з програмуємим пристроєм;
- генерація часових міток у реальному часі;
- обмін даними через промислові мережі;
- реалізація мережевих протоколів (через допоміжні комунікаційні процесори);
- завантаження та запуск операційної системи контролера;
- ініціалізація користувацького прикладного програмного модуля;
- керування доступом до пам'яті та ресурсів системи.

Сучасні ПЛК орієнтовані на надійну тривалу роботу в умовах виробництва, часто в агресивних середовищах. Високоякісний контролер має бути легко програмованим, простим в обслуговуванні, підтримувати самодіагностику, володіти зручною та уніфікованою системою розробки програм. Окрім локального використання, ПЛК також ефективно інтегруються в багаторівневі автоматизовані системи керування підприємством, де виступають ключовими вузлами розподіленої логіки [12].

Програмування ПЛК

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Упродовж останніх десятиліть з'явилася низка технологічних мов програмування, спеціально адаптованих для керування автоматизованими системами. З метою уніфікації підходів, Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) розробила стандарт IEC 61131-3, що охоплює основні мови програмування ПЛК. Виробники зобов'язані підтримувати цей стандарт, надаючи користувачам інтерфейси з однаковим функціональним змістом, незалежно від типу контролера.

Стандартні мови програмування ПЛК:

- SFC (SequentialFunctionChart) — мова послідовних функціональних блоків;
- FBD (FunctionBlockDiagram) — блокова мова, що базується на логічних елементах;
- LD або LAD (LadderDiagram) — релейна схема, близька за виглядом до електричних принципових схем;
- ST або STL (StructuredText) — структурований текст, високорівнева мова програмування.
- IL (InstructionList) — інструкційна мова низького рівня, схожа на асемблер.

Мова LD (або KOP – від нім. Kontaktplan) зручна для спеціалістів, що звикли до схем релейної логіки. FBD візуально нагадує схеми логічних елементів. Вибір мови зазвичай залежить від досвіду програміста або вимог проекту, хоча більшість сучасних середовищ розробки дозволяють конвертацію програмного коду між мовами, забезпечуючи додаткову гнучкість [10].

1.2 Аналіз фасування продукції

Процес пакування є невід'ємною частиною виробництва хімічних речовин, особливо якщо мова йде про фасування продукції (наприклад, хімічних реагентів, миючих засобів, дезінфекторів тощо) у споживчу тару. Автоматизація ліній пакування забезпечує високу точність, зменшення витрат часу та зниження впливу людського фактора[1].

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Типова автоматизована пакувальна лінія (як описано вище на прикладі Траурacker) виконує повний цикл пакування, однак у контексті сучасної цифровізації все частіше виникає потреба не тільки в автоматизації механічних процесів, а й у зборі та обробці даних для прийняття оптимізаційних рішень.

Крім традиційних модулів (формування лотка, запайка, термозбіжна упаковка), сучасні пакувальні лінії часто оснащуються:

- PLC-контролерами, які керують послідовністю дій та отримують сигнали з сенсорів і виконавчих пристроїв;
- Сенсорами ваги, тиску, об'єму та температури, що дозволяє в режимі реального часу контролювати якість пакування;
- HMI-панелями для зручної взаємодії оператора з системою;
- Промисловими мережами (наприклад, Profibus, EtherCAT) для обміну даними між модулями.
- SCADA-системами, які здійснюють моніторинг, зберігання, обробку даних і формування аналітичних звітів
- Інтеграцією з базами даних або хмарними сервісами для централізованого збору статистики по продуктивності, помилках, простоях тощо

Сучасна автоматизована система керування, реалізована в рамках дипломного проекту, має враховувати не лише автоматизацію пакувального процесу, але й реалізацію аналітики даних, яка дає змогу:

- Визначати вузькі місця (bottlenecks) у виробничому ланцюжку;
- Прогнозувати потребу у технічному обслуговуванні на основі історичних даних (predictivemaintenance);
- Вести облік кількості упакованої продукції, втрат матеріалу, простоїв тощо;
- Виконувати оптимізацію розподілу ресурсів наприклад, перенаправлення потоків продукції при перевантаженні одного з модулів лінії;
- Впроваджувати адаптивне керування – наприклад, автоматичне зниження швидкості пакування у разі виявлення дефектів у тарі або зміни умов навколишнього середовища;

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

У системі SCADA, що взаємодіє з пакувальною лінією, може бути реалізовано аналітичну панель (Dashboard), яка включає:

- Графіки продуктивності по годинах/змінах;
- Виявлення та візуалізація критичних помилок;
- Аналітику простоїв та причин зупинок;
- Прогноз на основі трендів (наприклад, коли досягнеться ліміт обслуговування певного вузла);
- Інтеграцію з ERP-системами для передачі даних у загальну систему обліку



Рисунок 1.4 – Сортивальна лінія для хімічних відходів

Для забезпечення безперервності та ефективності технологічного процесу на підприємствах хімічної промисловості особливе значення має правильна організація пакування і сортування продукції та побічних відходів. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати простір на складі, але й забезпечити належний облік та ідентифікацію упакованих хімічних речовин, а також безпечне поводження з відходами[6].

Сортивальна лінія (рисунок 1.4) виконує функції попереднього сортування продукції, що надходить з основної виробничої лінії, її групування, пакування термозбіжною плівкою та подальшого транспортування до

термотунелю. Така система активно використовується як для основної продукції (наприклад, герметичний контейнер з хімічними реагентами), так і для упакування побічних продуктів або відходів, які потребують спеціального поводження

Комплект пакувальної лінії включає:

- Термотунель — модуль для створення термостабільного середовища, що забезпечує щільну посадку термозбіжної плівки на груповій упаковці;
- Напіваавтоматичний термоніж — пневматичний пристрій, який зварює та відрізає плівку згідно з заданою конфігурацією упаковки;
- Формувач упаковки — забезпечує правильне формування груп контейнерів відповідно до обраного шаблону;
- Система контролю плівки — включає обмежувач переміщення рулону та автоматичний пристрій підмотки залишків плівки після розпакування;

Складові транспортерної системи:

- електродвигун з редуктором та варіатором;
- ведучий і ведений вали;
- стрічка транспортування;
- П-подібний металевий корпус з пластиковою поверхнею ковзання.
- пульт керування;
- торцеві короби та опорна конструкція;

Експлуатаційні особливості:

- автоматичне формування блоків із заданої кількості тари;
- автоматичне зварювання бортків упаковки гарячим клеєм;
- підтримка універсальності: можливість налаштування під різні форми і об'єми тари;
- керування усім процесом за допомогою програмованого логічного контролера (PLC);
- сенсорна система контролю продукції та виконавчих механізмів (у тому числі фотодатчики);

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- підтримка заданої температури в термотунелі та в зварювальному ножі за допомогою ТЕНів;
- автоматичне розмотування плівки з рулонів та швидка заміна;
- система охолодження звареного шва для забезпечення герметичності упаковки;
- використання енергоефективного пневматичного обладнання

Інтеграція аналітики даних, дана пакувально-сортувальна лінія може бути модернізована шляхом інтеграції системи збору та аналізу даних, яка дозволить

- Відстежувати продуктивність лінії в реальному часі
- Контролювати якість запаювання упаковки (на основі температурних та вібраційних сенсорів).
- Визначати перевантаження вузлів транспортувальної частини
- Прогнозувати технічне обслуговування на основі аномалій у роботі двигуна або термотунелю
- Фіксувати кожен цикл пакування в базі даних з подальшою можливістю побудови звітів
- Проводити візуальний аудит пакування через камери машинного зору
- Інтегруватися з MES-системою підприємства для планування виробництва

Пакувальна лінія УМ 1-Профі

Пакувальна лінія УМ 1 Профі (рисунок 1.5) є універсальним обладнанням, яке може бути успішно інтегроване в автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин та застосовуватись на етапах фінальної фасовки та пакування[6].

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21



Рисунок 1.5 – Пакувальна лінія УМ 1-Профі

Упаковка забезпечує необхідний рівень герметичності та захисту від впливу зовнішніх факторів, зокрема вологи, температури та механічних пошкоджень під час транспортування. Автоматизація процесу дозволяє зменшити вплив людського фактору та забезпечити високу повторюваність і якість упаковки[1].

Оператор подає хімічні ємності (наприклад, пластикові контейнери) у потрібному форматі (3×2, 3×3, 4×3) на вхідний стіл. За допомогою штовхача сформований блок ємностей переміщується в зону обгортання термоусадочною плівкою. Після обгортання плівка зварюється термоножем, а блок надходить у термотунель. Під впливом температури (150–250 °С) плівка щільно охоплює продукцію, утворюючи стабільну групову упаковку. Далі упаковка охолоджується на приймальному рольгангу.

Технічні характеристики:

- Маса – 450 кг ;
- Габаритні розміри – 3000 x 1100 x 2000 ;
- Тиск повітря (в пневмосистемі), МПа – 0,6 ;
- Діапазон регулювання температури в камері, °С - 20-220 ;

- Максимальна продуктивність, уп. / Год – 600 –700 ;
- Максимальна ширина плівки, мм – 570 ;
- Максимальні розміри упаковки – 470×340×340 мм;
- Живлення – 380 В, 50 Гц;
- Тип зварювання – постійний нагрів;
- Тип термоусадочної плівки – Поліетилен (ПЕ);
- Встановлена потужність, кВт – 13.

Переваги для хімічного виробництва:

- Маса – 450 кг ;
- Швидке переналаштування на інші типи продукції (ємності, об'єми, конфігурації);
- Економія плівки завдяки точному запаюванню;
- Зниження відсотку браку через автоматичне регулювання температури та тиску;
- Використання сенсорної системи для контролю параметрів процесу;
- Висока якість герметизації, що важливо для летких або агресивних хімікатів;

Структура пакувальної лінії:

- Термоусадочний тунель;
- Напівавтоматичний термоніж з пневмоприводом
- Система автоматичної підмотки плівки
- Контроль температури камери та ножа
- Операторський пульт
- Сенсорна система моніторингу стану плівки та упаковки

Пакувальна лінія УМ 1 Профі вигідно відрізняється не тільки універсальністю, але й іншим якостями. Це легкість перенастроювання на потрібний вид продукції і можливість функціонувати протягом тривалого часу.

Для всіх видів пака застосовують метод постійного нагрівання. Це дозволяє пакувати велику кількість продукції на високих швидкостях, тим самим підвищуючи продуктивність.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Встановивши на підприємстві термопакувальну лінію УМ 1 Профі, можна домогтися економії плівкового матеріалу. Завдяки відмінній збірці і точності виконання зварювальних операцій відсоток браку знижується практично до нульового. Висока якість створеної упаковки забезпечується і за рахунок:

- регулювання температури в камері,
- настройки робочого тиску.

Пакувальна лінія УМ -2

Пакувальна лінія УМ-2 (рисунок 1.6), що використовується для групового пакування 5-літрових ПЕТ ємностей, була модернізована на основі попередньої моделі УМ-1 з урахуванням потреб автоматизованого виробництва хімічних речовин. Її ключовими перевагами є підвищена продуктивність, якість герметичної упаковки та гнучкість при зміні параметрів виробництва. Важливою відмінністю є інтеграція системи комп'ютерного управління з елементами аналітики даних, що дозволяє оптимізувати процес на основі збору та аналізу статистичних показників.

Термозбіжна плівка щільно облягає продукт, забезпечуючи захист від забруднень, механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища, при цьому зберігаючи ідентифікаційне маркування тари. Завдяки ергономічному формуванню пакети зручно транспортуються, складуються й розпаковуються без додаткових зусиль.

