

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(навчально-науковий інститут)

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Шаповалової Маргарити Максимівни
(ПІБ)

академічної групи 123М-24-1
(шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виготовлення спирту»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Ткаченко С.М.			
розділів:				
синтез системи	доц. Ткаченко С.М.			
розроблення програмного забезпечення	доц. Ткаченко С.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			

Дніпро
2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
інформаційних технологій та
комп'ютерної інженерії
(повна назва)

_____ В.В. Гнатушенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра
(бакалавра, магістра)

здобувача вищої освіти Шаповалової М.М. академічної групи 123М-24- 1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

за освітньою-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виготовлення спирту»,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13 жовтня 2025 р. № 1165-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	10.10.2025
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну структуру та параметри кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виготовлення спирту	24.10.2025
Синтез системи	Розробка кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виготовлення спирту	14.11.2025
Розроблення програмного забезпечення	Розробка програмного забезпечення модуля кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виготовлення спирту	28.11.2025
Експериментальний розділ	Проведення і обробка результатів експериментів з кіберфізичною системою батарей бродіння	05.12.2025

Завдання видано _____
(підпис керівника)

доц. Ткаченко С.М.
(ініціали, прізвище)

Дата видачі 05 вересня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

17.12.2025 р.

Прийнято до виконання _____
(підпис здобувача вищої освіти)

Шаповалова М.М.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 80 с., 30 рис., 18 табл, 1 дод., 36 джерел

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ БАТАРЕЙ БРОДІННЯ НА ЛІНІЇ З ВИГОТОВЛЕННЯ СПИРТУ.

Об'єкт розробки – обґрунтування структури та основних параметрів кіберфізичної системи батарей бродіння лінії з виробництва спирту.

Мета роботи – обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи батарей бродіння, вибір технічних засобів автоматизації та розроблення алгоритмів автоматизованого керування процесом бродіння.

Методи дослідження – використано методи моделювання технологічних процесів бродіння, системного аналізу, теорії графів станів, методи оптимізації, а також статистичні методи аналізу та оцінювання параметрів роботи технологічного обладнання.

Проведено аналіз систем автоматизації процесів бродіння на підприємствах, визначено їх переваги та недоліки, а також обґрунтовано доцільність створення кіберфізичної системи керування.

У теоретичному розділі сформовано узагальнену модель функціонування ділянки бродіння, описано її структуру, інформаційні потоки та логіку взаємодії основних технологічних об'єктів.

У розділі «Синтез кіберфізичної системи» визначено технічні та функціональні вимоги, виконано вибір апаратних і програмних засобів, побудовано структурну схему та описано взаємодію ключових компонентів.

В експериментальній частині здійснено перевірку працездатності розроблених алгоритмів керування шляхом моделювання основних технологічних режимів процесу бродіння та оцінено ефективність функціонування кіберфізичної системи.

Практична цінність роботи полягає у підвищенні стабільності, безпечності та точності керування процесом бродіння, зниженні енергоспоживання, а також мінімізації впливу людського фактору на перебіг технологічного процесу.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів	6
Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Характеристика сфери та умов застосування системи	9
1.2 Аналіз технологічних процесів	10
1.2.1 Виробничий комплекс з виготовлення спирту	10
1.2.2 Конструкція батареї бродіння	11
1.2.3 Технологія процесу бродіння в батареї	13
1.2.4 Аналіз сучасних методів контролю та керування параметрами процесу бродіння у батарейних ферментаційних установках	16
1.3 Постановка задачі	20
2 Теоретичний розділ	22
2.1 Аналіз функцій і задач кіберфізичної системи батареї бродіння	22
2.2 Обґрунтування функціональної структури	23
2.3 Графічне моделювання автоматизації процесів бродіння	26
3 Синтез кіберфізичної системи	38
3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи ...	38
3.2 Опис функціональної схеми автоматизації батареї бродіння	39
3.3 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів	42
3.3.1 Аналіз входів та виходів системи	42
3.3.2 Обґрунтування елементної бази системи	46
3.3.3 Реалізація принципової схеми кіберфізичної системи	54
4 Розробка програмного забезпечення	57
4.1 Призначення та сфера застосування програмного забезпечення	57
4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми	57
4.2.1 Основні функції програми	58
4.2.2 Технічні вимоги до роботи програми	59
4.2.3 Вхідні дані програми	59

4.2.4 Вихідні дані програми	59
4.2.5 Технічні засоби та середовище розробки	60
4.3 Опис розробленої програми	60
4.3.1 Загальні відомості	60
4.3.2 Функціональне призначення	61
4.3.3 Опис логічної структури програми	61
4.3.4 Використані технічні засоби	62
4.3.5 Завантаження та виклик	62
4.3.6 Вхідні та вихідні дані	63
4.4 Оцінка техніко-економічної результативності кіберфізичної системи	63
5 Експериментальний розділ	65
5.1 Мета і завдання експерименту	65
5.2 Підготовка експерименту	65
5.3 Програма та методика експериментальних досліджень	66
5.3.1 Підготовчі операції	66
5.3.2 Приклад і протокол випробувань	68
5.3.3 Перевірка завантаження батареї	71
5.3.4 Перевірка роботи вивантаження батареї	73
5.3.5 Перевірка роботи вивантаження суслу	73
5.4 Аналіз результату експериментів	73
Висновки	75
Перелік посилань	77
Додаток А Текст програми кіберфізичної системи батарей бродіння на лінії з виготовлення спирту	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

КФС ББ – Кіберфізична система батарей бродіння

ІТ – Інформаційні технології

ТЗ – Технічне завдання

ПЗ – Програмне забезпечення

PLC – Power Line Communication

ПЛК – Програмований логічний контроллер

АРМ – Автоматизоване робоче місце

НМІ – Human-machine interface

АСУ – автоматизована система управління

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (система диспетчерського контролю та збору даних)

ВСТУП

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є обґрунтування структури та параметрів кіберфізичної системи батарей бродіння, а також розроблення моделей і алгоритмів автоматизованого керування, що забезпечують стабільність процесу ферментації, необхідні показники якості продукції та безпечність експлуатації технологічного обладнання.*

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити технологічний процес бродіння як об'єкт автоматизованого керування;
- проаналізувати принципи роботи основного та допоміжного обладнання батарей бродіння;
- визначити основні технологічні параметри та сигнали, що підлягають автоматичному контролю і регулюванню;
- розробити функціональну та структурну схеми кіберфізичної системи батарей бродіння;
- побудувати формалізовані графи станів, що описують режими роботи обладнання та переходи між ними;
- обґрунтувати вибір технічних засобів систем та їх параметрів;
- розробити програмне забезпечення для реалізації алгоритмів системи;
- виконати експериментальну перевірку працездатності запропонованих алгоритмів і графів.

Об'єкт дослідження – технологічний процес батарей бродіння лінії з виготовлення спирту.

Предмет дослідження – структура, параметри та алгоритми керування кіберфізичної системи батарей бродіння.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі використано методи системного аналізу, теорії автоматичного керування, теорії графів станів, моделювання технологічних процесів бродіння, а також методи математичної статистики та інженерного аналізу.

Наукові положення:

1. Лінія бродіння може бути описана як об'єкт із чітко визначеними станами, що створює передумови для результативного застосування графів-автоматів під час керування режимами ферментації.

2. Застосування кіберфізичної системи з формалізованими алгоритмами керування сприяє підвищенню стабільності параметрів процесу бродіння, покращенню рівня безпеки експлуатації обладнання та мінімізації людського впливу.

Наукові результати:

1. Сформовано структурну модель кіберфізичної системи батарей бродіння з урахуванням специфіки перебігу технологічного процесу.

2. Розроблено графи станів, що відображають функціонування технологічного обладнання в нормальних і аварійних режимах роботи.

3. Запропоновано алгоритми автоматизованого керування, які забезпечують скоординовану роботу основного та допоміжного обладнання лінії батарей бродіння.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються застосуванням загальновизнаних методів теорії автоматичного керування, обґрунтованістю та правильністю побудованих моделей, а також результатами експериментального тестування працездатності розробленого програмного забезпечення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доцільності впровадження розробленої кіберфізичної системи для автоматизованого керування процесом бродіння на спиртовому виробництві, що сприяє підвищенню якості продукції, зменшенню енергоспоживання та забезпеченню безпечних умов експлуатації технологічного обладнання.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика сфери та умов застосування системи

Ділянка батарей бродіння є ключовим етапом у виробництві етилового спирту, оскільки саме тут відбувається перетворення цукрів на етанол. Стабільність цього процесу визначає вихід продукції, її чистоту та енергоефективність виробництва. Традиційні PID-системи регулювання не завжди справляються зі змінами у властивостях сировини чи коливаннями технологічних параметрів, тому виникає потреба у сучасних рішеннях з більш високою адаптивністю [1].

Одним із таких рішень є впровадження кіберфізичної системи (КФС), що інтегрує технологічне обладнання з цифровими засобами контролю. Датчики температури, рН, рівня сусле, герметичні ферментери, насосне обладнання, теплообмінні системи та інші сенсорні пристрої постійно передають дані контролерам, які аналізують стан ферментації та автоматично коригують роботу обладнання. Це забезпечує постійний моніторинг технологічних умов та дозволяє підтримувати оптимальні умови бродіння, попереджати небажані відхилення та раціональніше використовувати енергоресурси. Така система працює як єдиний інтелектуальний комплекс: сенсори фіксують стан процесу в реальному часі, програмні модулі оцінюють отримані дані та визначають оптимальні дії, а виконавчі механізми реалізують ці команди без участі оператора. Це забезпечує стабільність ферментації, зменшує вплив людського фактора та дає змогу швидко реагувати на зміни властивостей сировини або зовнішніх умов. [2].

Особливість такої системи полягає в урахуванні біологічної динаміки дріжджових культур та використанні алгоритмів прогнозного керування. Завдяки цьому підвищується вихід спирту, зменшуються втрати сировини і зростає стабільність процесу. Для роботи КФС необхідна відповідна інфраструктура – ферментери з можливістю підключення сенсорів, надійні комунікаційні канали та серверна або хмарна платформа для обробки даних [3].

Запровадження кіберфізичної системи на бродильній ділянці дозволяє вирішити низку актуальних завдань: зменшити енергоспоживання, автоматизувати підтримання параметрів, підвищити якість кінцевого продукту та забезпечити відповідність виробничої лінії вимогам Індустрії 4.0. Такі підходи уже застосовуються в автоматизованих системах спиртового виробництва [4].

1.2 Аналіз технологічних процесів

1.2.1 Виробничий комплекс з виготовлення спирту

Комплекс включає наступні основні технологічні стадії:

1. Підготовка сировини – очищення та доведення зерна чи меляси до потрібних параметрів (вологість, чистота, концентрація). Забезпечує стабільність подальних процесів.

2. Мелення та затирання – подрібнення зерна і змішування з водою. Додавання ферментів для перетворення крохмалю на цукри. Контроль температури й рН.

3. Варіння затору – термічна обробка для завершення розщеплення крохмалю та знищення мікроорганізмів. Готує сусло до фільтрації й бродіння.

4. Фільтрація затору – відділення твердих частинок (висівок, осаду) від рідкої частини. Забезпечує чисте сусло для стабільного бродіння.

5. Бродіння сусла – дріжджі перетворюють цукри на спирт і CO₂. Ключові параметри: температура, рН, концентрація цукрів. Робота у герметичних ферментерах під контролем датчиків.

6. Дистиляція – відокремлення спирту від бражки нагріванням і конденсацією. Відбір фракцій, стабілізація фортеці. Використовують дистиляційні та ректифікаційні колони.

7. Доочистка та купажування – очищення від домішок (сивушні масла, леткі речовини) та доведення спирту до потрібної якості. [5].

Графічна схема технологічна структури такого виробничого комплексу може виглядати наступним чином рисунок 1.1:



Рисунок 1.1 – Схема виробничого комплексу

Технологічна лінія виробництва етилового спирту включає підготовку сировини, ферментацію, дистиляцію та фінальну очистку продукту. Сировиною можуть бути зернові культури, картопля або цукрова тростина, які обробляють для отримання сусла, готового до бродіння. Кіберфізична система (КФС) контролює ключові параметри процесу – температуру, рН, рівень сусла та концентрацію цукрів, забезпечуючи автоматичну корекцію режимів ферментації та оптимізацію енергоспоживання. Після завершення бродіння отриманий розчин проходить дистиляцію та ректифікацію, а фінальна очистка і купажування забезпечують потрібну фортецю та чистоту продукту. Використання КФС дозволяє підвищити стабільність технологічного процесу, покращити якість спирту і підвищити енергоефективність виробництва.

1.2.2 Конструкція батареї бродіння

Батарей бродіння є основною частиною виробничої лінії спиртового заводу, оскільки саме тут відбувається перетворення сусла на бражку за участю дріжджів. Робота цих ємностей організована так, щоб забезпечити безперервність процесу та стабільну подачу напівпродукту на дистиляційний етап. Ферментери працюють у послідовному або паралельному режимі і підтримують визначені параметри середовища, необхідні для активності дріжджових клітин.

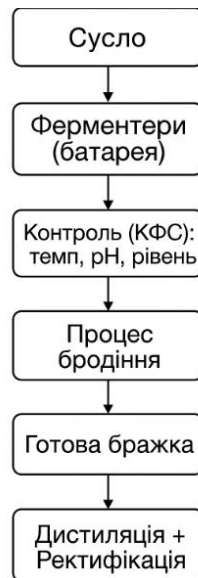


Рисунок 1.2 – Схема виробничого процесу

Після надходження сусла до ферментерів система створює керовані умови для бродіння: підтримує температуру, кислотність, рівень сусла та контроль за цукристістю, рисунок 1.2. У сучасних лініях ці задачі виконуються кіберфізичною системою (КФС), яка інтегрує сенсорні модулі, програмовані контролери та виконавчі механізми. Значення параметрів постійно відстежуються, після чого система автоматично вносить корективи у роботу теплообмінників, насосів та змішувальних пристроїв.

У період інтенсивного бродіння дріжджі активно споживають розчинені цукри, формуючи спирт та CO_2 . Важливо не допустити підвищення температури, яке може пригнічувати біологічну активність, тому теплообмінні контури працюють під керуванням КФС і підтримують необхідний тепловий режим. Завдяки цьому забезпечується стабільність процесу та рівномірний вихід спирту.

Коли бродіння наближається до завершення, зміна концентрації цукрів та кислотності стає прогнозованою. КФС аналізує ці показники та визначає момент готовності бражки. Після цього продукт автоматично подається на дистиляцію, що дозволяє зменшити втрати та уникнути ручних операцій.

Ферментери є герметичними сталевими резервуарами, обладнаними теплоізоляцією та охолоджувальними сорочками, що дозволяє точно підтримувати температурний режим протягом усього циклу бродіння. Усередині передбачено систему датчиків для контролю рівня сусла, температури, рН та

тиску. Оглядові люки та SIP-головки забезпечують зручність технічного обслуговування та санітарної обробки [6].

Теплообмінні елементи, процес бродіння супроводжується значним виділенням тепла, тому у конструкцію включено сорочки або змійовики для циркуляції холодоносія. Керування подачею охолоджуючої рідини здійснюється автоматично, що дає змогу уникати перегрівання сусла та зберігати життєздатність дріжджів [7].

Газовідвідна система, під час бродіння утворюється значна кількість CO₂, тому ферментери оснащені газовідвідними патрубками з гідрозатворами або клапанами безпеки. Конструкція передбачає регульоване відведення газу, що запобігає надлишковому тиску та забезпечує стабільність процесу [8].

Автоматизація та цифровий контроль, у сучасних виробництвах батареї бродіння інтегруються в кіберфізичні системи (КФС). Датчики передають інформацію контролерам PLC, а програмне забезпечення SCADA забезпечує безперервний моніторинг у реальному часі. Це дозволяє автоматично регулювати параметри процесу, оперативно виявляти відхилення, а також оптимізувати витрати енергоресурсів та підвищувати вихід спирту [9].

1.2.3 Технологія процесу бродіння в батареї

1. Завантаження сусла

Підготовлене сусло подається в перший ферментер батареї. Водночас до системи вносять активні хлібопекарські або спиртові дріжджі. Концентрація дріжджової культури підбирається з урахуванням температури, вмісту цукрів та типу сировини [10-16].

2. Активне бродіння

У перших резервуарах переважає інтенсивне зброджування, де дріжджі швидко споживають цукри та виділяють спирт і CO₂. КФС регулює швидкість охолодження, забезпечуючи оптимальну температуру 30–35 °C залежно від технології [10-16]

3. Перелив між ферментерами

У міру перебігу процесу бражка переливається в наступні резервуари. Це дозволяє рівномірно розподіляти біомасу дріжджів, підтримувати стабільність концентрацій та уникати накопичення побічних продуктів [10-16].

4. Дозрівання бражки

На завершальних стадіях інтенсивність бродіння зменшується, дріжджі осідають, а концентрація спирту у бражці досягає заданого рівня. Система контролю аналізує параметри процесу та визначає момент готовності для подачі на дистиляцію [10-16].

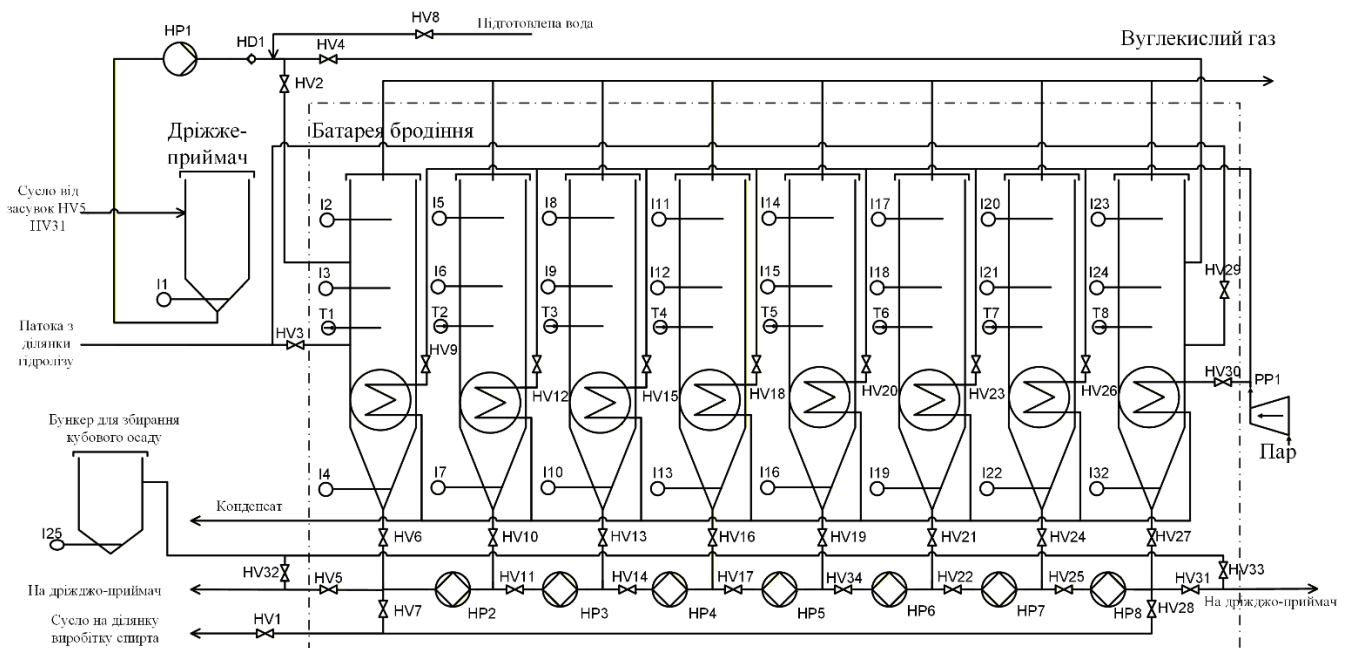


Рисунок 1.3 – Технологічна схема процесу бродіння

На рисунку 1.3 зображено батарею бродіння до неї входять:

Ферментаційні апарати – вертикальні циліндричні ємності із сорочкою охолодження та внутрішніми датчиками технологічних параметрів;

Лінія подачі сусла – трубопровід з насосом HP1 та клапанами HV2–HV4, що забезпечує рівномірний розподіл сусла, патоки та дріжджів між апаратами;

Система охолодження – теплообмінники кожного ферментера (керовані клапанами HV9, HV12, HV15, HV18, HV20, HV23, HV26, HV30);

Система відведення CO₂ – верхній магістральний колектор;

Лінія відбору бражки – нижній трубопровід з окремими запірними клапанами HV6, HV10, HV11, HV13, HV14, HV16, HV17, HV19, HV34, HV21, HV22, HV24, HV25, HV27 та насосами НР2–НР8.

Кожен ферментер обладнаний датчиками температури (Т1–Т8) та рівня (І1–І24, І32), що дозволяє автоматизувати контроль за ходом бродіння. Наявність індивідуальної сорочки охолодження забезпечує підтримання оптимальних температурних режимів, необхідних для активності дріжджових культур [10-16].

Функції запірних та регулювальних органів

Батарея працює за рахунок чіткої взаємодії клапанів різних груп:

1. Клапани подачі сусла та дріжджів:

HV2, HV3, HV4 – керують надходженням потоку з насоса НР1 до дріждже-приймача та апаратів батареї;

HV6, HV10, HV13, HV16, HV19, HV21, HV24 – подають сусло безпосередньо у ферментери відповідно до технологічного графіка.

2. Клапани пари:

HV9, HV12, HV15, HV18, HV20, HV23, HV26, HV30 – регулюють подачу пари до теплообмінників кожного апарата, забезпечуючи стабільність температури.

3. Клапани відбору бражки:

HV10, HV11, HV14, HV17, HV34, HV22, HV25, HV27 – відкривають та блокують подачу бражки до загальної лінії відбору.

HV5, HV31 – здійснюють повернення частини бражки у дріждже-приймач.

4. Вихідні та розподільчі клапани:

HV1, HV7, HV28 – регулює подачу сусла на ділянку-спирту;

HV32, HV33 – регулює вивід кубового осаду в бункер.

HD1 – ручний дренажний клапан, який відкривають вручну для: зливу залишків сусла/дріжджової суміш зі трубопроводу, видалення повітря/зняти тиск перед ремонтом, промивки або обслуговування ділянки [10-16].

1.2.4 Аналіз сучасних методів контролю та керування параметрами процесу бродіння у батарейних ферментаційних установках

У сучасному спиртовому виробництві процес бродіння має складну біотехнологічну природу: сушло перетворюється на спиртову бражку під дією дріжджів, а весь процес супроводжується тепло та масообміном, утворенням CO₂, зміною рН і температури. Успішне ведення бродіння вимагає стабільного підтримання таких параметрів, як температура, кислотність (рН), концентрація цукрів і чистота середовища, а також контроль часу ферментації – адже ці чинники прямо впливають на вихід спирту й якість кінцевого продукту [17] [18].

У зв'язку з цим, сучасні виробництва дедалі частіше застосовують автоматизовані системи контролю й керування технологічними параметрами бродіння. Це дозволяє підтримувати необхідні умови у реальному часі, коригувати режими при коливаннях складу сировини або змінах середовища, та значно підвищити стабільність і ефективність виробництва [19].

У процесі бродіння використовують такі прилади:



Рисунок 1.4 – Датчик індуктивний [20]

Індуктивний датчик наближення LJ12A3-2-Z-BX (рисунок 1.4) призначений для визначення наближення до датчика металевих поверхонь. Часто такі датчики застосовують в системах автоматизації як кінцеві датчики положення. Живиться датчик від напруги постійного струму від 6В до 36В. Вихід - нормально розімкнутий. Максимальний комутований датчиком ток становить 300 мА. [20] .



Рисунок 1.5 – Датчик температури [21]

Датчик температури РТС (рисунок 1.5) для терморегуляторів DT-311/DT-312/DT-311DIN. Зазвичай використовується для контролю температури повітря або рідини в системах нагріву або охолодження [21].



Рисунок 1.6 – Датчик граничного рівня IFM LMT105 [22]

Гігієнічний точковий датчик рівня LMT105 (рисунок 1.6) від ifm з двома програмованими виходами NO/NC використовується для в'язких середовищ і порошків. Заводське налаштування на різні типи рідин виключає необхідність перенастроювання. Ідентифікація різних середовищ за допомогою двох незалежно регульованих точок перемикачання. Точковий рівнемір LMT105 з довжиною зонда 253 мм, з роз'ємом M12 і технологічною зовнішньою різьбою G1/2, не вимагає технічного обслуговування. Завдяки міцному нержавіючому, ударостійкому і вібростійкому корпусу зі ступенем захисту IP68/IP69K і лазерному маркуванню для довговічної читабельності датчик відповідає всім вимогам для гігієнічних зон (EHEDG) [22].



Рисунок 1.7 – ПДУ-3.3. Трирівневий поплавковий датчики. [23]

Трирівневі поплавкові датчики рівня ДРП-3.3 (ПДУ-3.3) (рисунок 1.7) – призначені для контролю та сигналізації трьох (мінімального, середнього та максимального) рівнів рідини у відкритому або закритому резервуарі. Принцип дії поплавкового датчика ґрунтується на механічному переміщенні уздовж штоку поплавка, що містить постійний магніт. Верхня межа діапазону робочих температур складає 105 °С, нижнє граничне значення робочої температури залежить від характеристик рідкого середовища та повинно перевищувати температуру її замерзання. Для підмикання до систем автоматичного регулювання та керування датчики укомплектовані силіконовим кабелем AWG24 будь-якої довжини або дротом НВ 0,35 довжиною 500 мм. [23]



Рисунок 1.8 – Контактор 3RT2015-1BB41 [24]

Контактор 3RT2015-1BB41 (рисунок 1.8) – це електричний пристрій, що використовується для керування електричними ланцюгами, зокрема для вмикання та вимикання електродвигунів і інших силових споживачів. Цей контактор виробляється компанією Siemens і належить до серії SIRIUS [24].



Рисунок 1.9 – Електронасос самовсмоктувальний, реверсивний – G20 [25]

Особливістю цього насоса є можливість перекачування рідини в будь-якому напрямку (реверс). Щоб змінити напрямок перекачування, достатньо перемкнути кнопку на електродвигуні. Технічні характеристики: об./хв. – 2800, продуктивність – 33 л/хв, штуцер на шланг – 20 мм, ущільнення вала – манжетне електродвигун асинхронний 220 В, тип насоса – вихровий самовсмоктувальний, вага – 5 кг. Рекомендується використовувати з фільтром тонкого очищення на вході. Виробництво Італія [25].



Рисунок 1.10 – Електромагнітний клапан GAMA DSS-25 [26]

Електромагнітний клапан з нержавіючої сталі GAMA DSS-25 Н.З. 1" 0 - 10 bar FKM 24VDC (рисунок 1.10), на клапані встановлена соленоїдна котушка, клапан мембранного типу, різьблення внутрішнє. Деталі всередині клапана із нержавіючої сталі пружина, шток, плунжер. Дана модель застосовується для такого середовища: Вода, повітря, пара, кислоти, луги, дизпаливо, харчова промисловість, бензин та інші нафтопродукти і т.д. [26].

1.3 Постановка задачі

У сучасних умовах розвитку спиртової промисловості в Україні роль процесу бродіння в батарейних ферментерах зростає, оскільки саме від нього залежить ефективність виробництва, стабільність виходу та якість спиртової сировини. Біохімічна природа ферментації передбачає складну взаємодію теплових та мікробіологічних процесів, де ключову роль відіграють температура, концентрація цукрів, активність дріжджів і загальний стан середовища.

Традиційний підхід до регулювання таких процесів часто опирається на досвід персоналу та статичні регламенти, що не гарантує стабільності при зміні сировини або умов. Це призводить до коливань якості, перевитрат ресурсів і зниження ефективності. Сучасна тенденція, впровадження автоматизованих систем контролю й управління бродильними батареями, які використовують цифрові та сенсорні технології. Такі системи дозволяють моніторити ключові параметри в реальному часі, швидко реагувати на зміни, підтримувати оптимальний режим бродіння та мінімізувати вплив людського фактора.

Мета цієї дипломної роботи – обґрунтувати й розробити структуру автоматизованої системи управління ферментацією в батареях, що забезпечить стабільність технологічних умов, підвищення якості бражки та зростання виходу спирту. Для цього планується виконати такі завдання:

- провести аналіз конструкції ферментерів та технологічного процесу бродіння;
- дослідити сучасні методи автоматизації і контролю (датчики, сенсори, моделі);
- розробити програмне забезпечення системи, а також алгоритми керування, запрограмувати систему управління;
- перевірити ефективність запропонованих рішень експериментально на виробничому або пілотному рівні.

Очікується, що запровадження такої системи дозволить підвищити стабільність бродіння, максимізувати вихід спирту, зменшити енерговитрати та зробити процес менш залежним від людського фактору.

ВИСНОВОК

У розділі проведено аналіз технологічного процесу бродіння у батареях та принципів роботи основного і допоміжного обладнання. Визначено ключові параметри, що впливають на стабільність і ефективність процесу: температурні режими, рівні робочих середовищ, перемішування та витрати середовища. Особливу увагу приділено конструктивним особливостям батарей, розташуванню датчиків, клапанів, насосів, бункерів та вузлів контролю, які є критично важливими для підтримання оптимальних умов бродіння.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність створення кіберфізичної системи керування, здатної забезпечувати безперервний контроль технологічних параметрів, своєчасне виявлення відхилень та автоматичну корекцію процесу. Для реалізації системи було обрано відповідні датчики, насоси та клапани, що дозволяють регулювати рівні, витрати та температурні режими середовища. Розроблено загальні принципи побудови алгоритмів керування та функціональних модулів, що забезпечують ефективну інтеграцію обладнання в автоматизовану систему.