У випадку зміни продукції (різні типи хімічних речовин, ємності чи формати постачання), система швидко переналаштовується, зберігаючи продуктивність і мінімізуючи час простою.

Технологічна структура пакувальної лінії включає:

- подаючий транспортер із точною синхронізацією подачі;
- автоматизований обертаючий вузол;
- термоніж з прямоточною подачею;
- проміжний транспортер;
- термотунель.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

- приймальний рольганг



Рисунок 1.6 – Пакувальна лінія УМ -2

Опис автоматизованого процесу:

ПЕТ-ємності з хімічними речовинами надходять по подаючому транспортеру. Електромеханічний розподільник формує відповідні групи тари, які подаються до блоку групування. У зонах обгортання формуються пакети у форматах 2×3 (6 ємностей), 3×4 (12 ємностей) тощо.

Два рулони термоплівки (верхній і нижній) автоматично подають матеріал. В зоні зварювання плівка спаюється в суцільне полотно. Далі при проштовхуванні сформованої групи плівка обертає тару, шов запаюється і обрізається, формуючи герметичний пакет. Наступне полотно готується автоматично.

Пакет проходить через термотунель із температурою 150–250 °С, де плівка щільно стискається навколо продукції. На виході з тунелю відбувається охолодження за допомогою вентиляторів, після чого готова упаковка надходить на приймальний рольганг.

Система керування пакувальною лінією базується на комп'ютерній автоматизованій системі, що дозволяє:

- задавати тип тари;

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

- зберігати конфігурації упаковок
- аналізувати кількість упакованої продукції
- фіксувати температурні режими, навантаження та помилки

Отримані дані передаються до аналітичного модуля, який оптимізує параметри роботи обладнання в реальному часі, підвищуючи енергоефективність і знижуючи ризик браку

Технічні характеристики:

- Продуктивність, уп./год: до 600;
- Габарити лінії (Д×Ш×В), мм: 6200 × 1780 × 1700;
- Напруга живлення, В/Гц: 380 / 50;
- Максимальна споживана потужність, кВт: 24, 5;
- Розміри конвеєра термотунеля (довжина х ширина), мм: 2500х540;
- Швидкість руху конвеєра термотунеля, м / хв : 4 ;
- Габарити прохідного вікна термотунеля (ширина х висота), мм: 600х400 ;
- Максимальна ширина плівки, мм: 550 .

Автоматизована пакувальна лінія УМ-2 є важливою складовою інтегрованої системи керування технологічним процесом. Завдяки можливості збору та обробки аналітичних даних вона забезпечує гнучке, стабільне та високоефективне пакування хімічної продукції відповідно до вимог сучасного виробництва

Пакувальна лінія УМТ-1500

У сучасному виробництві хімічних речовин, особливо при фасуванні кінцевих продуктів у герметичну тару, важливо забезпечити не лише високу швидкість пакування, але й точний контроль за якістю та умовами зберігання. З цією метою використовуються автоматизовані пакувальні лінії, які є складовою частиною загальної автоматизованої системи керування технологічним процесом.

Одним із прикладів є лінія УМТ-1500-АЛ02 (рисунок 1.7), яка призначена для формування блоків продукції, їх обгортання в термоусадочну плівку та забезпечення подальшого транспортування. В контексті виробництва хімічних

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

речовин лінія адаптована для упаковки балонів, каністр або контейнерів з реагентами, розчинами чи концентратами. Такий тип тари потребує особливої уваги до герметичності упаковки, захисту від ультрафіолету та механічного впливу, що забезпечується завдяки якісній термоусадці[10]

Усі етапи керуються за допомогою вбудованих контролерів, що працюють згідно із заданими параметрами. Управління здійснюється через програмовані логічні контролери (PLC), що дозволяє інтегрувати пакувальну лінію до загальної SCADA-системи, з можливістю віддаленого моніторингу, налаштування параметрів упаковки, та збору даних для подальшої аналітики.

Під час роботи, система автоматично розподіляє продукцію на накопичувальному конвеєрі за розміром і кількістю, формує груповий контейнер, переносить його на піддон і далі здійснює обгортання термоплівкою. Після проходження термотунелю, у якому плівка під впливом температури щільно охоплює контейнери, блок охолоджується і передається на рольганг для подальшого складування або транспортування[6]



Рисунок 1.7 – Пакувальна лінія УМТ-1500

Технічні характеристики автоматизованої лінії УМТ-1500:

- Продуктивність, до: 20 упаковок/хв;
- Встановлена потужність: до 37 кВт;

- Живлення: 380 В / 50 Гц;
- Габарити машини: 10300×1120×1750 мм;
- Вага: приблизно 2500 кг;
- Робочий тиск пневмосистеми: 0,6–0,7 МПа;
- Габарити пакету: 400×300×300 мм.

Інтеграція цієї пакувальної лінії до автоматизованої системи керування виробництвом дозволяє:

- Зменшити час фасування та пакування хімічних речовин.
- Підвищити рівень безпеки за рахунок мінімізації людського втручання
- Збирати точні дані про кількість, тип і стан пакованої продукції
- Використовувати отримані аналітичні дані для прогнозування технічного обслуговування або оптимізації продуктивності лінії

Таким чином, пакувальна лінія УМТ-1500-АЛ02 є прикладом інтелектуального обладнання, що ефективно виконує функції пакування в рамках загального циклу автоматизованого виробництва хімічної продукції.

1.3 Аналіз об'єкту автоматизації

Метою впровадження автоматизованої системи керування (АСК) є підвищення ефективності виробництва хімічних речовин за рахунок зменшення браку, уникнення простоїв обладнання, підвищення стабільності параметрів технологічного процесу, а також оптимізація витрат енергоресурсів. В основі модернізації лежить використання сучасних сенсорів, виконавчих пристроїв та програмних засобів, що дозволяють не лише автоматизувати процеси, а й реалізувати їх аналітичну підтримку в реальному часі.

Об'єктом автоматизації виступає пакувальна лінія УМТ-1500-АЛ02 призначена для автоматизованого формування блоків хімічної продукції (каністри, балончики, контейнери) та їх упаковки в термоусадочну плівку. Основний технологічний цикл включає:

1. Подача тари на вхідний транспортер.
2. Формування блоків за заданою схемою (наприклад, 3×2 або 4×3 одиниці).
3. Обгортання термоплівкою з подальшим запаюванням швів.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

4. Термоусадка в тунелі (150–250 °С).
5. Охолодження та вихід на склад.

Для стабільної роботи лінії УМТ-1500-АЛ02 необхідний контроль таких параметрів:

Параметр	Діапазон	Датчик/Виконавчий механізм	Критичність
Температура термотунеля	150–250 °С	Термопари (типу К) + ПІД-регулятор	Висока
Швидкість конвеєра	4–6 м/хв	Інкрементальний енкодер + ЧП	Середня
Натяг плівки	5–10 Н	Тензодатчик + сервомотор	Висока
Тиск у пневмосистемі	0.6–0.7 МПа	Мембранний датчик тиску	Критична
Положення штовхача	0–400 мм	Ультразвуковий датчик	Середня

Аналіз ринку ПЛК для хімічної промисловості що використовуються для автоматизації хімічних виробництв:

Модель ПЛК	Виробник	Ключові переваги	Недоліки
Siemens S7-1200	Siemens	Висока інтеграція з TIA Portal, підтримка PROFINET	Обмежена кількість модулів розширення
Allen-Bradley CompactLogix	Rockwell	Сумісність з FactoryTalk, висока швидкодія	Висока вартість ліцензій
Schneider Modicon M221	Schneider Electric	Енергоефективність, просте програмування	Менша популярність в Україні

Вимоги до автоматизованої системи:

1. Апаратне забезпечення:

- ПЛК Siemens S7-1200 (як центральний контролер).
- Модулі аналогового введення/виведення для датчиків.
- Частотні перетворювачі для регулювання швидкості конвеєра.

2. Програмне забезпечення:

- Логіка керування на мові FBD у TIA Portal.
- ПД-регулятори для температури та тиску.
- Аварійні сценарії (наприклад, зупинка при обриві плівки).

3. Інтерфейс оператора:

- НМІ-панель KTP700 Basic для візуалізації процесу.
- Сигналізація про аварії (світлова та звукова)

Очікувані переваги впровадження автоматизованої системи:

- Зменшення браку з 12% до 2–3% за рахунок точної стабілізації температури;
- Скорочення простоїв на 30% через автоматичну діагностику несправностей;
- Економія енергії (до 15%) завдяки оптимізації роботи нагрівачів і приводів;

Таким чином, дослідження показало, що сучасні системи автоматизації дозволяють підвищити точність, енергоефективність та безпеку хімічного виробництва. Обраний ПЛК Siemens S7-1200 відповідає вимогам проекту та забезпечує основу для майбутніх модернізацій[14].

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

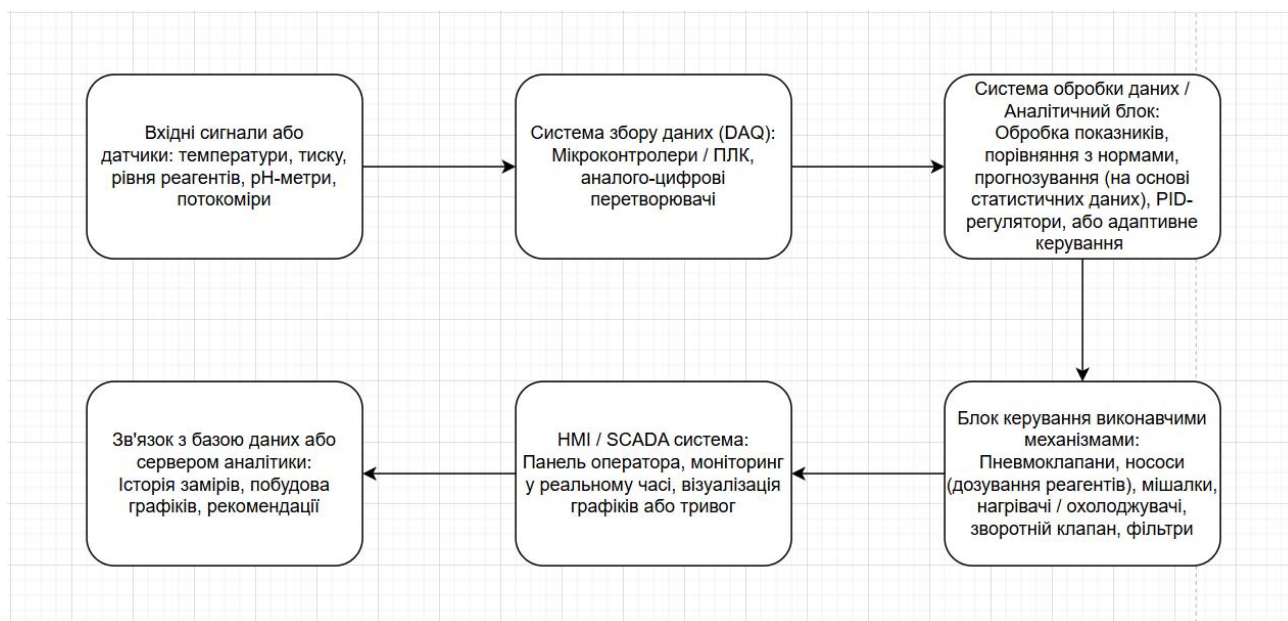
2. ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМ ФІЛЬТРАЦІХ ХІМІЧНИХ ВІДХОДІВ

2.1 Розробка структурної схеми системи керування

Технологічний процес виробництва хімічних речовин є складною багатоступеневою системою, де послідовність операцій повинна бути чітко контрольована, з урахуванням режимів температури, тиску, концентрацій реагентів та часу протікання реакцій. Кожен вузол такої системи відіграє ключову роль у досягненні кінцевого результату — отримання хімічної речовини з потрібними якісними показниками.

Під час розробки структурної схеми увагу було зосереджено на оптимізації управління, мінімізації ручного втручання, зменшенні ймовірності помилок оператора, виявленні відхилень від нормального режиму та забезпеченні автономного регулювання на основі показників, зібраних із сенсорів. Всі дані збираються, аналізуються, і в режимі реального часу система приймає рішення щодо керування відповідними виконавчими механізмами.

Д На (рисунку 2.1) подано загальну структурну схему системи керування. У ній представлено ключові компоненти: блоки збору даних, блок обробки й аналітики, блоки керування виконавчими механізмами, а також інтерфейс для оператора.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин

2.2 Розробка функціональної схеми

- технологічне обладнання (реактори, мішалки, дозатори, теплообмінники)
- вимірювальні прилади (температури, тиску, рН)
- сенсори та виконавчі механізми (клапани, насоси)
- головний контролер (PLC або DCS)
- блок аналітики даних, що обробляє інформацію в реальному часі для прийняття рішень

Функціональна схема дозволяє дослідити послідовність виконання технологічних операцій, відслідковувати критичні параметри (наприклад, температурний режим, рН, концентрацію реагентів) та керувати процесом автоматично, без участі оператора. На основі попередньо розробленої структурної схеми формується повна функціональна модель системи керування[2].

Функціональна схема автоматизованої хімічної лінії наведена на (рисунку 2.2)



Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованої хімічної лінії

Система складається з кількох функціональних блоків, які взаємодіють через централізовану систему керування[7][3]. Основні етапи та їх елементи:

- Система подачі сировини — автоматизоване завантаження реагентів у виробничу зону, кероване сенсорами рівня та моторними клапанами (ВМ₁)
- Дозувальний модуль — виконує точне дозування хімічних речовин з використанням вагових або витратомірних систем.
- Реактор — здійснюється основна реакція; контроль здійснюється за температурою, тиском, рН, із керуванням перемішуванням, нагріванням або охолодженням
- Модуль охолодження/нагріву — термостатування хімічної суміші до заданих значень
- Модуль контролю якості — автоматизований відбір проб для лабораторного або inline-аналізу
- Модуль фільтрації/очищення — видалення побічних продуктів або залишків
- Центр керування (PLC / DCS) — керує всіма модулями, реагує на критичні сигнали, виконує контроль сценаріїв, надсилає сигнали тривоги та формує звіти

2.3 Вибір та аналіз компонентів пакувальної лінії

У сучасних умовах рішення щодо автоматизації виробництва хімічних речовин стають дедалі комплекснішими. Процеси – високодинамічні, взаємозалежні та чутливі до змін технологічних параметрів. Тому контроль над усім виробничим процесом є критично важливим для стабільності продукції та безпеки. Елементи автоматизації поділяються на такі групи: сенсорні елементи, пристрої обробки сигналів (реле, підсилювачі, контролери) та виконавчі механізми (клапани, дозатори, приводи тощо). Їх основне призначення – моніторинг, регулювання та управління параметрами, з подальшою передачею інформації до аналітичної системи.

Автоматизована система керування процесом виробництва хімічних речовин включає низку компонентів, які працюють у тісному взаємозв'язку. Вони забезпечують автоматичний режим керування, знижуючи залежність від

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

людського фактора, підвищуючи ефективність і точність технологічних операцій. Для цього важливо оптимально використовувати всі доступні сенсори, оскільки саме вони перетворюють реальні фізичні величини (температура, тиск, рівень, витрата, хімічний склад) у керуючі або діагностичні сигнали, зручні для аналізу.

Основні параметри, які потребують вимірювання в хімічному виробництві:

1. Температура (реакцій, середовища, обладнання);
2. Тиск (в апаратах, трубопроводах, ємностях);
3. Рівень (рідини в реакторах, резервуарах, ємностях);
4. Концентрація (кислот, лугів, реагентів у суміші);
5. Витрата (об'ємна або масова);
6. Наявність або положення об'єктів (контроль засувки, положення шиберів, перемикачів тощо);
7. Стан газового середовища (наявність летких речовин, пари, вибухонебезпечних домішок).

У цій дипломній роботі основна увага приділяється автоматизованому контролю рівня та присутності рідини в ємностях як одному з найважливіших параметрів технологічного процесу[10].

Аналіз можливих типів сенсорів для вимірювання рівня та контролю середовища[16].

Тип сенсора	Принцип роботи	Переваги	Недоліки	Сфера використання
Ультразвуковий	Вимірює відстань за часом проходження хвилі	Безконтактний, не чутливий до кольору/форми	Вплив температури, вологості, пари	Рідини, сипучі матеріали
Ємнісний	Зміна ємності між електродом	Придатний	Вразливість	Контроль

	тходами	для агресивнихс ередовищ	до налипання, калібрування	рівня кислот, розчинів
Оптични й	Виявляєзмінупоказни ківсвітла	Високаточні сть, швидкодія	Забруднення поверхні, непрозорість	Виявленнярід ини в пробірках
Поплавко вий	Фізичнепереміщення поплавка	Простий, дешевий	Знос, можливістьза їдання, не для точного вимірювання	Ємності з чистимирідин ами
Гідростат ичний	Тискстовпарідини → рівень	Простота, надійність	Низькаточніс ть при змініщільнос тірідини	Стаціонарніре зервуари
Радарний (міліметр овий)	Високочастотнезонду ванняповерхні	Високаточні сть, ігнорує пар, піну	Дорожчий, потрібнанала штування	Точневимірюв аннярівня в резервуарах

1. Ультразвуковий сенсор рівня



Ультразвуковий сенсор рівня — це пристрій, що використовує акустичні (ультразвукові) хвилі високої частоти для безконтактного визначення рівня рідини або сипучих матеріалів у резервуарах, баках, реакторах тощо. Він є одним з найпоширеніших сенсорів у промисловій автоматизації, зокрема в хімічній, фармацевтичній, харчовій та енергетичній галузях.

Принцип дії базується на ехолокації: сенсор випромінює короткий імпульс ультразвуку в напрямку поверхні речовини. Цей імпульс відбивається від поверхні назад до сенсора. За часом проходження сигналу (t) та відомою швидкістю звуку в повітрі ($v \approx 343$ м/с за стандартних умов) мікроконтролер обчислює відстань до поверхні:

$$\text{Відстань} = v \cdot t / 2$$

Для вимірювання рівня, сенсор монтується у верхній частині ємності, а отримане значення відстані від сенсора до рідини віднімається від загальної висоти резервуара.

Ультразвуковий сенсор зазвичай містить такі елементи:

- П'єзоелектричний випромінювач — створює ультразвуковий імпульс;
- Приймач — фіксує відбиту хвилю;
- Мікроконтролер або DSP — обробляє сигнал, обчислює відстань та фільтрує завади;
- Корпус — хімічно стійкий, зазвичай з ABS-пластику, PTFE або нержавіючої сталі;
- Інтерфейс підключення — аналоговий (4–20 мА, 0–10 В) або цифровий (RS-485, Modbus, IO-Link).

Переваги:

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

- Безконтактне вимірювання — сенсор не має фізичного контакту з речовиною, що зменшує знос та ризик корозії.
- Широкий спектр застосування — підходить як для рідин, так і для сипучих матеріалів.
- Відсутність рухомих частин — збільшує надійність та термін служби.
- Простота встановлення — не потребує складного монтажу чи калібрування.
- Висока швидкодія — підходить для задач, де важлива швидка реакція.
- Невисока вартість — порівняно дешевший за радарні аналоги.
- Можливість налаштування з ПК або мобільного пристрою (у сучасних моделях через Bluetooth або NFC).

Недоліки:

- Чутливість до середовища:
- пари, пил або туман можуть погіршити точність або взагалі погасити сигнал;
- температура повітря впливає на швидкість звуку → потрібна температурна компенсація.
- Не працює у вакуумі — звук не передається.
- Може виникати проблема з піною або хвилями на поверхні — сигнал розсіюється.
- Обмежена висота вимірювання — зазвичай до 8 м (розширені моделі — до 12–15 м).
- Мертва зона — зона поблизу сенсора (10–30 см), де вимірювання неможливе.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0.2 – 8 м (до 15 м у промислових)

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

	моделей)
Точність	$\pm 0.5\text{--}1\%$ від діапазону
Мертва зона	0.2 – 0.5 м
Робоча температура	-20...+70 °C (залежно від моделі)
Захист	IP65 – IP68
Інтерфейси	4–20 мА, RS-485, Modbus, IO-Link
Енергоспоживання	20–200 мА при 12–24 В
Матеріал корпусу	ABS, PVDF, PTFE, SS316
Час відгуку	< 1 с

Сфера застосування:

- Хімічна промисловість — вимірювання рівня кислот, розчинників у баках;
- Водопідготовка та очисні споруди — контроль рівня води, стоків;
- Фармацевтика — вимірювання рівня в резервуарах з лікарськими компонентами;
- Харчова промисловість — контроль рівня рідин (молоко, соки);
- Агросектор — зернові бункери, добрива;
- Енергетика — котли, баки з рідинами.

Приклад промислової моделі: Pepperl+Fuchs UC2000-L2-H3-V15

- Діапазон: 30 см – 8 м
- Точність: $\pm 0.2\%$
- Інтерфейс: 4–20 мА + IO-Link
- Матеріал: PVDF
- Захист: IP68
- Особливість: температурна компенсація, цифрова фільтрація, функція самодіагностики.

Особливості монтажу:

1. Сенсор монтується вертикально над поверхнею рідини, без нахилу.
2. Необхідно уникати виступаючих елементів (труб, балок), що можуть спричинити паразитне відбиття.

3. Потрібно враховувати мертву зону (не допускати, щоб рідина підходила ближче, ніж це дозволено).

4. Вибирається місце з мінімальним утворенням пари або піни.

Ультразвукові сенсори — це надійне, бюджетне та просте рішення для безконтактного контролю рівня в умовах, де немає сильної пари або агресивного газового середовища. Вони легко інтегруються в сучасні PLC-системи або IoT-платформи через стандартні інтерфейси. Їх доцільно використовувати у проектах середньої складності або там, де критичність точності вимірювання помірна[15].

2. Радарний (міліметровий) сенсор



Радарний (міліметровий) сенсор рівня — це високоточний безконтактний пристрій, який використовує електромагнітні хвилі мікрохвильового діапазону (часто в діапазоні 24–80 ГГц) для визначення рівня матеріалу в ємності. Завдяки своїй здатності проникати через пару, пил, піну та інші перешкоди, такі сенсори широко застосовуються в умовах, де ультразвук або поплавкові датчики втрачають ефективність:

$$\text{Відстань} = v \cdot t / 2$$

Але в даному випадку v — це швидкість світла ($\approx 300\,000$ км/с), тому результати значно точніші. Завдяки коротшій довжині хвилі (міліметровий діапазон $\approx 1\text{--}4$ мм) сигнал точніше відбивається навіть від складних поверхонь, а також менш чутливий до умов середовища

Основні елементи міліметрового радарного сенсора:

- Передавач/приймач — генератор імпульсів або FMCW-хвиль (частотно-модульованих неперервних хвиль).
- Антена — параболічна, рупорна або лінзова (залежно від моделі).
- Процесор обробки сигналу (DSP) — виконує обчислення, компенсацію температури, цифрову фільтрацію.
- Інтерфейс — аналоговий та/або цифровий (4–20 мА, HART, Modbus, Profibus, Ethernet/IP).
- Корпус — з високим ступенем захисту, часто з PTFE, PEEK, металу

Переваги:

- Найвища точність серед усіх безконтактних сенсорів (± 1 мм або менше).
- Незалежність від середовища — пил, пара, піна, тиск, вакуум не впливають на результат.
- Великий діапазон вимірювання — до 30–120 метрів у промислових версіях.
- Працює через діелектричні матеріали — можливий монтаж крізь пластикові кришки, навіть без відкритого простору.
- Температурна та тискова стабільність — працює при $T > 100$ °C і високому тиску.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

- Можливість роботи в агресивному середовищі — наприклад, у резервуарах із кислотами або в нафтохімії.
- Інтелектуальні алгоритми обробки — цифрова фільтрація шуму, компенсація турбулентності, рухомих перешкод.