Отримані результати формують основу для подальшої розробки структури та моделей автоматизованого управління батареями бродіння. Вони також забезпечують підготовку до експериментальних досліджень рідинних середовищ, оцінки ефективності обраних датчиків і регулюючих елементів, що буде детально розглянуто у наступному розділі. Таким чином, проведений аналіз дозволяє перейти від теоретичного обґрунтування до практичної реалізації системи автоматизації та оптимізації процесу бродіння.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз функцій і задач кіберфізичної системи батареї бродіння

Кіберфізична система для управління батареями бродіння координує функціонування всіх технологічних вузлів – бункерів, насосів, клапанів та допоміжного обладнання – шляхом взаємодії фізичних елементів (датчики) з інформаційним контролем (контролер, ПЗ, операторський інтерфейс).

Система виконує такі основні функції:

- безперервний моніторинг температури, рівня рідини, концентрації субстрату та стану обладнання;
- автоматичне регулювання параметрів процесу бродіння, включаючи температуру, рівень рідини;
- забезпечення безпеки технологічного обладнання та запобігання аварійним режимам;
- збереження технологічних даних і їх аналіз для оптимізації процесу та підвищення ефективності виробництва.

Замкнений цикл керування охоплює всі етапи процесу – від отримання інформації до оцінки ефективності процесу.

Основні етапи роботи системи:

- Збір даних. Датчики температури, датчики рівня рідини надсилають сигнали на панель керування, де відбувається перевірка коректності даних.
- Обробка та контроль. Дані, отримані від датчиків, перевіряються на відповідність технологічним стандартам, після чого система визначає та формує команди для коригування параметрів процесу.
- Регулювання процесу. Через клапани, насоси та системи перемішування здійснюється контроль подачі суслу, додавання дріжджів та підтримання оптимальної температури.
- Безпека і аварійні дії. У разі відхилень система автоматично блокує подачу сусла та дріжджів, зупиняє насоси і здійснює автоматичне блокування та захист, запобігаючи пошкодженню апаратів і втраті середовища.

– Зберігання та обробка даних. Параметри технологічного процесу зберігаються для їх наступного аналізу, контролю стабільності та оптимізації витрат матеріалів і енергії.

Таким чином, система дозволяє забезпечити надійний контроль і ефективне управління процесом бродіння, підвищуючи продуктивність батарей та стабільність виробництва.

2.2 Обґрунтування функціональної структури

На основі розділу 2.1 була розроблена схема функціональної структури системи керування батареями бродіння (рисунок 2.1). На схемі відображено координацію ключових підсистем автоматизації, що гарантують повний цикл контролю та управління процесом бродіння.

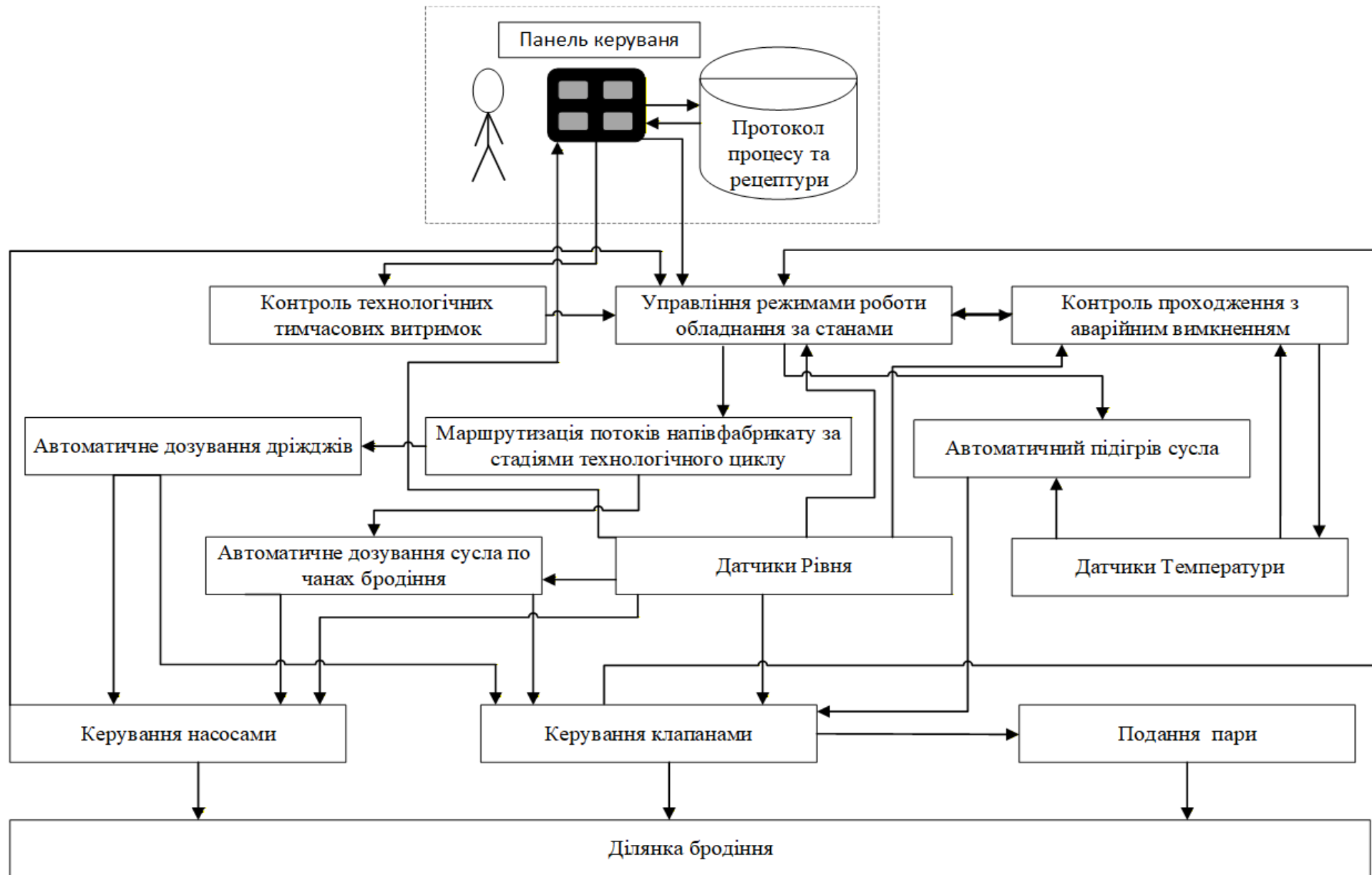


Рисунок 2.1 – Схема функціональної структури

Склад системи керування батареями включає такі основні елементи:

Панель керування та протокол процесу

– Інтерфейс оператора, через який здійснюється моніторинг, управління та введення технологічних параметрів.

– База даних протоколів процесу та рецептур, що зберігає історію параметрів і дозволяє аналізувати ефективність процесу.

Підсистема контролю та управління режимами роботи обладнання

– Забезпечує моніторинг та підтримку стабільних технологічних режимів.

– Включає управління аварійними режимом для запобігання перевантаження або пошкодження обладнання.

Контроль технологічних тимчасових витримок

– Слідкує за тривалістю ключових стадій бродіння для забезпечення технологічної точності процесу.

Маршрутизація потоків напівфабрикату

– Забезпечує автоматичний розподіл сусла та дріжджів між чанами відповідно до етапів технологічного циклу.

Автоматичне дозування компонентів

– Дозування дріжджів.

– Дозування сусла по чанах бродіння.

Контроль технологічних параметрів

– Датчики рівня – відстежують об'єми рідини у чанах.

– Датчики температури – контролюють температурний режим середовища.

Система керування виконавчими механізмами

– Керування насосами – забезпечує циркуляцію сусла та його подачу.

– Керування клапанами – регулює потоки рідини та пари.

– Подача пари – підтримує необхідну температуру для процесу бродіння або підігріву сусла.

Ділянка бродіння

– Основний технологічний блок, де відбувається контрольований процес бродіння під управлінням системи.

2.3 Графічне моделювання автоматизації процесів бродіння

На основі сформованої функціональної схеми автоматизації процесу роботи батареї бродіння (рисунок 2.1) було розроблено структурну деталізацію роботи системи у формі графів, що відображають послідовність автоматизованих операцій.

Розроблені графи відображають структуровану послідовність операцій на кожному етапі процесу бродіння та слугують базою для побудови алгоритмів керування у програмованому логічному контролері. Завдяки ним можна визначити взаємодію між обладнанням, засобами контролю та виконавчими пристроями під час запуску, протікання та завершення циклу бродіння.

Графи автоматизації, створені на основі функціональної структури, дозволяють детально відтворити логіку роботи кіберфізичної системи батареї бродіння. Вони відображають взаємозв'язок між усіма елементами системи, визначають порядок виконання операцій та забезпечують узгодженість керування. Завдяки цьому графи стають ключовою основою для подальшого програмування, тестування та практичної реалізації автоматизованої системи на виробництві.

1. Граф станів кіберфізичної системи керування батареєю бродіння

На рисунку 2.2 продемонстровано граф станів системи батареї бродіння.

Представлений граф демонструє послідовність роботи автоматизованої кіберфізичної системи батареї бродіння, описуючи її стан (Action) та логічні переходи між ними. У графі відображено реакцію системи на операторські команди, часові інтервали, підтвердження готовності обладнання та появу аварійних або нестандартних ситуацій. Усі дії об'єднані в логічну послідовність – від старту циклу до завершення бродіння та промивки.

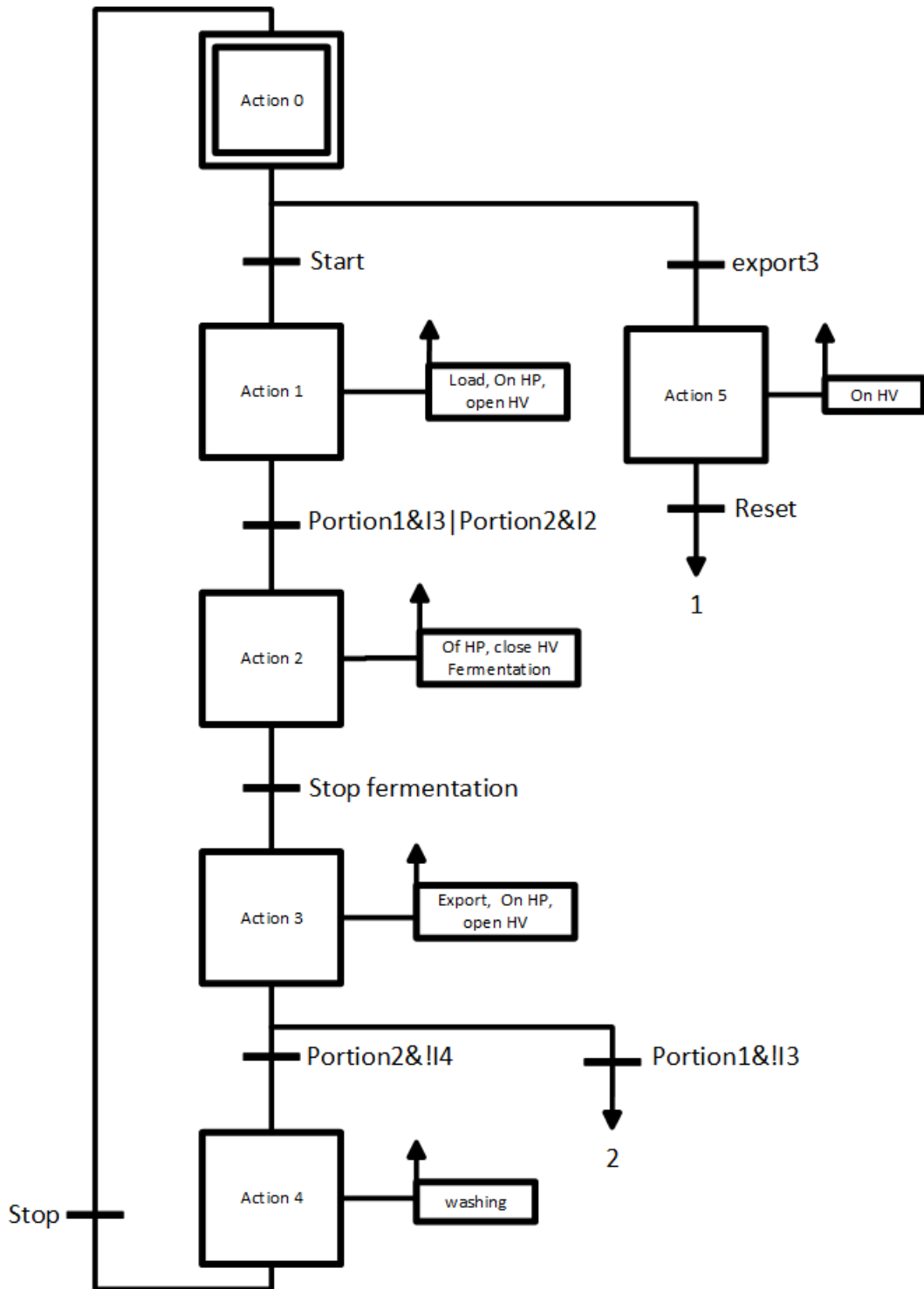


Рисунок 2.2 – Граф станів системи керування батареєю бродіння

Action 0 – запуск технологічного циклу

Цей стан означає підготовку до завантаження порції браги або необхідні початкові перевірки. Після команди Start система переходить у первинний стан (Action 1).

Action 1 – Завантаження порції сусла (Portion1, Portion2)

На цьому етапі відбувається:

увімкнення насосів завантаження (On HP)

відкриття електромагнітних клапанів (open HV)

подача чергової порції сусла у бродильний апарат

Поруч з Action 1 зображений блок Load – це сигнал, який активує подачу порції.

Після завершення завантаження система переходить до наступного етапу.

Action 2 – Початок і контроль бродіння

Тут система:

включає мішалки

контролює подачу живильних добавок

перевіряє температурний режим

фіксує час бродіння за таймером

На графі біля Action 2 підписано fermentation, Of HP, close HV це:

вимкнення насосів (HP)

закриття електромагнітних клапанів (HV)

запуск ферментаційного режиму

Далі відбувається перехід до етапу Action 3 він відбувається за умови завершення етапу бродіння.

Stop of fermentation – завершення етапу бродіння

Коли час бродіння спливає або параметри досягають норми, система завершує ферментаційний цикл.

Action 3 – Вивантаження сусла або готового продукту або осаду

У цьому стані система:

Включає насоси вивантаження (On HP), відкриває електромагнітні клапанів (open HV), підготовлює апарат до перекачування продукту.

Поруч зазначено exporte – це означає вивантаження

Після цього йде порційність, тобто Portion2 до датчика I4 або Portion1 до датчика I3.

Action 4 – Миття і промивка бродильного апарата (washing)

Останній технологічний етап:

вмикається програма промивки

подається вода або мийний розчин

здійснюється злив промивної рідини

Це повний завершальний цикл перед переходом у стан Stop.

Також є додатковий стан або паралельний Action 5 – це вивантаження кубового осаду працює за умови export 3 що означає саме вивантаження осаду за наявності.

Надалі є команда Stop – Команда на зупинку норії

Система зупиняє всі операції і чекає на наступну команду оператора для старту нового циклу.