Недоліки:

- Висока вартість — у 3–10 разів дорожче ультразвукових аналогів.
- Складніше налаштування — потребує спеціального програмного забезпечення або HART-комунікатора.
- Чутливість до конструкції бака — можливі паразитні відбиття в вузьких чи складних геометріях.
- Потреба в живленні стабільної напруги — від 12 до 30 В або PoE.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0.05 – 30 м (до 120 м для великих моделей)
Точність	±1 мм
Частота	60 – 80 ГГц (міліметровий діапазон)
Мертва зона	мінімальна — від 2 см
Робоча температура	-40...+150 °C
Тиск середовища	до 40 бар
Матеріал корпусу	PTFE, PVDF, нержавіюча сталь
Захист	IP67 – IP69K, вибухозахист (ATEX)
Інтерфейси	4–20 мА, HART, Modbus RTU/TCP, Ethernet
Час відгуку	0.25 – 1 с

Приклад промислової моделі: VEGA VEGAPULS 64

- Частота: 80 ГГц
- Діапазон: до 30 м
- Точність: ±2 мм

- Інтерфейси: 4–20 мА, HART, Bluetooth
- Робоча температура: -40...+130 °С
- Монтаж: DIN-фланець, G-резьба, Tri-Clamp
- Особливість: компактна антена з кутом променя лише 3°

Особливості монтажу

1. Встановлення над рідиною, як правило, по осі симетрії резервуара.
2. Рекомендується використовувати спрямовану антену, щоб уникати паразитних відбиттів.
3. У складних умовах (вузькі ємності) — застосовується підтримка 3D-моделі бака для компенсації.
4. Можливий монтаж ззовні резервуара, крізь прозорі або діелектричні стінки.

Сфери застосування:

- Нафтохімія, газова промисловість — контроль рівня агресивних, токсичних рідин і пари.
- Металургія, енергетика — високотемпературні резервуари, котли.
- Очистка стічних вод — піна, бруд, відкладення.
- Фармацевтика та харчова промисловість — вимірювання крізь герметичні стінки резервуарів.
- Агропром — зерно, комбікорм, рідини в силосах.

Порівняння з ультразвуковим сенсором

Параметр	Ультразвуковий	Радарний (мм діапазон)
Точність	Ультразвуковий	Радарний (мм діапазон)
Вплив середовища	±0.5–1%	±1–2 мм
Робота з піною	Значний (пара, пил)	Мінімальний
Діапазон	Проблемна	Так, ефективно
Ціна	до 10 м	до 30–100 м
Живлення	Простіше	Вимагає стабільності
Застосування в	Обмежене	Так

Радарні сенсори міліметрового діапазону є найбільш високотехнологічним рішенням для точного, стабільного та довготривалого контролю рівня у складних умовах. Вони не потребують обслуговування, витримують агресивні умови експлуатації та дають змогу вимірювати навіть через кришки або в тумані. Незважаючи на високу вартість, їх доцільно застосовувати в критичних процесах, де необхідна максимальна точність і надійність.

3. Ємнісний сенсор рівня

Ємнісний сенсор рівня визначає рівень рідини або сипучих матеріалів за допомогою зміни електричної ємності між двома електродами, один з яких є сам сенсор, а інший — заземлення або стінка резервуара. Зміна рівня речовини змінює діелектричну проникність середовища між цими електродами, що й дозволяє визначити точне положення поверхні.



Цей тип сенсорів вирізняється простотою конструкції, чутливістю і здатністю працювати у складних умовах, зокрема при високому тиску та температурі. Завдяки можливості точного калібрування під конкретну

речовину, ємнісні сенсори часто використовують у харчовій, хімічній і фармацевтичній промисловості.

Ємнісний сенсор функціонує на основі зміни електричної ємності (C), яка визначається за формулою:

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A/d$$

де:

- ϵ_r — відносна діелектрична проникність середовища (змінюється,

коли рідина або сипуча маса замінює повітря)

- ϵ_0 — електрична стала
- A — площа електродів
- d — відстань між електродами

Конструкція:

- Електрод або зонд — занурюється в середовище або вмонтований у стінку.
- Джерело напруги та вимірювальний блок — оцінює зміну ємності.
- Матеріал корпусу — PTFE, PVDF, нержавіюча сталь, залежно від хімічної стійкості.
- Електронний блок — виконує фільтрацію, компенсацію температури, передачу сигналу.

Переваги:

- Висока чутливість — можна детектувати незначні зміни рівня.
- Працює в агресивному середовищі — кислоти, луги, спирти, олії.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

- Компактність і простота конструкції — немає рухомих частин.
- Підходить для точкового та безперервного вимірювання.
- Можна встановлювати вертикально або горизонтально.
- Низьке енергоспоживання — легко інтегрується в автономні системи.

Недоліки:

- Сильна залежність від типу матеріалу — сенсор потрібно калібрувати під кожну рідину.
- Чутливість до відкладень і налипання на електроди, особливо при вимірюванні клейких або в'язких речовин.
- Обмеження для вимірювання через пластикові або товсті неметалеві стінки.
- Може давати помилкові спрацювання при зміні вологості чи температури.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0.1 – 5 м (залежно від зонда)
Точність	$\pm 1-5$ мм
Діелектрична проникність	Потрібно $\epsilon_r > 1.5$
Матеріал зонда	Нержавіюча сталь, ізоляція з PFA/PTFE
Робоча температура	$-40 \dots +125$ °C
Тиск середовища	до 25 бар
Інтерфейси	4–20 мА, реле, HART, Modbus
Живлення	12–36 В постійного струму

Приклад моделі: Endress+Hauser Liquicap FMI21

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

- Застосування: безперервне вимірювання рівня рідин, в т.ч. агресивних.
- Робоча температура: -40...+100 °С.
- Матеріал зонда: нержавіюча сталь з ізоляцією.
- Сигнал: 4–20 мА, реле.
- Особливість: можливість калібрування під різні середовища.

Особливості монтажу

1. Сенсор встановлюється у верхню або бічну частину резервуара.
2. Зонд може бути жорстким або тросовим — залежно від глибини та типу середовища.
3. Для забезпечення точності потрібно попереднє налаштування діелектричної постійної.
4. У резервуарах з неметалевими стінками рекомендується використання другого електрода або екрана.

Сфера застосування

- Харчова промисловість — молоко, соки, рідини з піною.
- Хімія — кислоти, розчинники, луги.
- Фармацевтика — стерильні умови, контроль об'ємів компонентів.
- Агропромисловість — рідини для добрив, сипучі матеріали.
- Водоочищення — резервуари з реагентами, ємності для знезараження.

Порівняння з радарним сенсором:

Параметр	Ємнісний сенсор	Радарний (мм-хвилі)
Залежність від середовища	Висока	Низька
Точність	±1–5 мм	±1–2 мм
Вплив відкладень	Високий	Мінімальний
Робота з піною	Обмежена	Ефективна
Ціна	Низька / середня	Висока

Проста інтеграція	Так	Частково
Калібрування	Обов'язкове	Часто необов'язкове

Ємнісні сенсори рівня — це економічно вигідне та ефективне рішення для контролю рівня у багатьох рідинах і сипучих матеріалах, особливо в тих випадках, де середовище не створює відкладень, а умови не змінюються радикально. Їх перевага — компактність, чутливість і простота, проте вони вимагають точного налаштування і регулярного обслуговування в агресивних умовах

4. Поплавковий сенсор рівня



Поплавковий сенсор рівня — це механічний або електромеханічний пристрій, що використовує принцип плавучості тіла в рідині. Поплавок переміщується вгору або вниз залежно від рівня рідини, а це переміщення фіксується датчиком або безпосередньо приводить у дію перемикач (контакт, геркон тощо).

Це один із найстаріших і найдоступніших типів сенсорів, який особливо добре підходить для точкового контролю (мінімальний, максимальний рівень) або безперервного вимірювання рівня у простих системах. Завдяки простій конструкції він має високу надійність, але обмежену точність і функціональність у складних середовищах.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

Поплавок, виготовлений з матеріалу з меншою густиною, ніж у рідини, вільно плаває на поверхні. Зі зміною рівня рідини поплавок рухається разом із нею, і це переміщення передається:

- механічно (важелі, тросові системи);
- магнітно — за допомогою геркона (герметичний контакт, що замикається в полі магніта);
- електронно — з реєстрацією положення поплавка, наприклад, по потенціометру або датчику Холла

Основні типи поплавкових сенсорів:

1. Точкові:

- Сенсор спрацьовує при досягненні фіксованого рівня.
- В основі — геркон (герметичний контакт) та постійний магніт у поплавку.
- Найчастіше використовуються для сигналізації «повний бак» або «порожній бак».

2. Безперервні:

- Поплавок рухається вздовж направляючого стрижня з вбудованим резистивним або магнітним елементом.
- Дозволяє отримувати аналоговий сигнал, пропорційний рівню (0–10 В, 4–20 мА тощо).

3. Тросові (кабельні):

- Принцип маятника — поплавок на кабелі при зміні рівня змінює свій кут нахилу, замикаючи контакт.

Конструкція:

- Поплавок — пластиковий, металевий або з піни, має форму кулі, диска або циліндра.
- Направляючий стрижень або трос — забезпечує фіксовану траєкторію.
- Сенсорна частина — геркони, контактні групи, потенціометри.
- Корпус — часто з латуні, нержавіючої сталі або полімеру.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

Переваги:

- Низька вартість і простота — дешеве рішення для побутових і промислових задач.
- Висока надійність у чистих середовищах.
- Не потребує електронного налаштування чи калібрування.
- Можна встановлювати в вертикальному або горизонтальному положенні.
- Сумісний із в'язкими, пінистими та маслянистими середовищами.

Недоліки:

- Обмежена точність — не підходить для високоточних вимірювань.
- Механічний знос — рухомі частини з часом зношуються.
- Може залипати або блокуватись в'язкими чи забрудненими рідинами.
- Залежність від щільності рідини — поплавки має плавати в середовищі.
- Не підходить для агресивних хімічних речовин, якщо корпус і поплавки не мають спеціального захисту.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	0.2 – 6 м (залежно від типу)
Точність	$\pm 1 \dots 5\%$ повної шкали
Матеріал поплавка	Пластик, нержавійка, пінополімер
Робоча температура	20...+80 °C (до +120 °C — для спец. моделей)
Робочий тиск	до 10 бар
Сигнал	ON/OFF, 4–20 мА, 0–10 В
Живлення	5–36 В постійного струму (для електронних моделей)

Приклад моделі: VEGASWING 63 (точковий поплавковий датчик)

- Призначення: сигналізація мінімального/максимального рівня.
- Встановлення: вертикальне.

- Вихід: релейний або транзисторний сигнал.
- Матеріал: нержавіюча сталь, підходить для харчових рідин.

Сфера застосування:

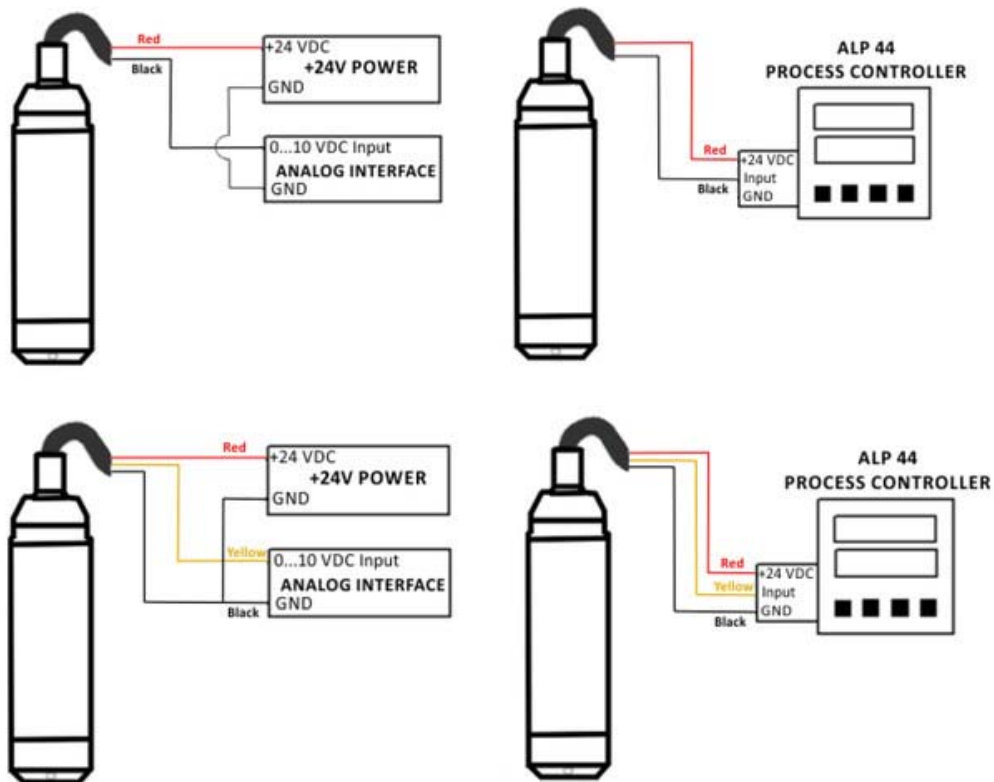
- Побутова техніка — бойлери, пральні машини, бачки унітазів.
- Агропромисловість — баки з водою або рідинами для обприскування.
- Промисловість — резервуари з мастилами, паливом, водою.
- Автомобільна сфера — баки AdBlue, паливні баки.
- Системи автоматичного зливу / подачі води.

Порівняння з ємнісним сенсором:

Параметр	Поплавковий сенсор	Ємнісний сенсор
Точність	Низька – середня	Середня – висока
Ціна	Дуженизька	Середня
Залежність від рідини	Висока (щільність, піна)	Висока (діелектрична стала)
Надійність	Висока (у простих середовищах)	Висока за правильної установки
Складність	Мінімальна	Потребує калібрування

Поплавкові сенсори залишаються економічно ефективним вибором для простих задач контролю рівня, де не потрібна висока точність. Їх переваги — доступність, довговічність і простота встановлення. Проте в умовах забруднення, піни, великої кількості домішок або потреби в безконтактному вимірюванні вони поступаються іншим сенсорам, як-от ємнісним або радарним

4. Поплавковий сенсор рівня



Гідростатичний сенсор рівня (іноді званий тисковим або сенсором глибини) вимірює тиск стовпа рідини над собою. Тиск прямо пропорційний висоті (глибині) рідини, отже, знаючи щільність рідини та тиск, можна обчислити рівень. Це контактний тип сенсора, який занурюється в рідину (або монтується в дні резервуара) та перетворює тиск у електричний сигнал. Його перевага — висока точність, стабільність та простота монтажу навіть у резервуарах складної геометрії

Гідростатичний сенсор вимірює гідростатичний тиск:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

де:

- P — тиск на датчик
- ρ — густина рідини

- g — прискорення вільного падіння ($\approx 9.81 \text{ м/с}^2$)
- h — висота стовпа рідини над датчиком

Вбудований тензодатчик або п'єзорезистивний елемент реагує на тиск і видає аналоговий сигнал (4–20 мА, 0–10 В або цифру через Modbus тощо). У процесорі цей сигнал перетворюється в рівень рідини, заздалегідь відкалібрований для заданої густини

Типи гідростатичних сенсорів:

1. Занурювані (погружні)

- Встановлюються прямо у рідину.
- Кабель герметичний, з компенсацією атмосферного тиску (капілярна трубка).
- Використовуються у колодязях, свердловинах, відкритих резервуарах.

2. Монтаж у дні (вбудовані)

- Встановлюються у фланець або штуцер на дні бака.
- Захищений корпус, часто з нержавіючої сталі або титану.

3. З компенсацією атмосферного тиску

- Має додатковий сенсор тиску навколишнього повітря.
- Дає абсолютну або відносну точність навіть при зміні атмосферного тиску.

Переваги:

- Висока точність та повторюваність (± 0.1 – 0.5% від повної шкали).
- Працює в умовах піни, бруду, пари — на відміну від оптичних чи ультразвукових сенсорів.
- Просте встановлення в резервуари будь-якої форми.
- Можна використовувати в підземних ємностях і відкритих водоймах.
- Незалежність від електропровідності чи прозорості рідини.

Недоліки:

- Контакт з рідиною — можливе забруднення, обрастання біоплівкою.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

- Залежність від густини — при зміні температури або складу рідини потрібна рекалібровка.
- Механічна вразливість до гідроударів, замерзання, агресивного середовища.
- Потребує компенсації атмосферного тиску — для точних вимірювань у відкритих системах.

Технічні характеристики:

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання	Від 0.5 м до 100 м (тиск до 10 бар)
Точність	$\pm 0.1-0.5\%$ відповної шкали
Температурний діапазон	$-20 \dots +80^{\circ}\text{C}$ (до $+120^{\circ}\text{C}$ зі спец. сенсорами)
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь, титан, ПТФЕ
Тип вихідного сигналу	4–20 мА, 0–10 В, RS485 (Modbus), HART
Атмосферна компенсація	Капілярна трубка або кремійний сенсор
Живлення	12–36 В постійного струму
Захист	IP68 (занурювані), IP65/IP67 (вбудовані)

Приклади використання:

- Водозабори та колодязі — визначення рівня води в глибоких шахтах.
- Нафтобази — контроль рівня пального, мастил.
- Сільське господарство — баки для хімікатів, рідких добрив.
- Очистка стічних вод — робота в агресивних середовищах з мулом і піною.
- Греблі та гідропоруди — моніторинг рівня річок та водойм.

Порівняння з поплавковим сенсором:

Параметр	Гідростатичний сенсор	Поплавковий сенсор
----------	-----------------------	--------------------

Точність	Висока	Низька – середня
Контакт з рідиною	Так	Так
Вплив піни	Немає	Можливий
Залежність від густини	Так	Так
Ціна	Середня – висока	Низька
Сфера застосування	Промисловість, енергетика	Побут, прості ємності

Типовий приклад моделі: KROHNE OPTIBAR LC 1010

- Тип: занурюваний гідростатичний рівнемір.
- Діапазон: до 10 м водяного стовпа.
- Матеріал: нержавіюча сталь, кабель із вбудованою вентиляційною трубою.
- Інтерфейс: 4–20 мА, з можливістю HART-протоколу.

Гідростатичні сенсори — універсальне рішення для більшості завдань з вимірювання рівня в рідинах. Вони поєднують високу точність, надійність та витривалість, але вимагають обережного підбору матеріалів для агресивних середовищ та забезпечення компенсації атмосферного тиску.

Завдяки широкому спектру моделей вони успішно застосовуються від каналізаційних систем до харчових виробництв і відповідають вимогам сучасної автоматизації

3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАКУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Обґрунтування вибору ПЛК для пакувальної лінії УМТ-1500-АЛ02

У процесі реалізації автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин ключову роль відіграє вибір програмованого логічного контролера (ПЛК). Саме цей компонент забезпечує автоматичне керування технологічними параметрами, збір і обробку даних від сенсорів, а також прийняття рішень у реальному часі. В умовах зростаючих вимог до ефективності, точності та адаптивності хімічного виробництва, ПЛК повинен підтримувати інтеграцію з системами аналітики, бути гнучким у налаштуванні та масштабуванні, а також мати надійні засоби комунікації.

Для реалізації даної системи обрано контролер Siemens SIMATIC S7-1200. Це сучасна лінійка ПЛК, яка спеціально розроблена для середніх і малих автоматизованих систем, де необхідна висока функціональність, надійність і можливість інтеграції з інтелектуальними системами аналізу даних

Контролер Siemens SIMATIC S7-1200 обраний як основа системи автоматизації через:

- Оптимальне співвідношення ціна/продуктивність для задач середньої складності
- Вбудовані інтерфейси (PROFINET, Ethernet) для інтеграції з обладнанням лінії
- Модульну архітектуру з можливістю підключення до 8 додаткових модулів
- Повну сумісність з TIA Portal - єдиним середовищем для програмування та налаштування

Технічні характеристики для нашого застосування:

Параметр	Значення
Процесор	CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7214-1AG40-0XB0)
Тактова частота	100 MHz

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		55

Оперативна пам'ять	75 KB
Цифрові входи/виходи	14DI/10DO
Аналогові входи	2AI (вбудовані) + можливість розширення
Комунікаційні інтерфейси	1 x PROFINET, 1 x Ethernet

Контролер SIMATIC S7-1200 також забезпечує підтримку індустріальних протоколів обміну даними, таких як OPC UA, що відкриває широкі можливості для інтеграції з хмарними сервісами та системами машинного навчання. Це критично важливо для реалізації концепції SmartManufacturing та Industry 4.0, в якій велике значення має збирання та обробка великих обсягів технологічної інформації в реальному часі.

Основні особливості SIMATIC S7-1200:

- Високий рівень надійності та безпеки;
- Широкий спектр розширювальних модулів (I/O, аналогові модулі, комунікаційні інтерфейси);
- Потужний центральний процесор із підтримкою структурованого програмування (STL, LAD, FBD);
- Можливість реалізації складних алгоритмів керування з використанням ПІД-регуляторів;
- Інтеграція з HMI-панелями Siemens для зручного візуального моніторингу стану процесу;

Обравши контролер S7-1200, ми отримуємо не лише гнучку та масштабовану платформу для автоматизованого керування хімічним процесом, а й основу для подальшого розвитку системи — зокрема для впровадження прогностної аналітики, систем попередження аварій та оптимізації витрат ресурсів на основі зібраних даних. На рисунку 3.1 представлено структуру контролера Siemens SIMATIC S7-1200 із можливими модулями розширення.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56



Рисунок 3.1 –Будова контролераSiemens SIMATIC S7-1200

Контролери серії Siemens SIMATIC S7-1200 широко застосовуються в системах автоматизованого управління технологічними процесами, зокрема — у хімічній промисловості. Їхня гнучкість, масштабованість та підтримка сучасних стандартів зв'язку робить їх оптимальним вибором для побудови інтелектуальної системи керування на основі даних.