Portion1, portion2 – Порція сировини для бродіння.

Export – Команда вивантаження сировини.

I2, I3, I4 – Датчики рівня в батареї.

2. Граф завантаження сировини системи керування батареєю бродіння

На графі представлено послідовність технологічних операцій батареї бродіння, реалізованих у вигляді графа завантаження системи (рисунок 2.3). Граф описує, як кіберфізична система керує етапами: запуск процесу, подача порцій суслу, контроль параметрів, введення дріжджів, перехід між стадіями бродіння, обробка помилок, вихід у завершальний стан.

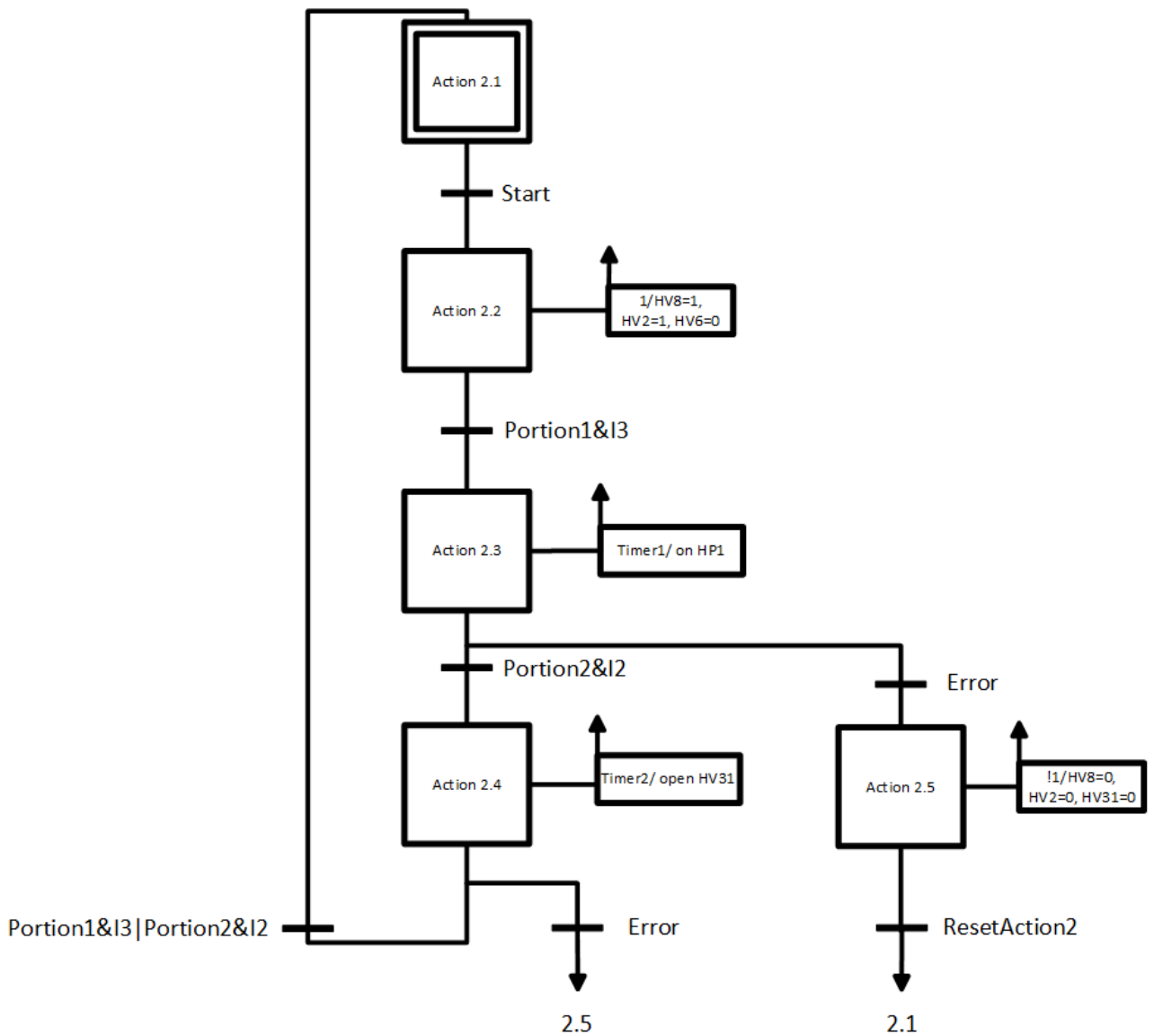


Рисунок 2.3 – Граф завантаження сировини

Action 2.1 – Початковий стан підсистеми

Цей блок відповідає за: ініціалізацію обладнання, перевірку стану датчиків, підготовку бродильного апарата до роботи.

Після успішної підготовки система переходить до Action 2.2.

Action 2.2 – Завантаження порції води та дріжджів

У цьому стані відкриваються клапани подачі води та дріжджів, контролюються датчики рівня, здійснюється завантаження порції 2 або 3.

Поруч вказано: 1/HV8=1, HV2=1, HV6=0 – це означає відкриття та закриття електромагнітних клапанів (HV), підготовку до наступного етапу.

Після завершення подачі порції система переходить до Action 2.3.

Action 2.3 – Завантаження порції сусла

Клапани що були відкриті в минулому стані залишаються відкритими, але щей вмикається насос (on HP1) для подачі сусла, а також відпрацьовує таймер перший (Timer1) щоб подати відповідну порцію до технологій приготування. Тобто після спрацювання таймера вмикається насос та система готова до переходу. Далі можливі два шляхи: нормальний перехід – Action 2.4 або аварійний – Action 2.5

Action 2.4 – Завантаження порції патоки з ділянки гідролізу

Цей стан включає так само таймер (Timer2), подача патоки відбувається після відкриття клапану (HV31), по завершенні часу потрібні клапани змінюють свій стан. Далі можливі також два шляхи: нормальний перехід – Action 2.1 або аварійний – Action 2.5 перехід у Error (якщо відпрацювання некоректне)

Action 2.5 – аварійний стан (Error)

На графі передбачено незалежну гілку помилок.

Вона активується, якщо:

таймери не спрацювали,

клапан не відкрився/не закотився,

об'єм порції не підтверджений датчиками,

обладнання не готове.

Помилка відображається як окремий вузол.

У цьому стані усі клапани та насоси припиняють свою роботу та переходять у стан очікування, завершуються залишкові операції, якщо система фіксує помилку то виконується перезапуск системи після того як її перевірить оператор.

Portion1, Portion2 – Порція сировини для бродіння.

Timer1, Timer2 – Таймер для завантаження.

ResetAction2 – Команда на скидання до стану.

(HV8, HV2, HV6, HV31) = 1 – Команда для відкриття клапанів.

(HV8, HV2, HV6, HV31) = 0 – Команда для закриття клапанів.

I2, I3 – Датчики рівня сировини в системі.

3. Граф роботи насосу

Представлений граф (рисунок 2.4) відображає логіку функціонування насоса в системі автоматизованого керування технологічними операціями. Він описує переходи між станами, умови їх активації та реакцію системи на зовнішні команди або внутрішні сигнали.

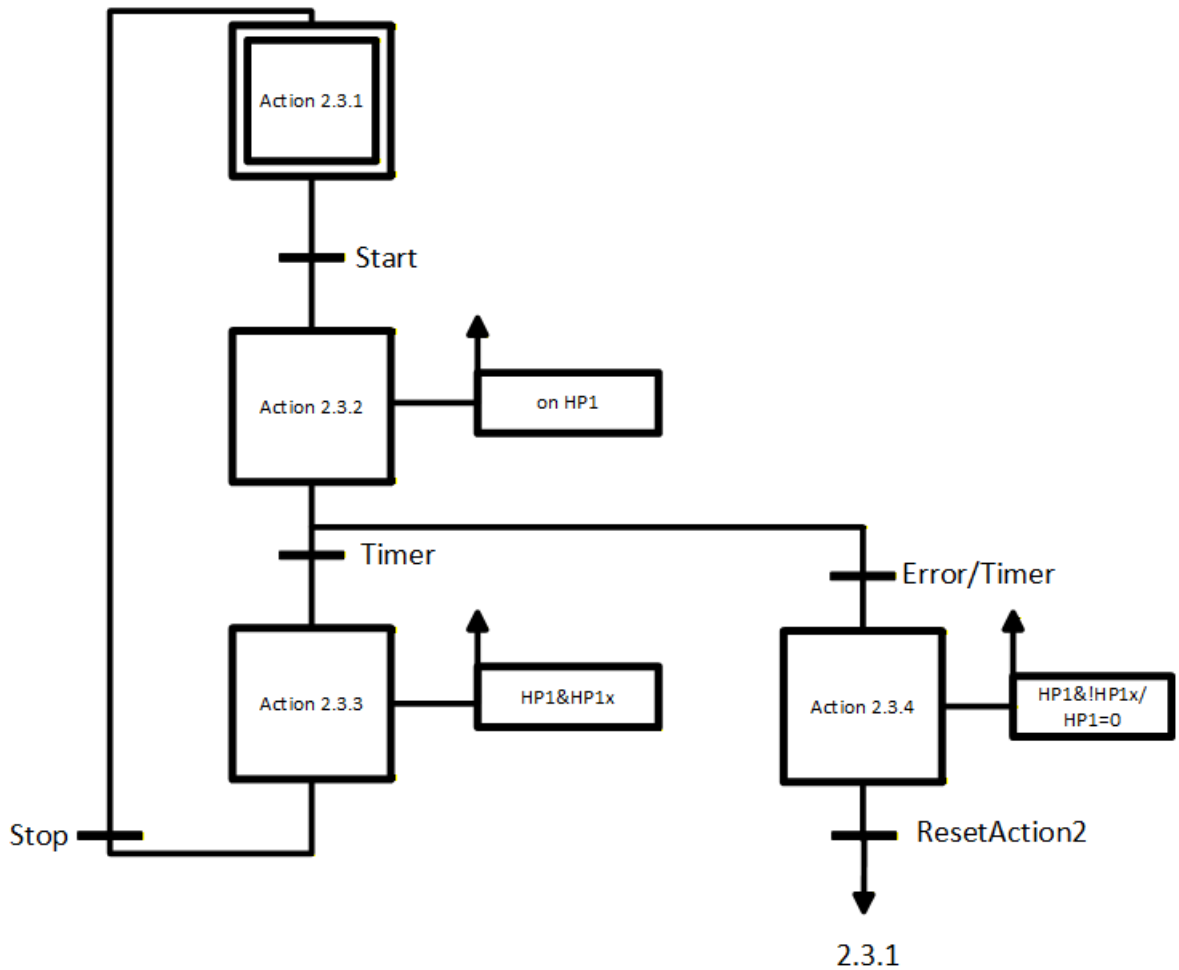


Рисунок 2.4 – Граф роботи насосу

Опис станів графа

Action 2.3.1 – Початковий стан

Це базовий стан, у якому насос очікує команду на запуск. Система знаходиться у режимі готовності й переходить до активної фази лише після надходження сигналу Start.

Start – команда на запуск насоса та ініціацію послідовності дій.

Action 2.3.2 – Активний стан (Пуск та робота насоса)

Після отримання команди Start насос переводиться у стан активної роботи. На цьому етапі формується команда $HP1 = 1$, що забезпечує увімкнення насоса. Паралельно активується Timer, який контролює тривалість фази.

Timer – сигнал таймера, що використовується для контролю часу перебування у певному стані.

Якщо фіксується сигнал, що відповідає виходу із робочих режимів (наприклад, $HP1 = 0$), або спрацьовує таймер, відбувається перехід до стану Action 2.3.4, якщо все працює в правильному режимі то перехід відбувається до наступного стану Action 2.3.3

Action 2.3.3 – Контрольний етап

Система переходить у цей стан після завершення часу, встановленого таймером. На цьому етапі здійснюється контроль сигналів: стану навантаження насоса, параметрів роботи, коли все добре робота завершується переходить у початковий стан Action 2.3.1. Stop – команда на зупинку роботи та переведення системи до вихідного стану.

Action 2.3.4 – Стан зупинки та скидання (Error/Reset)

У цьому стані насос вимикається ($HP1 = 0$) та система завершує цикл роботи. Сигнал Reset переводить граф у початковий стан Action 2.3.1, підготовлюючи його до нового циклу.

4. Граф перевірки температури сировини

Представлений граф (Рисунок 2.5) моделює алгоритм автоматизованої перевірки температури сировини перед запуском технологічної операції. Він визначає послідовність переходів між станами, умови спрацювання та реакцію системи на допустимі й недопустимі температурні режими.

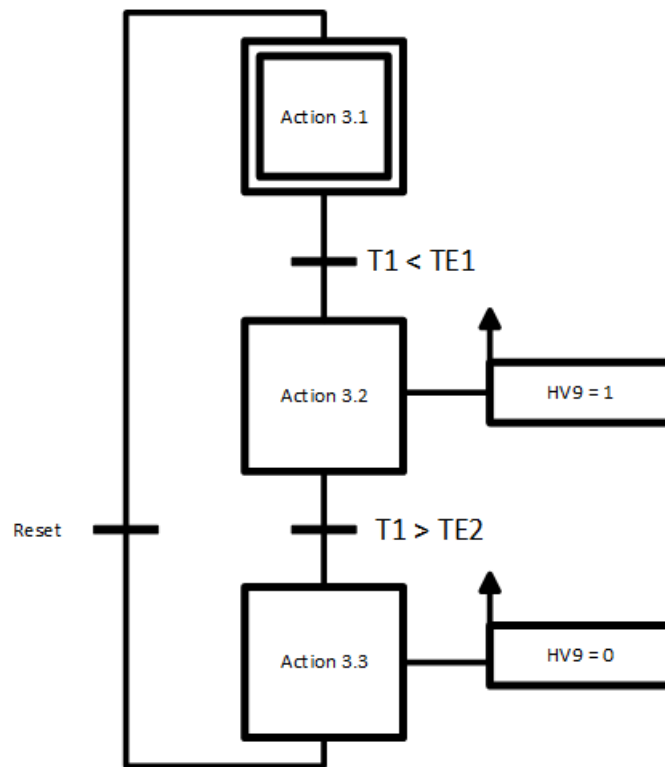


Рисунок 2.5 – Граф перевірки температури сировини

Action 3.1 – Початковий стан.

$(T1 < TE1) / HV9 = 1$ – Перехід від початкового стану до проміжного відбувається стану за умови, що температура $T1$ менша за $TE1$, та встановлюється сигнал $HV9=1$.

Action 3.2. – Проміжний стан.

$(T1 > TE2) / HV9 = 0$ – Перехід від проміжного стану до початкового стану за умови, що температура $T1$ більша за $TE2$, та встановлюється сигнал $HV9=0$.

Action 3.3 – Кінцевий стан.

Сигнал Reset переводить граф у початковий стан.

5. Граф вивантаження сировини

Граф (Рисунок 2.6) відображає логіку роботи кіберфізичної системи під час автоматизованого вивантаження сировини з апарата. Він демонструє послідовність переходів між станами, реакцію на команди оператора та керування виконавчим механізмом – насосом.