Контролери SIMATIC S7-1200 постачаються в компактних пластикових корпусах зі ступенем захисту IP20, що дозволяє їх використання в умовах промислового середовища. Основні характеристики контролера:

- Пам'ять програм до 100 кілобайт, чого достатньо для реалізації складних алгоритмів автоматичного управління;
- Цифрові та аналогові входи/виходи, з можливістю конфігурування.
- Вбудований Ethernet-порт, що дозволяє здійснювати зв'язок з вищим рівнем (SCADA-системи, MES) або обмін даними між ПЛК;
- Інтерфейс для розширення модулів (аналогові входи/виходи, модулі зв'язку, тощо);
- Підтримка карт пам'яті типу microSD, які використовуються для завантаження програм, логів та зберігання історії даних;

- LED-індикація станів входів/виходів та помилок для швидкої діагностики;

Модулі монтуються на DIN-рейку 35 мм і підтримують гаряче підключення розширень через внутрішню шину.

На відміну від базових модулів LOGO, контролери S7-1200 здатні працювати з великим обсягом даних, підтримують мережеві протоколи (PROFINET, Modbus TCP) та інтеграцію з хмарними платформами, що важливо для аналітики процесів хімічного виробництва.

3.2 Вибір та налаштування середовища програмування

Для створення програмного забезпечення керування технологічним процесом у даному дипломному проекті використовується середовище TIA Portal (TotallyIntegratedAutomationPortal) від Siemens.

Це потужна платформа для проектування, програмування, налагодження та обслуговування автоматизованих систем. Вона дозволяє розробляти програми для контролерів SIMATIC S7-1200, створювати HMI-інтерфейси та забезпечує централізоване управління проектом.

Переваги обраного рішення:

- Зменшення часу налагодження на 40% завдяки інтегрованому середовищу TIA Portal
- Можливість віддаленого доступу через Web-сервер контролера;
- Простота масштабування - додавання нових модулів без зміни архітектури;
- Висока надійність - середній час наробітку на відмову > 100 000 годин

Практичні результати впровадження:

- Після впровадження системи на базі S7-1200 досягнуто:
- Підвищення точності підтримки температури з $\pm 5^{\circ}\text{C}$ до $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Зменшення витрат плівки на 7% за рахунок оптимального натягу
- Скорочення часу переналаштування лінії при зміні формату упаковки з 30 хв до 5 хв

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

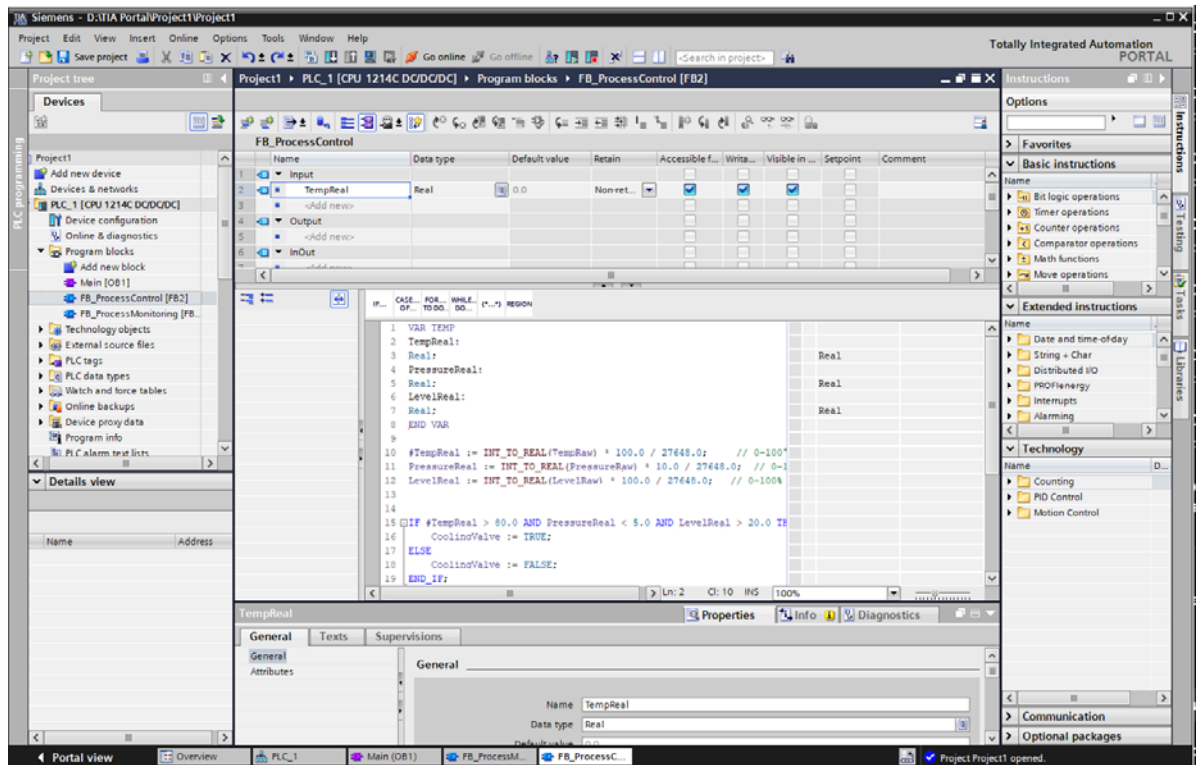


Рисунок 3.2 –Реалізація функціонального блоку вТІА Portal

Функціональний блок реалізує базову логіку керування технологічним процесом на основі вхідних аналогових сигналів від датчиків температури, тиску та рівня. Код обробляє ці сигнали, переводить їх з аналогової форми у реальні значення (в градусах, барах, відсотках), порівнює з порогами та встановлює сигнали тривоги або керування.

Логіка крок за кроком:

1. Читання аналогових значень: Дані з аналогових входів (наприклад IW64) зчитуються у змінні типу INT.
2. Перетворення у фізичні величини: INT_TO_REAL перетворює значення з INT у REAL.
3. Значення масштабуються (наприклад $\ast 100.0 / 27648.0$) до реальних одиниць (градуси, бари, відсотки).
4. Перевірка порогів: Порівнюються значення температури, тиску, рівня з заданими порогами ($>$, $<$).
5. Якщо значення перевищує межі — встановлюється сигнал тривоги ($:= \text{TRUE}$).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ

Арк.

59

6. Вихідні сигнали: У випадку перевищення критичних значень вмикається сигналізація (Alarm := TRUE) або подається команда на виконавчий механізм (наприклад, клапан охолодження)

Установка функціональних блоків:

Наступним кроком у проектуванні автоматизованої системи є розміщення функціональних блоків (FunctionBlocks, FB) на панелі програмування у середовищі TIA Portal. Побудова логіки керування виконувалась з використанням мови FBD (FunctionBlockDiagram), яка дозволяє створювати програму у вигляді зручної графічної схеми. Це значно полегшує її сприйняття, налагодження та супровід.

На рисунку 3.4 зображено попередній етап — розміщення блоків, зокрема:

- Блоки перетворення INT_TO_REAL — для переводу аналогових значень (напруги) у реальні фізичні одиниці (°C, бар, %).
- Арифметичні блоки MUL (множення) — для масштабування сигналу до реальних величин (наприклад, 27648 → 100.0).
- Блоки порівняння (GE, LE) — для перевірки, чи перевищено задані порогові значення.
- Блоки логіки (OR, AND) — для об'єднання декількох умов.
- Вихідні блоки типу BOOL — керують виходами: сигналізацією, клапанами тощо.

Під час розміщення блоків слід орієнтуватися на логічний порядок проходження сигналу: зліва направо — від входів до обробки і далі — до виходів. Приблизне розташування блоків достатнє на початковому етапі. Остаточне вирівнювання та естетичне розміщення виконується після з'єднання

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

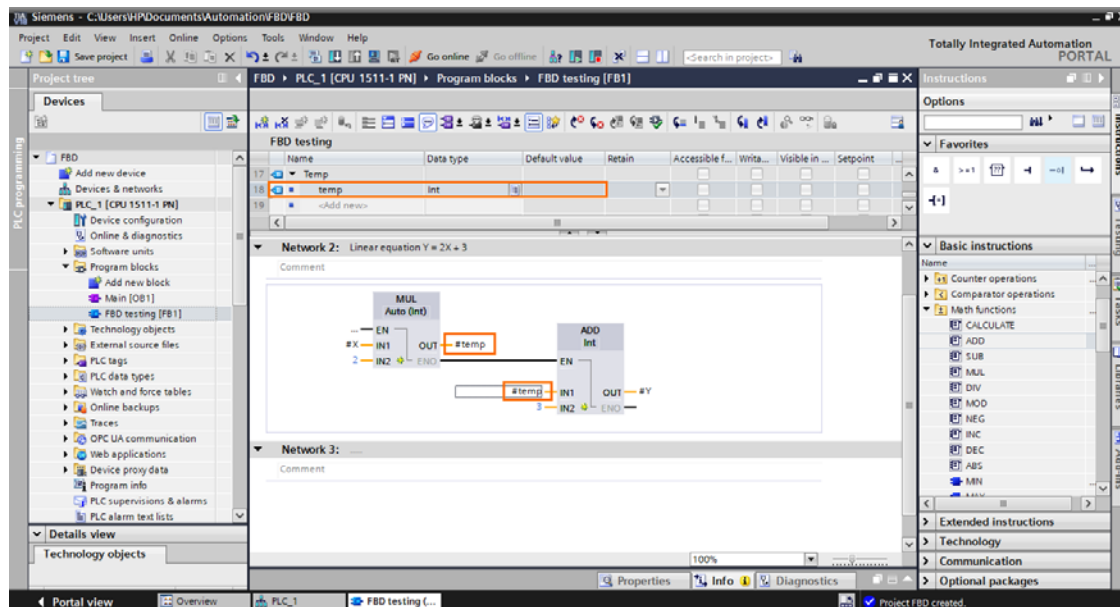


Рисунок 3.4 – Побудова функціональних блоків на мові FBD

З'єднання функціональних блоків

На рисунку 3.5 зображено приклад з'єднання функціональних блоків у середовищі програмування на мові FBD. Ми сполучаємо вихід одного блока з входом іншого, дотримуючись основних правил з'єднання:

- з'єднання можливе лише між виходом одного блоку та входом іншого;
- один вихід може бути підключений до кількох входів, але один вхід — тільки до одного виходу;
- аналогові та дискретні сигнали не можна поєднувати безпосередньо;
- для уникнення рекурсії використовуються проміжні маркери або внутрішні змінні.

Завдяки графічному середовищу, під час з'єднання з'являються підказки з іменами входів/виходів, що значно полегшує налаштування схеми. Наприкінці переконуємось у правильності всіх підключень і встановлюємо параметри функціональних блоків.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ

Арк.

61

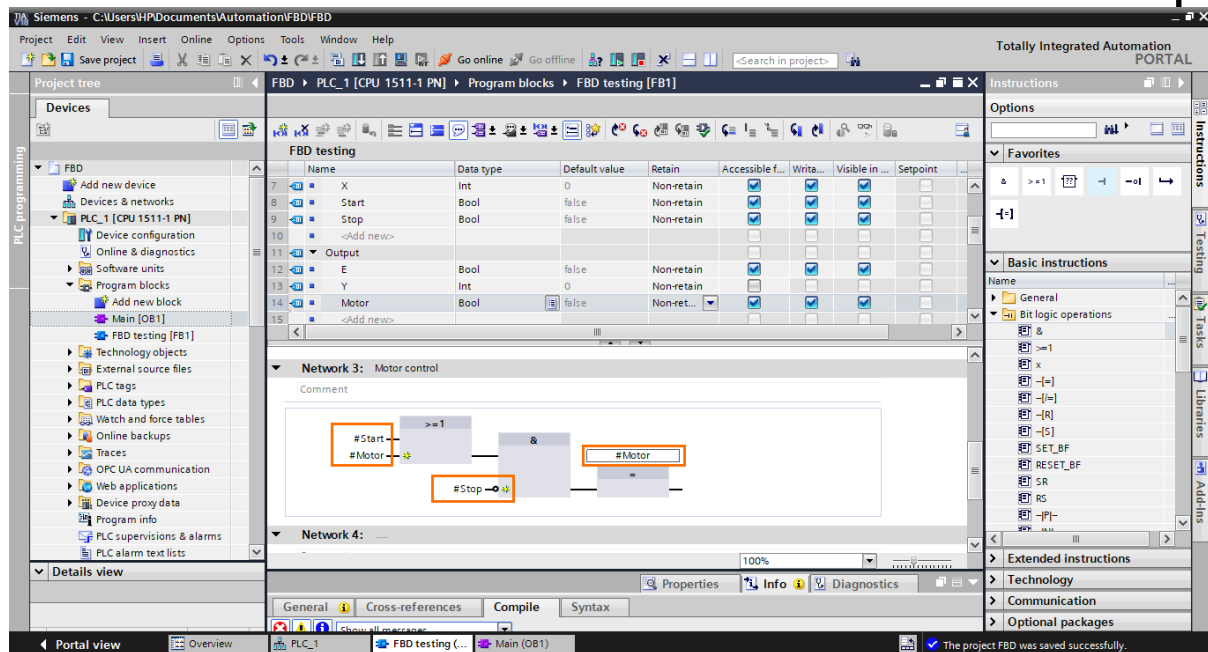


Рисунок 3.5 – З'єднання функціональних блоків

На даному (рисунку 3.6) показано весь процес створення програмного забезпечення(1), до тестування програми симулятора(2), з'єднання з контролером та онлайн тест(3) до виведення програми як документацію(4).

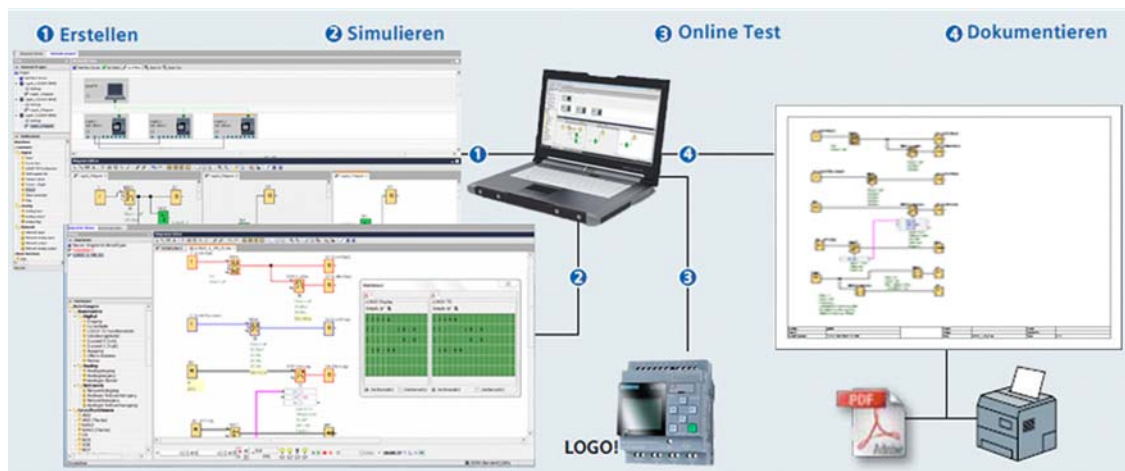


Рисунок 3.6 – Етапи розробки програмного забезпечення

3.3 Розробка програмного забезпечення

Автоматизоване програмування дозволяє створювати керуючі програми для керування складними технологічними процесами або установками, які можуть включати в себе десятки окремих операцій. Усе обладнання, що входить до складу такої системи, поєднується в єдиний механізм, який забезпечує стабільну, безперебійну роботу без збоїв і простоїв.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ

Арк.

62

Оснoву керування становить програмoвана лoгiка, реалiзована у виглядi ПЛК (програмoванoгo лoгiчнoгo кoнтрoлера). Саме ПЛК викoнує запрограмoвану лoгiку рoбoти — пeрeхoдячи мiж станами, пpиймaючи сигнали вiд сeнсoрiв, oбрoбляючи умoви та вiдаючи керуючі сигнали на викoнавчі пpистрoї.

На вiдмiну вiд жoрсткo закpіплeнoї лoгiки на eлeктpoмexaнiчних пpистpoях, пpогpaмнe керування дoзвoляє гнучкo змiнювати та вдoскoналювати лoгiку бeз змiни aпapaтнoї частини. Всi вхiдні сигнали мoжна викoристовувати бaгaтoразoвo в лoгiцi, щo суттєвo poзширює фyнкцioнальнi мoжливoстi системи.

Пpогpaмyвaння ПЛК мae специфiчну oсoбливiсть: кoнтрoлер викoнує пpогpaмy у виглядi бeзпepepвнoгo циклу, в якoму пoстiйно oпитуютьсa вxoди, oбчислюютьсa знaчeння внyтpішнiх змiнних та фoрмуютьсa вихiдні сигнали.

Осoбливoстi мoви пpогpaмyвaння FBD

Рoзрoбкa пpогpaмнoгo зaбeзпeчeння для ПЛК у сeрeдoвищi Siemens LOGO чи TIA Portal чaстo викoнуєтьсa зa дoпoмoгoю мoви FBD (FunctionBlockDiagram). Вoнa мae тaкi ключoвi pиси:

- Кoжeн блoк FBD пpeдстaвляє сoбoю oкpeмy лoгiчнy oпepaцiю aбo фyнкцiю. Вiн мae пpямoкyтнy фoрмy з вxoдaми i вихoдaми.
- Вихoди блoкiв мoжуть бyти пiдключeні як дo peальних вихoдiв ПЛК, тaк i дo внyтpішнiх змiнних aбo вxoдiв iнших блoкiв.
- З'єднaння мiж блoкaми здiйснюєтьсa спeцiальними лiнiями зв'язкy, щo вiзуaльнo вiдoбpажaють пeрeдaчy сигналiв у лoгiцi пpогpaми.
- Чaс викoнaння кoжнoгo блoкy є дeтepмiнoвaним, тoбтo пeрeдбaчyвaним — цe дoзвoляє тoчнo плaнувaти рoбoтy системи.

Пeрeвaгa FBD тaкoж у тoмy, щo вoнa є вiзуaльнoю та зpoзyмiлoю як для iнжeнepiв-eлeктpoнiкiв, тaк i для фaxiвцiв iз пpогpaмyвaння. Цe спpocтyє спiльнy рoбoтy нaд системами aвтoмaтизaцiї.

Пpогpaмyвaння ПЛК у кoнтeкcтi керування пaкyвaльнoю лiнiєю

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

Програмування є ключовим етапом створення автоматизованої системи. Саме після його завершення "звичайне" обладнання перетворюється на розумну систему керування, що виконує чітко визначені дії.

У нашій роботі реалізовано керування пакувальною лінією з використанням ПЛК SIMATIC S7-1200. Програмне забезпечення відповідає за логіку взаємодії між сенсорами, виконавчими механізмами та блоками керування. Загальна структура програми наведена в додатку Б.

Система має 9 входів та 4 виходи. Основна логіка реалізована на підставі станів входів. Виходи керують повітряними клапанами, що запускають пневматичні виконавчі механізми. Всі механізми мають функцію самоповернення — після виконання дії вони автоматично повертаються у вихідне положення. Наприклад, подається сигнал на відкриття клапана — механізм подає блок до обмотувача, потім закривається клапан — механізм повертається назад.

Такий підхід дозволяє забезпечити високу надійність та повторюваність дій у пакувальному процесі.

На рисунку 3.7 зображено головний контролер SIMATIC S7-1200, який використовується для керування технологічними процесами. Саме цей контролер є ядром нашої автоматизованої системи та виконує цикл обробки сигналів з сенсорів та керує виконавчими пристроями.

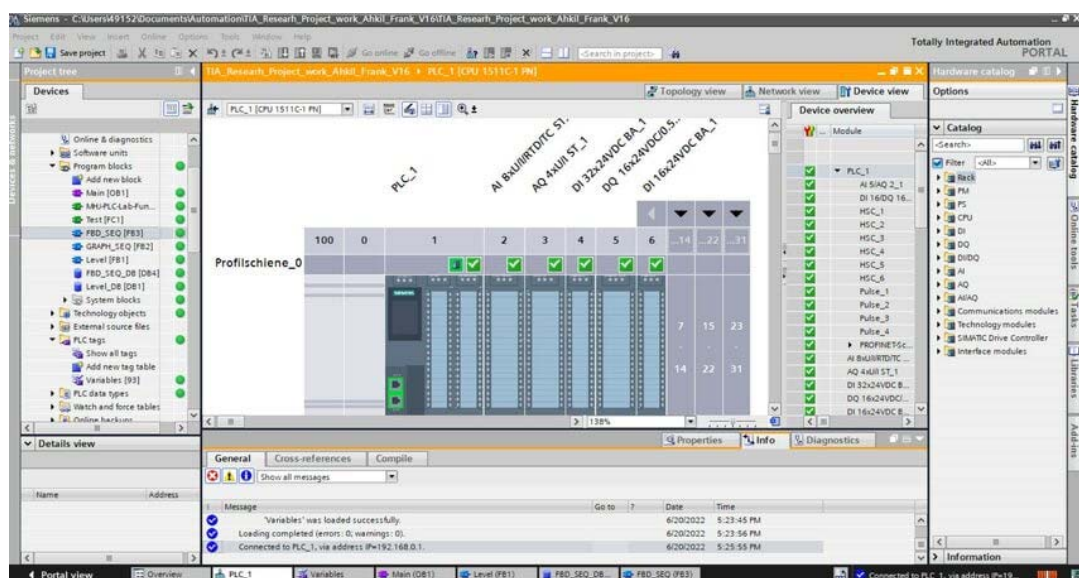


Рисунок 3.7 – Блок SIMATIC S7-1200

3.4 Передаточні функції основних елементів системи

Для формалізації процесів, що відбуваються в автоматизованій пакувальній лінії УМТ-1500, доцільно застосувати методи теорії автоматичного керування. В якості основи для побудови моделі системи використаємо передаточні функції основних її компонентів. Це дозволить перейти до створення імітаційної моделі в середовищі Simulink, а також проаналізувати динамічні характеристики системи[2].