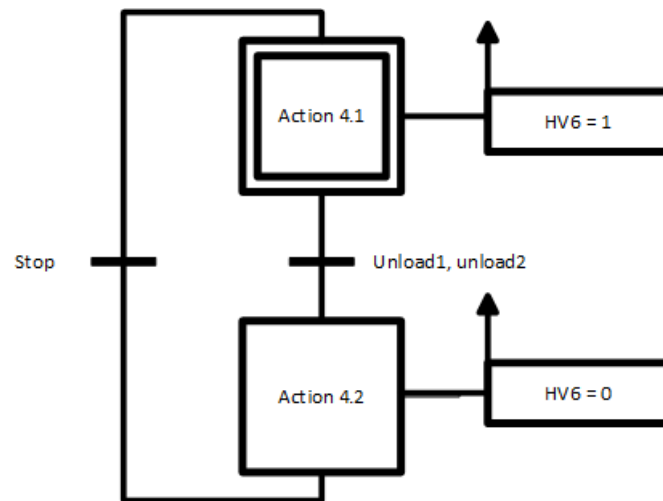


Рисунок 2.6 – Граф вивантаження сировини

Action 4.1 – Початковий стан (Вивантаження)

Система перебуває у режимі готовності до виконання команди вивантаження. Після отримання команди система переходить у стан активного вивантаження, насос вмикається ($HP6 = 1$). Перехід можливий після надходження будь-якої команди запуску Unload1 або Unload2.

$HP6 = 1$ – насос працює, здійснюється переміщення сировини.

Знаходження в цьому стані триває до завершення операції або виконання умов зупинки.

Action 4.2 – Кінцевий стан (Завершення операції)

Після завершення вивантаження система зупиняє насос.

$HP6 = 0$ – вимкнення насосного агрегату.

Stop – фіксує завершення процесу та забезпечує повернення системи до початкової логіки.

6. Граф вивантаження кубового осаду

Граф (Рисунок 2.7) відображає послідовність роботи системи під час вивантаження кубового осаду з апарата. Він демонструє логіку переходу між станами та керування виконавчими механізмами – запірними клапанами HV32 та HV33.

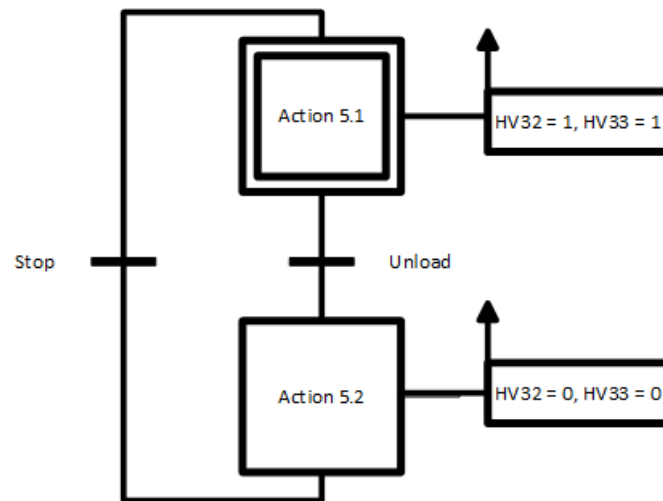


Рисунок 2.7 – Граф кубового осаду

Action 5.1 – Початок вивантаження

У цьому кроці система відкриває запірні клапани, необхідні для початку процесу:

HV32 = 1 – клапан відкритий

HV33 = 1 – клапан відкритий

Це забезпечує можливість виходу осаду з куба.

Перехід до наступної дії відбувається після отримання команди Unload.

Action 5.2 – Завершення вивантаження

Після виконання процесу система закриває обидва клапани:

HV32 = 0 – клапан закритий

HV33 = 0 – клапан закритий

Закриття обладнання гарантує герметичність апарата після завершення операції. Перехід до початкового кроку відбувається після надходження команди Stop або по досягненню умов завершення процесу.

ВИСНОВОК

У другому розділі сформовано цілісну структурну основу кіберфізичної системи, призначеної для автоматизації роботи батареї бродіння. На основі детального аналізу технологічних операцій встановлено взаємозв'язки між основними підсистемами та окреслено їхні ролі у забезпеченні стабільного перебігу процесу бродіння.

На базі розробленої структури побудовано формалізовані графи станів, що описують поведінку системи на всіх етапах. Графічне моделювання дозволило впорядкувати алгоритми керування, визначити критичні переходи між станами та сформувавши логіку реагування на зовнішні та внутрішні сигнали. Для кожного процесу – контролю температури й щільності суслу, вивантаження осаду, транспортування рідини насосним обладнанням, роботи клапанів та допоміжних механізмів – створено структуровані моделі, що враховують умови спрацювання виконавчих пристроїв, дії оператора, показання датчиків і роботу таймерів.

Сформовані графи дали можливість формалізувати поведінку кожної частини системи та забезпечити узгодженість взаємодії між підсистемами. Вони створюють алгоритмічну основу для подальшої програмної реалізації, підвищують наочність технологічних процесів та забезпечують коректний перехід до етапу впровадження автоматизованої системи на виробництві.

Отримані результати підтверджують ефективність використання графових моделей для опису та проєктування кіберфізичних систем у спиртовому виробництві та формують надійну базу для створення безпечної, стабільної та оптимізованої системи керування батареєю бродіння.

3 СИНТЕЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації кіберфізичної системи

Для ефективного функціонування кіберфізичної системи батареї бродіння розташування її обладнання має враховувати безпосередню близькість до ферментаційних апаратів та ліній підведення сировини. Основні модулі керування бажано монтувати так, щоб вони знаходилися в зоні швидкого доступу до датчиків і виконавчих механізмів, оскільки це мінімізує втрати сигналу та дозволяє підвищити точність регулювання процесу бродіння.

Шафи автоматизації встановлюють у виробничих приміщеннях із стабільним мікрокліматом, де підтримуються нормовані температурні умови. Такі приміщення забезпечують захист електронних компонентів від вологості, агресивних парів та конденсату. На відміну від них, вимірювальні точки – сенсори температури, рівня, тиску та інші контрольні елементи – можуть монтуватися в будь-якій зоні ферментаційного відділення: безпосередньо на бродильних ємностях, у холодніших сегментах цеху або на відкритих ділянках, що потребують додаткового захисту від зовнішніх впливів.

Такі вимоги визначають особливості технічного виконання всієї системи. Від вибору типу датчиків і ступеня їх герметичності до способу прокладання кабельних ліній та конфігурації модулів керування – кожен параметр має відповідати умовам експлуатації конкретної ділянки. Усе це формує індивідуальну структуру кіберфізичної системи для процесів бродіння та задає специфіку побудови її функціональних алгоритмів.

Для організації автоматизованого керування батареєю бродіння доцільно застосувати промислові пристрої контролю: програмований контролер, модулі приймання сигналів від датчиків технологічних параметрів та панель оператора для взаємодії з системою. Таке технічне оснащення дає змогу безперервно відстежувати умови перебігу бродіння та оперативно реагувати на їх зміни, забезпечуючи стабільність процесу та необхідну якість готового продукту.

3.2 Опис функціональної схеми автоматизації батареї бродіння

На базі раніше створеної функціональної структури кіберфізичної системи в цьому розділі представлено функціональну схему автоматизації етапу батареї бродіння (рисунок 3.1). Подана схема відображає взаємодію всіх ключових підсистем, що забезпечують контроль, регулювання та безпечне функціонування батареї бродіння у штатних і перехідних режимах.

До основних елементів системи входять:

- Блок автоматичного керування батареєю бродіння – центральна підсистема, що обробляє дані з датчиків температури, рівня та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Саме тут узгоджується робота всіх технологічних вузлів.

- Система керування ємностями бродіння – відповідає за підтримання оптимальних умов процесу, включно з температурним режимом, перемішуванням, відбором вуглекислого газу та регулюванням рівня сировини.

- Управління допоміжним обладнанням – охоплює роботу насосів подачі та рециркуляції, електроприводів клапанів й системи завантаження та вивантаження сула. Це забезпечує стабільний перебіг технологічного циклу.

- Контур збору технологічних сигналів – зчитує інформацію з датчиків (рівня та температури), а також контролює стан приладів. Отримані дані використовуються для обчислення режимних параметрів та коригування роботи системи.

- Підсистема діагностики та аварійного реагування – відстежує відхилення параметрів, фіксує помилки обладнання та за потреби переводить установку у безпечний режим або здійснює примусове зупинення окремих вузлів.

- Операторська панель – надає можливість оператору спостерігати за ходом процесу, змінювати режимні установки, формувати команди керування та переглядати архіви параметрів у реальному часі.

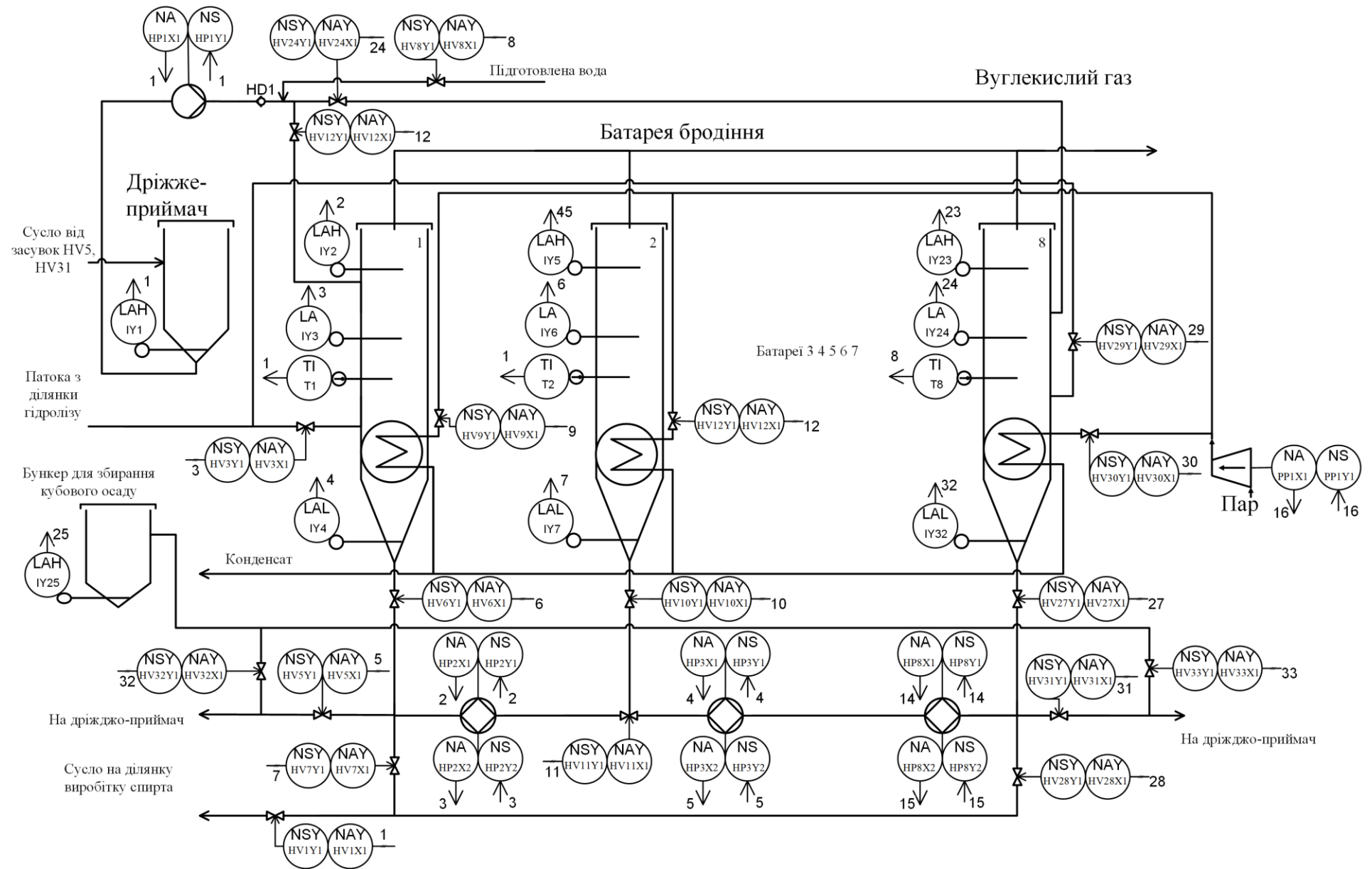


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації батарей бродіння

Опис елементів функціональної схеми автоматизації процесу бродіння

Умовні позначення обладнання та виконавчих механізмів

NA – електропривід загального призначення

Механізм, що перетворює електричний керуючий сигнал у рух засувки або клапанів. Використовується для відкривання/закривання трубопроводів і зміни напрямків потоків у ферментаційній лінії.

NS – привід допоміжних механізмів

Забезпечує керування роботою допоміжного обладнання, зокрема насосів та елементів подачі середовищ. Використовується для автоматизованого запуску або зупинки агрегатів.

NSY – електроклапан із контролем положення

Клапан, який керується електромагнітним сигналом і передає інформацію про ступінь відкриття. Дає змогу регулювати подачу технологічних рідин, пари.

NAУ – позиційний електропривід

Виконавчий пристрій із вбудованим датчиком положення, що дозволяє плавно встановлювати регульовальні органи у необхідне положення й передавати зворотний зв'язок у систему керування.

Датчики контролю параметрів

LAN – датчик верхнього рівня

Сигналізує про переповнення ємності, попереджаючи витік або порушення процесу бродіння.

LA – датчик середнього рівня

Вимірювальний елемент, що фіксує нормальний (робочий) рівень рідини в апараті. Використовується для контролю заповнення ємності в межах штатного режиму та забезпечує коректну роботу алгоритмів дозування, перекачування чи підтримання об'єму. Не є аварійним, але визначає основну точку стабілізації процесу.

LAL – датчик низького рівня

Фіксує мінімальний допустимий рівень у апаратах. Використовується для захисту насосів і запобігання некоректній роботі технологічних контурів.

T1–T9 – температурні вимірювачі

Показують температуру в контрольних точках процесу бродіння. Забезпечують даними систему регулювання теплового режиму.

IY1–IY32 – датчики рівня в ємностях

Група рівнемірів, розташованих у всіх ключових апаратах: бродильниках, зборниках, проміжних накопичувачах. Забезпечують постійний контроль заповнення й стабільність процесу.

Виконавча апаратура та технологічні вузли

HV1X1–HV33Y1 – регулюючі клапани трубопроводів

Керують потоками сусла, бражки, води чи теплоносія. Дозволяють автоматично перемикає технологічні магістралі та формувати потрібні схеми руху середовищ.

HP1X1–HP8Y1 – насосні установки

Забезпечують транспортування робочих середовищ між апаратами:

- подачу сусла у ферментери,
- переміщення бражки,
- виведення готового продукту.

Управляються контролером через електроприводи.

PP1X1–PP2Y1 – вузли подачі пари/теплоносія

Регулятори, що керують подачею пари або гарячої води до теплообмінних поверхонь. Відповідають за підтримання температурних режимів у ферментерах.