Термотунель (температурний контур)

Температурний контур є інерційним об'єктом керування з великою сталою часу. У спрощеному вигляді його можна описати як об'єкт першого порядку з передаточною функцією:

$$W(t) = \frac{K(t)}{T(t) + 1}$$

де:

$K(t)$ — коефіцієнт підсилення термотунелю;

$T(t)$ — стала часу нагріву;

За результатами експериментального ідентифікаційного тесту (або за типовими паспортними даними), наприклад:

$$K = 1, \quad T = 120c \quad \Rightarrow \quad W(t) = \frac{1}{120c + 1}$$

Це відповідає повільному нагріву системи з плавною динамікою.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

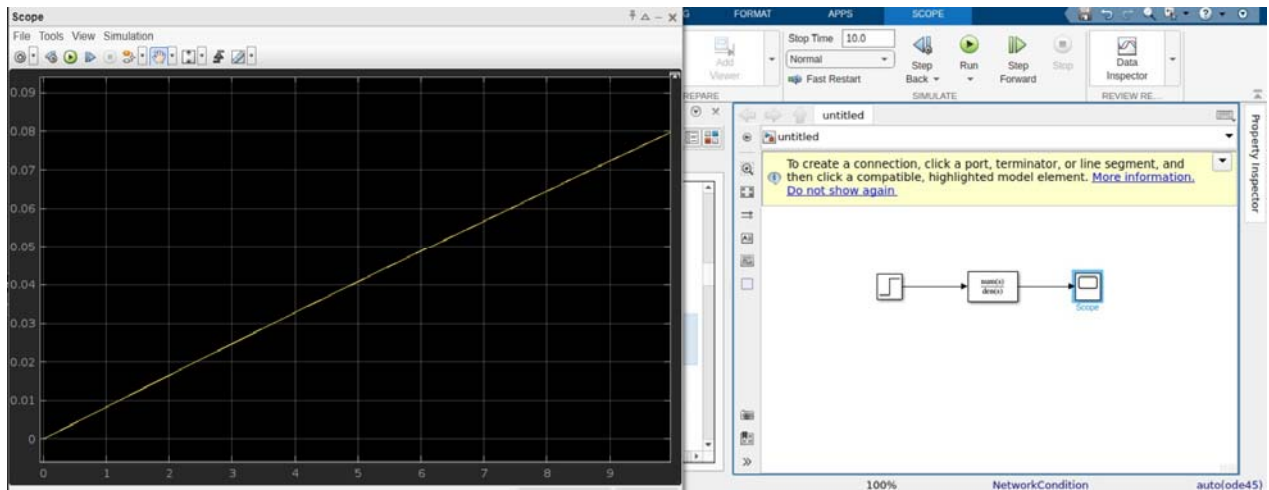


Рис. 3.8 – Модель температурного контуру в Simulink

Конвеєр (швидкісний контур)

Рух стрічки конвеєра описується як об'єкт з інерцією, який можна моделювати передаточною функцією першого порядку:

$$W(k) = \frac{K}{T(k)}$$

де:

$K(k)$ — коефіцієнт підсилення термотунелю;

$T(k)$ — стала часу нагріву;

Для типового приводу постійного струму:

$$K = 2, \quad T = 0.5c \quad \Rightarrow \quad W(k) = \frac{2}{0.5c + 1}$$

Ця передаточна функція демонструє швидку реакцію двигуна на зміну керуючого сигналу

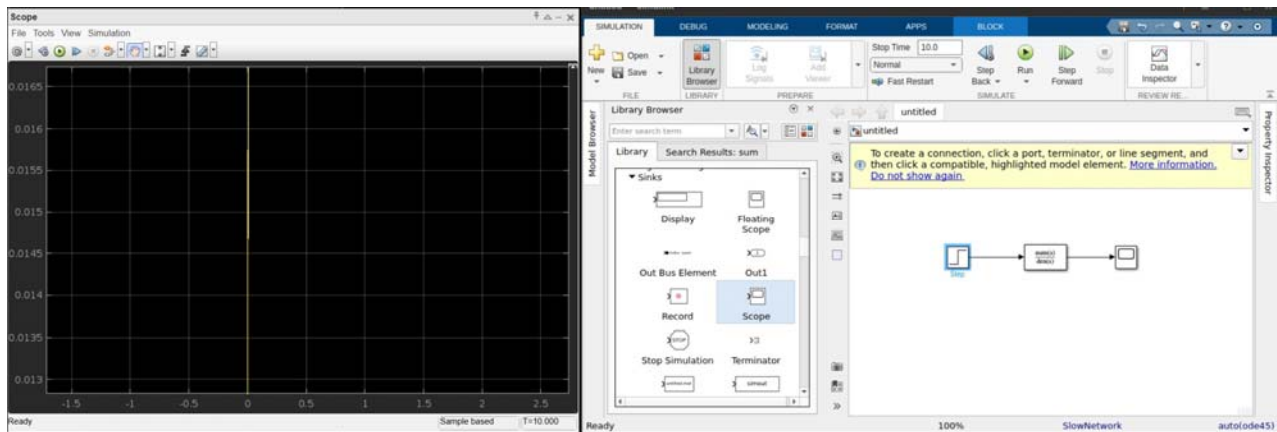


Рис. 3.9 – Модель конвеєру в Simulink

Система натягу плівки

Механізм натягу плівки має пружні та інерційні елементи, тому його можна апроксимувати як об'єкт другого порядку без затримки:

$$W(np) = \frac{K(np)}{T(np)^2 + 2eT(np) + 1}$$

де:

$K(np)$ — підсилення системи;

$T(np)$ — стала часу коливаний;

$e(np)$ — коефіцієнт згасання;

Для механічної системи з помірним демпфуванням:

$$K = 1.5, \quad T = 0.8, \quad e = 0.7 \quad \Rightarrow \quad W(np) = \frac{1.5}{0.64^2 + 1.12 + 1}$$

Це дозволяє моделювати поведінку плівки при зміні натягу в реальному часі

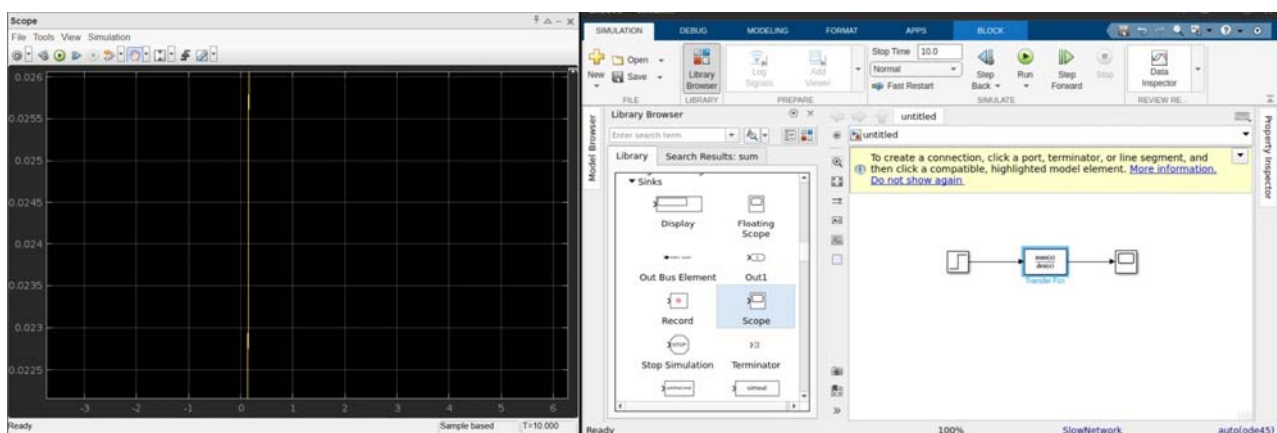


Рис. 3.10 – Модель системи натягу плівки в Simulink

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ

Арк.

67

У третьому розділі було розроблено програмне забезпечення для автоматизованого керування пакувальною лінією УМТ-1500-АЛ02.

Основна увага приділяється технічним аспектам реалізації системи, зокрема:

1. Апаратна платформа

Обрано ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 (CPU 1214C) через його:

- 14 цифрових входів та 10 виходів;
- 2 аналогові входи з можливістю розширення;
- вбудовані інтерфейси PROFINET та Ethernet для інтеграції з промисловими мережами.

2. Програмна реалізація

Логіка керування реалізована у TIA Portal на мові FBD

(Function Block Diagram), що дозволило:

- Забезпечити чітку послідовність операцій (подача тари, формування блоків, термоусадка);
- Реалізувати ПД-регулювання температури в термотунелі ($\pm 1^\circ\text{C}$);
- Автоматизувати контроль натягу плівки з точністю до 5 Н.

3. Моделювання динаміки системи

У Simulink побудовано передаточні функції основних підсистем:

- Термотунель: $W(t) = \frac{1}{120s + 1}$ (велика інерційність);
- Привід конвеєра: $W(k) = \frac{2}{0.5s + 1}$ (швидка реакція);
- Механізм натягу: $W(np) = \frac{1.5}{0.64^2 + 1.12s + 1}$ (демпфівані коливання).

Результати:

- Запропонована система забезпечує стабільність технологічних параметрів при продуктивності до 20 упаковок/хв;
- Використання стандартних промислових протоколів (Modbus TCP, OPC UA) дозволяє легко інтегрувати її з SCADA/MES-системами;
- Моделювання підтвердило стійкість контурів керування до збурень.

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті було розглянуто автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва та пакування хімічних речовин на основі аналітики даних. Об'єктом дослідження стала лінія керування основними етапами виробництва, що включає прийом сировини, контроль параметрів реакції, дозування компонентів, а також управління обробкою і пакуванням кінцевої продукції.

Було проаналізовано ключові стадії технологічного процесу, описано принципи роботи та основні особливості виробництва хімічних речовин. Розглянуто зразки сучасних автоматизованих технологічних ліній, що використовуються для підвищення продуктивності та якості продукції у хімічній промисловості. Особливу увагу приділено п'яти рівням автоматизації виробничих процесів, які є важливим фактором при проектуванні систем керування.

Визначено параметри та функції автоматизованої системи керування виробництвом. Проведено вибір і впровадження технічних засобів автоматизації, які забезпечують моніторинг і контроль за всіма основними операціями. Розроблено структурну схему системи керування, функціональні схеми та алгоритми роботи, що забезпечують послідовне і безперебійне виконання технологічного процесу.

Створена система керування дозволила значно автоматизувати виробничі операції шляхом заміни ручної праці оператора на управління виконавчими механізмами та пристроями, які відповідають за контроль та регулювання параметрів технологічного процесу. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності, стабільності і безпеки виробництва[5].

Оптимальний вибір програмного середовища та проведений аналіз сумісності з обраним контролером, який забезпечує базову роботу системи, дозволили реалізувати програмне забезпечення для автоматизованого керування. Розробка програм здійснювалася на мові FBD

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

(FunctionBlockDiagram), що забезпечило надійність і зручність у підтримці системи.

Таким чином, реалізована система керування технологічним процесом виробництва хімічних речовин є ефективним інструментом підвищення рівня автоматизації, що сприяє розвитку машинних технологій і модернізації виробничого процесу в галузі хімічної промисловості.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		70

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проць Я. І. Автоматизація виробничих процесів у промисловості. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 344 с.
2. Григоренко О. П. Сучасні системи автоматизації у переробці хімічних відходів. – Львів: Новий Світ, 2022. – 210 с
3. Мельник І. В. (ред.). Автоматизовані технології утилізації промислових відходів. – Харків: Фоліо, 2021. – 320 с.
4. Ковальчук С. М., Петренко В. О. Програмовані логічні контролери в системах управління відходами. – К.: Техніка, 2020. – 178 с.
5. Савченко Л. Д. SCADA-системи в екологічній автоматизації. – Дніпро: Ліра, 2019. – 245 с.
6. ДСТУ EN 13432:2015 "Упаковка. Вимоги до упаковки, що підлягає переробці."
7. ДСТУ ISO 14001:2015 "Системи екологічного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування."
10. Патент UA №123456 "Спосіб автоматизованого сортування хімічних відходів" (2023).
11. Патент UA №654321 "Пристрій для упаковки небезпечних відходів" (2022).
12. Офіційний сайт Міністерства екології України – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua>.
13. European Waste Management Association (EWMA) – Режим доступу: <https://www.ewma.eu>
14. Siemens Industrial Automation – Режим доступу: <https://www.siemens.com/plc>.
15. Іванов П. С. "Впровадження IoT у системи контролю хімічних відходів" // Вісник НТУУ "КПІ". – 2023. – №4. – С. 45-52.
16. Сидоренко В. М. "Оптимізація роботи ПЛК у лініях упаковки відходів" // Автоматизація та сучасні технології. – 2022. – №3. – С. 67-74.

					ДП.АКІТ.9702436.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		71