3.3 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів

3.3.1 Аналіз входів та виходів системи

Для визначення складу обладнання, необхідного для побудови кіберфізичної системи керування процесом бродіння, передусім потрібно проаналізувати всі доступні сигнали: інформаційні, що надходять від датчиків, та керуючі, які формуються для виконавчих механізмів. За даними схеми (рисунок 3.1) та характеристиками обладнання здійснено класифікацію сигналів, підсумки якої наведено в таблиці 3.1.

Замовником висунуто вимогу застосувати програмовані логічні контролери Siemens SIMATIC S7-1200 як основу системи керування ділянкою бродіння. Це впливає на вибір технічних засобів і визначає такі особливості проектування:

– Контролери сімейства S7-1200 оснащені інтегрованими дискретними входами та виходами, що дозволяє не використовувати додаткові модулі дискретної логіки.

– Частина моделей має власний 24В вихід живлення, що робить можливим підключення датчиків рівня, температури та панелі без окремого блока живлення.

– Убудований мережевий інтерфейс Profinet забезпечує пряму взаємодію контролера з операторською панеллю та іншими мережевими пристроями через промисловий Ethernet, що спрощує організацію цифрової інфраструктури системи бродіння.

Таблиця 3.1 – Перелік вхідних та вихідних сигналів КФС

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/ Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек.
							Зовнішня	Внутрішня	
Батарей Бродіння									
1.	Верхній рівень (LAN)	IY2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-3.3	24 В	1 біт	0,4
2.	Середній рівень (LA)	IY3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-3.3	24 В	1 біт	0,4
3.	Нижній рівень (LAL)	IY4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 32	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня ПДУ-3.3	24 В	1 біт	0,4
4.	Температура сула (TI)	T1-T8	Вхід.	Вимір.	Аналог.	Тер. опору	PT-100	13 біт	0,5
Дріждже-приймач									
5.	Нижній рівень (LAL)	IY1	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня	24 В	1 біт	0,4
Бункер збору кубового осаду									
6.	Нижній рівень (LAL)	IY25	Вхід.	Контр.	Норм. замкн.	Датчик рівня	24 В	1 біт	0,4

Продовження таблиці 3.1

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вигляд	Джерело/ Отримувач	Форма подання (розрядність, точність)		Період вв./вив., сек.
							Зовнішня	Внутрішня	
Насоси (HP1-HP8)									
7.	Включено (NS)	HP1Y1-HP8Y1 HP1Y2-HP8Y2	Вхід.	Контр.	Норм. розімкн.	Контактор	24 В	1 біт	0,5
8.	Включити (NA)	HP1X1-HP8X1 HP1X2-HP8X2	Вихід.	Керув.	Норм. розімкн.	Контактор	~ 230 В	1 біт	0,5
Засувки-клапани (HV1-HV33)									
9.	Клапан відкритий (NSY)	HV1Y1- HV33Y1	Вхід	Конт.	Норм. відкритий	Індуктивний датчик	24 В	1 біт	0,5
10.	Клапан закритий (NAY)	HV1X1- HV33X1	Вхід	Кер.	Норм. відкритий	Індуктивний датчик	24 В	1 біт	0,5
Паровий розподільник (PP1)									
11.	Включити керування насосом подачі пари (NS)	PP1Y1	Вхід	Конт.	Цифровий	ПЧ	Modbus RTU	13 біт	Виз. швид. каналу 9600
12.	Керування насосом подачі пари (NA)	PP1X1	Вихід	Кер.	Цифровий	ПЧ	Modbus RTU	13 біт	Виз. швид. каналу 9600

Для визначення складу апаратних засобів КФС батареї бродіння здійснено класифікацію сигналів за технічними ознаками, узагальнену в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця входів та виходів КФС батареї бродіння

№ п/п	Пристрій	Опис входу або виходу	Кількість входів або виходів
		Дискретні входи	
1.	Батарея бродіння	Датчик рівня	24
2.	Дріждже-приймач	Датчик рівня	1
3.	Насоси (HP1-HP8)	Контактор Siemens	16
4.	Засувка-клапан (HV1-HV33)	Індуктивний датчик	33
5.	Паровий розподільник	--	1
РАЗОМ			75
		Аналогові входи	
6.	Батарея бродіння	Терм. опору	8
РАЗОМ			8
		Дискретні виходи	
7.	Паровий розподільник	--	1
8.	Насоси (HP1-HP8)	Контактор Siemens	16
9.	Засувка-клапан (HV1-HV33)	Індуктивний датчик	33
РАЗОМ			50

Обрані програмовані логічні контролери не оснащені спеціалізованими входами для тензометричних вимірювальних перетворювачів, тому для підключення таких датчиків у системі батареї бродіння передбачається застосування окремих апаратних модулів.

Додатково технічним завданням визначено використання операторської панелі класу HMI Comfort та мережевих компонентів Siemens, що забезпечують стабільну та безпечну взаємодію елементів кіберфізичної системи.

3.3.2 Обґрунтування елементної бази системи

Коректна робота кіберфізичної системи батареї бродіння потребує урахування комплексу додаткових вимог, заданих замовником. Зазначені умови мають вирішальний вплив на формування апаратної конфігурації системи, вибір

засобів автоматизації та побудову промислової мережі керування.

Панелі операторів (Рисунок 3.2) серії SIMATIC HMI Basic Panel можуть використовуватися для вирішення завдань оперативного управління та моніторингу на рівні виробничих машин та вуста новинок у всіх галузях промислового виробництва, а також у системах автоматизації [27]. Технічні характеристики продемонстровано на рисунку 3.2 та таблиці 3.3.



Рисунок 3.2 – Панель оператора KTP700 PN Basic [27]

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики HMI-панелі KTP700

№	Найменування параметру	Значення
1	Діагональ екрану	7"
2	Тип введення	Сенсор + 8 функціональних клавiш
3	Живлення	24 В DC
4	Споживання струму	625 мА
5	Інтерфейси	1× PROFINET, 1× USB
6	Пам'ять користувача	10 МБ

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200 (Рисунок 3.3) - це нове сімейство системних мікроконтролерів для вирішення різних завдань автоматизації малого рівня. Ці контролери мають модульну конструкцію та універсальне призначення. Вони здатні працювати в реальному масштабі часу, можуть використовуватися для побудови щодо простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Ethernet/PROFINET, PROFIBUS, а також PtP (Point-to-Point) з'єднання [28].

В таблиці 3.4 продемонстровано технічні характеристики.



Рисунок 3.3 – Програмований контролер SIMATIC S7-1200, CPU 1214C [28]

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики контролера CPU 1214C

№	Найменування параметру	Значення
1.	Дискретні входи (DI)	14 шт., 24 В DC
2.	Дискретні виходи (DO)	10 шт., транзисторні, 24 В DC
3.	Аналогові входи (AI)	2 шт., 0–10 В
4.	Аналогові виходи (АО)	2 шт., 0–20 мА
5.	Живлення	24 В DC
6.	Пам'ять програм/даних	100 КБ / 50 КБ

Модуль дискретного введення-виведення серії SIMATIC S7-1200, SM 1223 (Рисунок 3.4) – надійний, функціональний і промисловий компонент для розширення дискретного вводу-виводу PLC Siemens SIMATIC S7-1200. Він особливо доречний у складних системах автоматизації, де потрібні додаткові входи та виходи, ідеально підходить для електротехнічних щитів, виробничих автоматизованих ліній. Технічні характеристики модуля можна побачити у таблиці 3.5.



Рисунок 3.4 – Модуль дискретного введення-виведення серії SIMATIC S7-1200, SM 1223 [29]

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики модуля дискретного вводу-виведення

№	Найменування параметру	Значення
1.	Дискретні входи (DI)	16 шт., 24 В DC
2.	Дискретні виходи (DO)	16 шт., 24 В DC
3.	Тип входів	Sink/Source
4.	Живлення	24 В DC
5.	Загальне споживання струму	95 мА
6.	Ступінь захисту	IP20

Модуль дискретного введення серії SIMATIC SM 1221 16 DI (Рисунок 3.5) – надійне, стандартне рішення для розширення базового контролера S7-1200, якщо потрібно збільшити кількість дискретних входів у системі. Він добре працює у середовищах, де сенсори/входи працюють на частих, але не надвисоких частотах, і де потрібна сумісність з TIA Portal та іншими компонентами Siemens [30]. Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 3.6.



Рисунок 3.5 – Модуль дискретного введення серії SIMATIC SM 1221 [30]

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики модуля дискретного вводу-виведення

№	Найменування параметру	Значення
1.	Дискретні входи (DI)	16 шт., 24 В DC
2.	Тип входів	Sink/Source
3.	Живлення	24 В DC
4.	Загальне споживання струму	90 мА
5.	Ступінь захисту	IP20

Аналоговий модуль Siemens (Рисунок 3.6) високої якості, який ідеально підходить для розширення функціональності PLC SIMATIC S7-1200 у задачах контролю температури через RTD-датчики. Він має стандартний набір характеристик для промислового обладнання, підтримує кілька типів сенсорів і забезпечує надійність в експлуатації при правильній конфігурації. Технічні характеристики модуля наведені в таблиці 3.7.



Рисунок 3.6 – Модуль аналогового введення серії SM 1231 [31]

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики модуля аналогового введення

№	Найменування параметру	Значення
1.	Аналогові входи (AI)	8 шт., 24 В DC
3.	Тип входів	Sink/Source
4.	Живлення	24 В DC
5.	Загальне споживання струму	70 мА
6.	Ступінь захисту	IP20

Siemens SCALANCE S615 (6GK5615-0AA00-2AA2) (Рисунок 3.87 – це спеціалізований промисловий роутер з потужними засобами безпеки, орієнтований на автоматизовані виробничі системи, де важлива захищена і надійна комунікація між сегментами мережі. Він добре підходить для

інженерних проектів на підприємствах, де потрібно інтегрувати промислові простори з корпоративними мережами без компромісів по безпеці, хоча пропускна здатність обмежена Fast Ethernet рівнем [32]. Технічні характеристики маршрутизатора таблиця 3.8



Рисунок 3.7– Промисловий роутер SCALANCE S615 SIEMENS [33]

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики маршрутизатора

№	Найменування параметру	Значення
1.	Ethernet-порти	5
2.	WAN / Uplink	1 × RJ-45
3.	Максимальна пропускна здатність	10 / 100 / 1000 Мбіт/с
4.	Функції безпеки	NAT / NAPT
5.	VPN	Підтримка IPsec (до 10 тунелів)
6.	Живлення	24 В DC
7.	Ступінь захисту	IP20

Вирахуємо споживання струму всіх приладів окрім контролера Siemens S7-1200 CPU 1214C так як у нього є власний блок живлення.

Споживання струму модулів:

625 мА (КТР700) + 95 мА (SM 1223) + 95 мА (SM 1223) + 95 мА (SM 1223) + 90 мА (SM 1221) + 70 мА (SM 1231) + 200 мА (CM 1241, RS232) + 200 мА (S615) = 1470 мА.

Загальне споживання входів і виходів:

75 дискретний вхід, 50 дискретних виходів, 8 аналогових входів
 $(75 \times 3 \text{ (мА)}) + (50 \times 20 \text{ (мА)}) + (8 \times 0,5 \text{ (мА)}) = 1229 \text{ (мА)}$

Загальне навантаження системи сумарним споживанням усіх модулів, складає приблизно 2699 мА. Враховуючи результати розрахунків, для забезпечення безперебійної роботи системи доцільно застосувати блок живлення з напругою 24 В та номінальним вихідним струмом не менше 3 А, а краще 4А що гарантує необхідний резерв потужності.

Блок живлення SIMATIC SITOP PSU100C (Рисунок 3.8) – підходить для живлення PLC, датчиків, виконавчих механізмів та іншого промислового обладнання, де важлива стабільність і захист живлення. Модель пропонує збалансовану комбінацію надійності, компактності та функціональності з вихідною потужністю до 96 Вт [34]. Технічні характеристики в таблиці 3.9.



Рисунок 3.8 – Блок живлення SIMATIC SITOP PSU100C 24 В, 4А [34]

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики блоку живлення

№	Найменування параметру	Значення
1.	Вхідна напруга	~120 / 230 В AC
2.	Вихідна напруга	24 В DC
3.	Максимальний вихідний струм	4 А
4.	Режим захисту	Захист від короткого замикання, перевантажень
5.	Монтаж	DIN-рейка

3.3.3 Реалізація принципової схеми кіберфізичної системи

На підставі обґрунтованого вибору елементної бази та підібраних технічних компонентів здійснюється проектування принципової схеми комплексу технічних засобів кіберфізичної системи, рисунок 3.9.

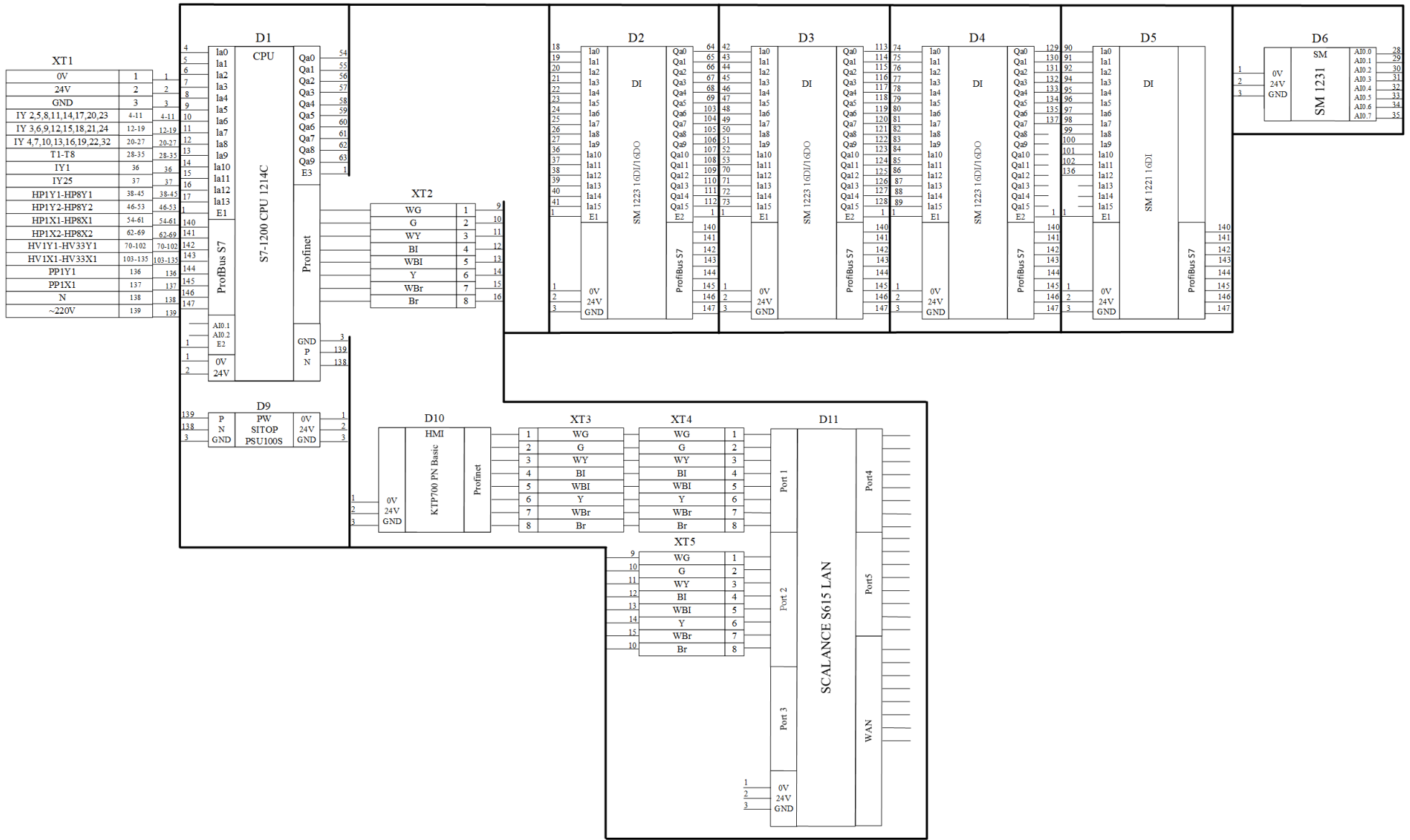


Рисунок 3.9 – Принципова схема КФС ББ

ВИСНОВОК

У третьому розділі виконано синтез апаратної частини кіберфізичної системи автоматизації батареї бродіння на основі результатів аналізу технологічного процесу та функціональної схеми керування. Проведено класифікацію вхідних і вихідних сигналів, що дозволило визначити вимоги до типів інтерфейсів, кількості каналів введення-виведення та параметрів живлення системи.

На підставі технічних і експлуатаційних вимог обґрунтовано вибір промислового контролера, модулів збору сигналів, операторської НМІ-панелі, мережевого обладнання та блока живлення. Обрана елементна база забезпечує сумісність компонентів, стабільну роботу в реальному часі та можливість подальшого розширення системи без зміни її базової архітектури.

Розроблена принципова схема комплексу технічних засобів відображає енергетичні й інформаційні зв'язки між датчиками, виконавчими механізмами та центральним контролером. Виконаний розрахунок сумарного споживання струму підтвердив достатність обраного джерела живлення та наявність необхідного резерву для надійної експлуатації системи.

Отримані результати створюють завершену апаратну основу для подальшої програмної реалізації алгоритмів керування та впровадження кіберфізичної системи автоматизації батареї бродіння в умовах промислового виробництва.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Призначення та сфера застосування програмного забезпечення

Програмне забезпечення, розроблене для використання у складі кіберфізичної системи батареї бродіння, забезпечує автоматизоване управління ключовими етапами технологічного процесу, включно з контролем параметрів ферментації, координацією роботи насосів і клапанів, а також підтриманням стабільних умов середовища. Воно реалізує збір і обробку даних від польових датчиків, формує команди для виконавчих пристроїв та забезпечує реакцію.

До основних функцій програмного забезпечення належать:

- моніторинг технологічних параметрів у режимі реального часу;
- формування керуючих сигналів для електроприводів, насосів, регулюючих клапанів;
- автоматичне виконання циклів контролю та підтримки процесу;
- обробка аварійних ситуацій і інформування оператора;
- передача інформації на панель оператора НМІ для візуалізації даних і введення команд ручного або напівавтоматичного керування.

Робота програмних алгоритмів виконується у безперервному циклі, що забезпечує своєчасне опитування датчиків, прийняття рішень на основі вбудованих логік контролю та передачу керуючих сигналів без затримок, що є критично важливим для технологічних процесів бродіння, де параметри змінюються динамічно та потребують оперативного регулювання. При цьому запуск і зупинка автоматичного режиму можуть здійснюватися як із панелі оператора, так і дистанційно через мережевий інтерфейс, забезпечуючи гнучкість у експлуатації системи [36].

4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

Програмне забезпечення кіберфізичної системи батареї бродіння призначене для реалізації безперервного автоматизованого контролю та керування технологічним процесом ферментації в режимі реального часу.

Основним завданням програмної частини є забезпечення узгодженої роботи технологічного обладнання шляхом обробки інформації від вимірювальних датчиків і формування керуючих дій для виконавчих механізмів.

Алгоритми програмного забезпечення забезпечують підтримання заданих параметрів бродіння, таких як температура, рівень середовища та стан обладнання, а також своєчасне реагування на відхилення від допустимих режимів [36].

4.2.1 Основні функції програми

Функціонування кіберфізичної системи бродильної дільниці базується на програмному забезпеченні, розгорнутому у контролері Siemens SIMATIC S7-1214, яке забезпечує:

- зчитування та попередня обробка сигналів від датчиків температури бродильного середовища, рівня сусли та положення клапанів;
- цифрова фільтрація аналогових і дискретних сигналів з метою зменшення впливу електричних завад і виключення помилкових спрацювань;
- моніторинг працездатності насосного обладнання, електроприводів клапанів, систем охолодження та інших виконавчих механізмів;
- формування та відпрацювання часових інтервалів, пов'язаних із технологічними етапами ферментації, такими як прогрів, стабілізація режиму, наповнення та спорожнення ферментерів;
- реалізація логіки аварійного реагування з переведенням системи у безпечний стан у разі виходу параметрів за допустимі межі;
- обмін даними з операторською панеллю НМІ для відображення параметрів процесу, а також приймання команд керування в автоматичному чи ручному режимах.

4.2.2 Технічні вимоги до роботи програми

Програмне керування розроблене на мові LAD у середовищі TIA Portal, що забезпечує зручне відображення логіки роботи алгоритмів бродіння та мінімізує ймовірність логічних помилок і некоректного зациклення програми.

Керуючі впливи на насосні агрегати, електромагнітні клапани та допоміжні механізми формуються в окремих програмних блоках, незалежно від основного циклу зчитування сигналів. Такий підхід підвищує стійкість роботи входів і виходів та зменшує ризик виникнення некоректних або випадкових помилок.

Після увімкнення живлення програмно-апаратний комплекс автоматично приводиться у вихідний режим роботи: запускаються процедури початкового налаштування, а стартові параметри процесу бродіння задаються на основі попередньо збережених конфігураційних даних.

Програма обсягом близько 100 логічних операцій дозволяє досягти невеликого часу циклу обробки – приблизно 10–15 мс, що повністю відповідає вимогам реального часу для контролю процесу бродіння.

4.2.3 Вхідні дані програми

Програма контролера має забезпечувати обробку:

- сигналів від датчиків рівня, температури та витрати;
- сигналів стану клапанів, насосів і паророзподільників;
- команд оператора, таких як вибір режиму роботи, запуск, зупинка та аварійні команди;
- даних про стан аварійних та захисних датчиків.

4.2.4 Вихідні дані програми

Програма зобов'язана формувати такі керуючі та інформаційні сигнали для системи бродіння:

- команди на відкривання та закривання електроклапанів;
- включення та відключення насосів для циркуляції середовища;

- передачу даних на панель оператора про стан процесу, зокрема температуру, рівень рідини, кількість циклів бродіння та аварійні ситуації;
- сигнали блокування та аварійного відключення для забезпечення безпечної роботи системи.

4.2.5 Технічні засоби та середовище розробки

Для створення програмного забезпечення кіберфізичної системи застосовуються такі апаратні та програмні компоненти:

- основним обчислювальним модулем виступає контролер Siemens S7-1214;
- програмування здійснюється у середовищі TIA Portal V14+;
- для розробки логіки використовується мова LAD;
- обмін даними відбувається через Ethernet, що дозволяє інтегрувати систему з НМІ-панеллю.

4.3 Опис розробленої програми

4.3.1 Загальні відомості

Програмний модуль створений із використанням середовища Siemens TIA Portal V18 та є складовою системи керування кіберфізичним об'єктом бродіння. Після компіляції він передається на ПЛК Siemens S7-1214, де розміщується у вбудованій пам'яті й запускається автоматично одразу після ввімкнення живлення.

Керовальні алгоритми побудовані на мові LAD, що спрощує сприйняття логіки роботи, підвищує стабільність функціонування та полегшує подальший супровід системи. Обробка програми здійснюється штатними засобами контролера, тому в процесі експлуатації не виникає потреби у сторонньому програмному забезпеченні. Передавання нових версій або внесення змін виконується через інтерфейс Ethernet у середовищі TIA Portal.

4.3.2 Функціональне призначення

Програмне забезпечення реалізує автоматичне управління технологічними вузлами процесу бродіння, генерує керувальні впливи для виконавчих пристроїв і виконує безперервний збір показників із вимірювальних датчиків у реальному часі.

Закладений алгоритм забезпечує підтримання заданих режимів роботи, відстежує основні технологічні параметри та реалізує механізми захисту й аварійного відключення обладнання відповідно до вимог кіберфізичної системи.

Система передає актуальні дані на НМІ-панель або контролер верхнього рівня та може функціонувати самостійно, не залежачи від наявності зв'язку з системами вищого рівня керування.

4.3.3 Опис логічної структури програми

Розроблене програмне забезпечення зберігається в оперативній пам'яті користувачької програми контролера S7-1214C. Програма побудована на основі організаційного блоку Main, містить таблицю тегів La/Qa CPU, а також набір функцій, що забезпечують реалізацію алгоритмів керування та обробки даних.

В блоці Main реалізовано алгоритм керування процесом батареї бродіння. Крім того, у даному блоці реалізовано такі графи, як:

- FermBattery;
- LoadBattery;
- PumpCtrlFB;
- FermentationFB;
- ExportBatteryFB;
- ExportSediment.

Реалізовано команди запуску, завантаження, помилки, перезавантаження, вивантаження та зупинки.

4.3.4 Використані технічні засоби

Для успішного функціонування програми та здійснення всіх процесів необхідно:

- програмований контролер серії SIMATIC S7-1200, CPU 1214C – 1 шт.;
- модуль дискретного введення-виведення SM 1223 – 3 шт.;
- модуль дискретного вводу – SM 1221;
- модуль аналогового введення SM 1231 – 1 шт.;
- комунікаційна модуль серії, CM 1241, RS232– 1 шт.;
- промисловий роутер SCALANCE S615 SIEMENS – 1 шт.;
- блок живлення SIMATIC SITOP PSU100C 24 В, 4А – 1 шт.;
- кабель Ethernet (UTP Cat.5e) – 18-25 м, залежить від відстані розміщення між контролером, маршрутизатором і панеллю оператора.

4.3.5 Завантаження та виклик

Інсталяція керуючого програмного забезпечення в контролер Siemens S7-1214C здійснюється одноразово під час введення системи в експлуатацію. Для цього застосовується інженерний програматор, підключений через мережевий інтерфейс Ethernet, а налаштування й запис програми виконуються в середовищі TIA Portal. Після збереження в енергонезалежній пам'яті контролера програмний код зберігається протягом усього періоду служби обладнання та не вимагає повторного запису.

Після подачі електроживлення контролер автоматично виконує початкову ініціалізацію та переходить у штатний режим роботи. Керування технологічним процесом реалізується в циклічному режимі, старт якого відбувається з організаційного блоку. У межах цього блоку здійснюється узгодження роботи функціональних модулів, що відповідають за алгоритми управління батареєю бродіння ділянкою. Подальша експлуатація системи відбувається в автономному режимі та не потребує постійного з'єднання з персональним комп'ютером.

4.3.6 Вхідні та вихідні дані

Вхідна та вихідна інформація програми визначається конфігурацією апаратних модулів контролера S7-1200 і є складовою частиною структури проєкту, створеного в середовищі TIA Portal.

Усі сигнали, що використовуються в алгоритмах керування, зокрема дискретні, аналогові, комунікаційні та сервісні, впорядковуються у вигляді змінних (PLC tags) і структур даних (DB), які автоматично пов'язуються з програмним кодом.

Розгорнутий перелік вхідних та вихідних даних кіберфізичної системи процесу бродіння, включно з їх адресацією, типами даних і функціональним призначенням, подано в Додатку А, у складі тексту програми.

4.4 Оцінка техніко-економічної результативності кіберфізичної системи

Інтеграція розробленого програмного забезпечення у склад кіберфізичної системи для процесу бродіння забезпечує високоточне, стабільне та безпечне керування технологічними параметрами. Автоматизований моніторинг режимів роботи, оперативне реагування на відхилення та оптимізація функціонування обладнання сприяють підвищенню продуктивності системи та зниженню енергетичних витрат.

Економічний ефект від впровадження програмного модуля інтегрується у загальний показник ефективності автоматизації й не виділяється як окремий параметр. Проте саме програмний компонент є критично важливим фактором підвищення надійності, стійкості та загальної продуктивності кіберфізичної системи процесу бродіння.

ВИСНОВОК

Було створено програмне забезпечення для кіберфізичної системи (КФС) ділянки бродіння, а також визначено його технічні характеристики. Розроблено логічну структуру програми, описано її функціональні можливості, сформовано вхідні та вихідні дані, а для реалізації використано сучасні апаратні та програмні засоби.

Програма забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи, реалізує алгоритми керування технологічним процесом, контролює стан ферментації та проводить діагностику обладнання, гарантуючи стабільність і безпечність виробничого процесу.

Розроблений програмний модуль є ключовим компонентом КФС, що дозволяє здійснювати автоматизоване, надійне та енергоефективне управління процесами виробництва спирту, забезпечуючи підвищення продуктивності та покращення якості продукції.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Мета і завдання експерименту

Метою експерименту є експериментальна перевірка працездатності графів КФС батареї бродіння. У межах дослідження передбачено виконання тестового прикладу для обраних типів графів:

Процесу батареї бродіння

Завантаження батареї

Вивантаження батареї

Вивантаження сула

5.2 Підготовка експерименту

Потрібно провести виробування КФС ББ.

Під час проведення дослідження планується використання таких компонентів і технічних засобів:

- персональний комп'ютер із інстальованим середовищем Siemens TIA Portal V14, який застосовується для створення, налагодження та завантаження програми керування до контролера;
- проєкт Project battery, відкритий у середовищі Siemens TIA Portal V14, що містить розроблене програмне забезпечення КФС процесу батареї бродіння, реалізоване на контролері S7-1214C з підключеними модулями введення-виведення, технічні характеристики яких наведені в таблиці 5.1, а загальну структуру системи показано на рисунку 5.1;
- програмний інструмент S7-PLCSim V14.1, призначений для імітації роботи програмованого логічного контролера, який використовується на тому самому персональному комп'ютері для проведення тестування алгоритмів керування.

Таблиця 5.1 – Специфікація Siemens, що використана у проєкті Project battery

№	Найменування	Кіль.	Примітки
1.	Контролер CPU 1214C AC/DC/Rly	1	
2.	Модуль дискретного вводу-виводу SIMATIC SM 1223 DI 16 x DQ 16	3	
3.	Модуль аналогового ввдення SIMATIC SM 1231, AI 8x13BIT	1	
4.	Модуль дискретного вводу SIMATIC SM 1221 DI 16	1	



Рисунок 5.1 – КТЗ КФС ББ в проєкті

5.3 Програма та методика експериментальних досліджень

Програма і методика проведення експериментальних досліджень представлені у вигляді контрольного прикладу, доповненого протоколом випробувань.

5.3.1 Підготовчі операції

1. Запустити середовище Siemens TIA Portal V14 та відкрити в ньому проєкт Project battery.

- В організаційному блоці Main виконати блокування відповідних гілок, як показано на рисунку 5.2.

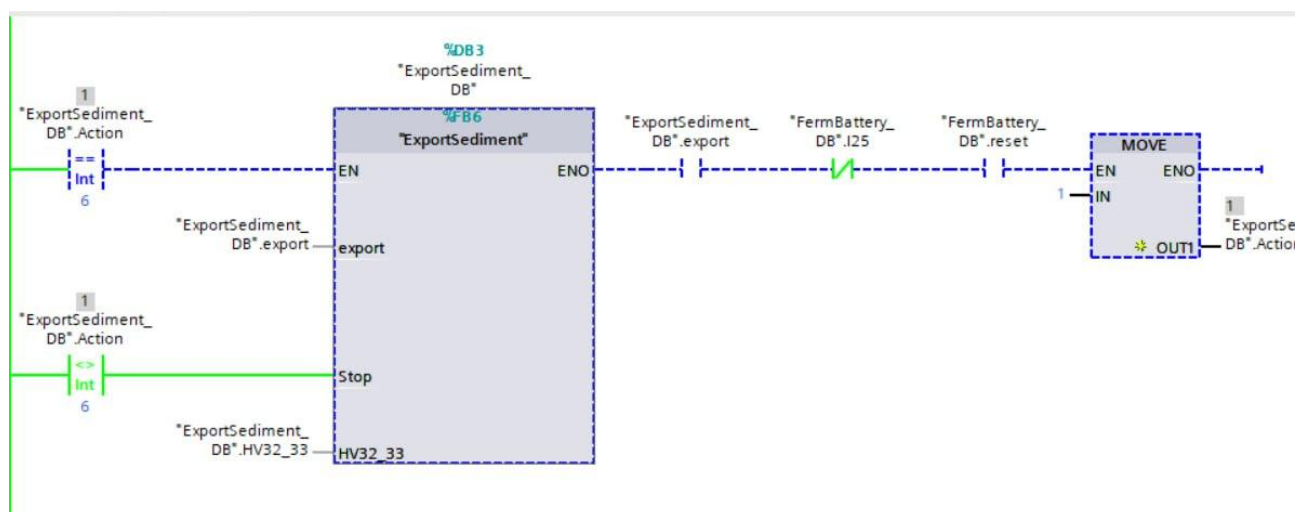


Рисунок 5.2 – Блокування гілок в блоці Main

- Необхідно запустити симулятор S7-PLCSim V14.1 і у вікні, що з'явиться (рисунок 5.3), активувати живлення натисканням відповідної кнопки. Після цього слід дочекатися, поки індикатор змінить колір на зелений, що свідчитиме про готовність симулятора до роботи.



Рисунок 5.3 – Симулятор S7-PLCSim V14

- У середовищі TIA Portal у дереві проєкту (Project tree) в розділі Online access \ PLCSIM необхідно виконати команду Update accessible devices.

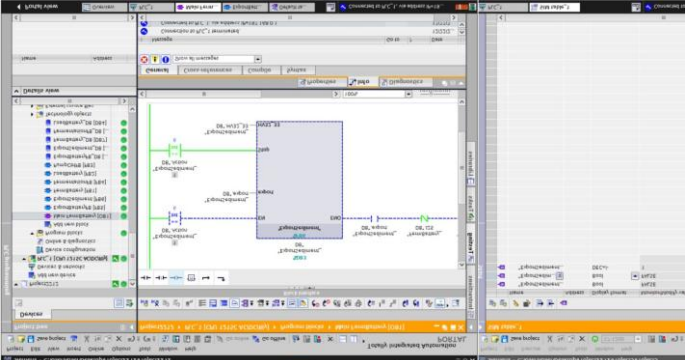
Після оновлення переліку доступних пристроїв у цьому ж розділі повинна з'явитися підпапка S7-1200 CPU, що підтверджує коректне виявлення симульованого контролера.

- Виконати компіляцію проекту та завантажити його в симулятор. Після цього перевести контролер у режим RUN. Переконаватися, що індикатор RUN/STOP у вікні S7-PLCSIM загорівся зеленим, що свідчить про успішний запуск програми.

5.3.2 Приклад і протокол випробувань

Перевірка першого режиму продемонстровано відповідно до таблиці 5.2, та (на рисунку 5.4).

Таблиця 5.2 – Приклад і протокол випробувань першого режиму

№ п/п	Дія	Результат
1.	Відкрити блок бази даних та функціональний блок Main. Зробити «Розділення області та редагування навіпіл». Зменшити вікно проекту та сервісну групу справа.	<p>З'являється таке вікно:</p>  <p>Рисунок 5.4 – Зовнішній вид інтерфейсу для випробувань</p>
2.	Увімкнути режим онлайн-моніторингу для обох вікон у зоні редагування.	Заголовкові панелі обох вікон змінили колір на оранжевий.
3.	Присвоїти "DB3". Action: =1 Comand: = "EN"	Змінна #"FermBattery_DB".Action == 1 Змінна #"FermBattery_DB".Load. Змінна #"FermBattery_DB".Action == 2
4.	Присвоїти "DB3". Action: =6 Comand: = "EN"	Змінна #"ExportSediment_DB".Action == 6 Змінна #"ExportSediment_DB".export

Продовження таблиці 5.2

5.	Присвоїти “DB3”. Comand: = “ENO”	Змінна #“ExportSediment_DB”.export При спрацюванні датчика “I25”. Змінна #“FermBattery_DB”.reset. Змінна #“ExportSediment_DB”.Action == 1
6.	Присвоїти “DB3”. Action: =6 Comand: = “Stop”.	Змінна #“ExportSediment_DB”.Action <> 1 Змінна #“ExportSediment_DB”.HV32_33

Перевірка другого режиму продемонстровано відповідно до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Приклад і протокол випробувань другого режиму

1.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “EN”.	Змінна #“FermBattery_DB”.Action == 2
2.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “Start”.	Змінна #“LoadBattery_DB”.Start
3.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “Portion1”.	Змінна #“LoadBattery_DB”. Portion1
4.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “Portion2”.	Змінна #“LoadBattery_DB”. Portion2
5.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “I3”.	Змінна #“LoadBattery_DB”.I3
6.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “I2”.	Змінна #“LoadBattery_DB”.I2
7.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “delay1”.	Змінна #“LoadBattery_DB”.delay1
8.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “delay2”.	Змінна #“LoadBattery_DB”. delay2
9.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “HP1X”.	Змінна #“LoadBattery_DB”. HP1X
10.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “HV8_2”.	Змінна #“LoadBattery_DB”. HV8_2

Продовження таблиці 5.3

11.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “HV6”.	Змінна #”LoadBattery_DB”. HV6
12.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “HV31”.	Змінна #”LoadBattery_DB”. HV31
13.	Присвоїти “DB4”. Comand: = “ENO”.	Змінна #”LoadBattery_DB”. Portion1 Змінна #”LoadBattery_DB”. Portion2 Змінна #”LoadBattery_DB”.I3 Змінна #”LoadBattery_DB”.I2 Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 3
14.	Присвоїти “DB4”. Action: =5 Comand: = “reset”.	Змінна #”LoadBattery_DB”. reset
15.	Присвоїти “DB4”. Action: =5 Comand: = “HP1”.	Змінна #”LoadBattery_DB”. HP1

Перевірка третього режиму продемонстровано відповідно до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Приклад і протокол випробувань третього режиму

1.	Присвоїти “DB5” Action: =3 Comand: = “EN”	Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 3
2.	Присвоїти “DB5”. Comand: = “T”	Змінна #”FermentationFB_DB”.T
3.	Присвоїти “DB5”. Comand: = “ENO”.	Змінна #”FermBattery_DB”.export1 Змінна #”FermBattery_DB”.export2 Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 4 Змінна #”FermBattery_DB”. HV9
4.	Присвоїти “DB5”. Comand: = “HV”	Змінна #”FermBattery_DB”. HV9

Перевірка четвертого режиму продемонстровано відповідно до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Приклад і протокол випробувань четвертого режиму

1.	Присвоїти “DB6”. Action: =4 Comand: = “EN”	Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 4
2.	Присвоїти “DB6”. Comand: = “export1”	Змінна #”ExportBatteryFB_DB”.export1
3.	Присвоїти “DB6”. Comand: = “export2”	Змінна #”ExportBatteryFB_DB”.export2
4.	Присвоїти “DB6”. Comand: = “ENO”	Змінна #”ExportBatteryFB_DB”.export1 При спрацюванні датчика "I3". Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 2 Змінна #”ExportBatteryFB_DB”.export2 При спрацюванні датчика "I4". Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 5
5.	Присвоїти “DB6”. Action: =4 Comand: = “Stop”	Змінна #”FermBattery_DB”.Action <> 4 Змінна #”FermBattery_DB”.Stop
6.	Присвоїти “DB6”. Comand: = “HV6”	Змінна #”FermBattery_DB”. HV6

Перевірка п’ятого режиму продемонстровано відповідно до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Приклад і протокол випробувань п’ятого режиму

1.	Присвоїти “DB7”. Action: =5 Comand: = “EN”	Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 5 Змінна #”FermBattery_DB”.Stop
2.	Присвоїти “DB7”. Comand: = “IN”	Змінна #”FermBattery_DB”.Action == 1

5.3.3 Перевірка завантаження батареї

Приклад і протокол випробувань графу завантаження продемонстровано відповідно до таблиці 5.7.

Таблиці 5.7 – Приклад і протокол випробувань графу завантаження батареї

1.	Присвоїти “LoadBattery”. Action: = 1	Змінна #Action == 1 Змінна #Start Перехід до стану 2 (2 <Move > #Action) Змінна #HV8_2 (S) Змінна #HV6 (R)
2.	Присвоїти “LoadBattery”. Action: = 2	Змінна #Action == 2 Змінна таймер #timer1 = delay1 Перехід до стану 3 (3 <Move > #Action) Змінна #HP1 (S)
3.	Присвоїти “LoadBattery”. Action: = 3	Змінна #Action == 3 Змінна таймер # timer2 = delay2 Перехід до стану 4 (4 <Move > #Action) Змінна #HV31 (S) Помилка змінна #HP1 Перехід до аварійного стану 5 (5 <Move > #Action) Змінна #HV8_2 (R)
4.	Присвоїти “LoadBattery”. Action: = 4	Змінна #Action == 4 Змінна #Portion1 до спрацювання змінної #I3 Змінна #Portion2 до спрацювання змінної #I2 Перехід до стану 1 (1 <Move > #Action) Змінна #HV8_2 (R) Змінна #HP1 (R) Змінна #HV31 (S) Помилка змінна #HP1 Перехід до аварійного стану 5 (5 <Move > #Action) Змінна #HV8_2 (R) Змінна #HP1 (R) Змінна #HV31 (S)
5.	Присвоїти “LoadBattery”. Action: = 5	Змінна #reset Перехід до стану 1 (1 <Move > #Action)
6.	Присвоїти “LoadBattery”.	Змінна #IN_RANGE (MIN=2, VAL=#Action, MAX=4) Змінна#"PumpCtrlFB_DB"(Start=#IN_RANGE, reset, HP1X, HP1)

5.3.4 Перевірка роботи вивантаження батареї

Приклад і протокол випробувань графу вивантаження батареї продемонстровано відповідно до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Приклад і протокол випробувань графу вивантаження

1.	Присвоїти “ExportBatteryFB” Action: = 1	Змінна #Action == 1 Змінна #export1 Змінна #export2 Перехід до стану 2 (2 <Move > # Action) Змінна #HV6 = (S)
2.	Присвоїти “ExportBatteryFB” Action: = 2	Змінна #Action == 2 Змінна #Stop Перехід до стану 1 (1 <Move > # Action) Змінна #HV6 = (R)

5.3.5 Перевірка роботи вивантаження сула

Приклад і протокол випробувань графу вивантаження сула продемонстровано відповідно до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Приклад і протокол випробувань графу вивантаження сула

1.	Присвоїти “ExportSediment” Action: = 1	Змінна #Action == 1 Змінна #export Перехід до стану 2 (2 <Move > # Action) Змінна #HV32_33 = (S)
2.	Присвоїти “ExportSediment” Action: = 2	Змінна #Action == 2 Змінна #Stop Перехід до стану 1 (1 <Move > # Action) Змінна #HV32_33 = (R)

5.4 Аналіз результату експериментів

За результатами виконання контрольного прикладу встановлено, що отримані експериментальні дані повністю узгоджуються з результатами, наведеними в таблицях 5.2 – 5.9. Це підтверджує коректність роботи

розроблених графів і програмного забезпечення кіберфізичної системи процесу бродіння.

ВИСНОВОК

У процесі виконання було перевірено функціонування програмного забезпечення кіберфізичної системи бродіння. Отримані результати експериментальних досліджень засвідчили, що розроблені графи станів адекватно відображають послідовність роботи технологічного обладнання та забезпечують коректні переходи між режимами процесу ферментації. Це підтверджує доцільність застосування графів-автоматів для керування процесом бродіння та доводить працездатність запропонованого підходу до автоматизації відповідної технологічної ділянки.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота є завершеним науковою роботою, у межах якого розв'язано комплексну задачу аналізу, формалізації та автоматизованого керування процесом бродіння шляхом розроблення й впровадження кіберфізичної системи батареї бродіння.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено поглиблений аналіз технологічного процесу бродіння, визначено критичні параметри, що впливають на ферментації, стабільність технологічного режиму, якість спиртовмісної сировини та безпечність експлуатації обладнання. Встановлено нелінійний та взаємопов'язаний характер параметрів процесу, що обґрунтовує доцільність застосування автоматизованих систем керування на основі кіберфізичного підходу.

2. Виконано аналіз функціонування основного та допоміжного обладнання ділянки бродіння, визначено їх структурні та функціональні взаємозв'язки, а також режими роботи в нормальних і нестандартних умовах. Показано обмеженість традиційних систем автоматизації та обґрунтовано необхідність інтеграції фізичних об'єктів із цифровими моделями процесу.

3. Розроблено структурну та функціональну організацію кіберфізичної системи батареї бродіння, яка забезпечує цілісну взаємодію технологічного обладнання, засобів вимірювання, керування та програмного забезпечення, а також узгоджену роботу фізичного й кібернетичного рівнів системи.

4. Побудовано графи станів, що описують послідовність виконання технологічних операцій, умови переходів між режимами бродіння та реакцію системи на відхилення параметрів і аварійні ситуації. Використання графів-автоматів дозволило підвищити структурованість алгоритмів керування, їх прозорість і передбачуваність.

5. Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації з урахуванням вимог технологічного процесу, умов експлуатації та перспектив масштабування системи. Проведено узгодження апаратної частини кіберфізичної системи з

параметрами процесу бродіння та підтверджено її відповідність вимогам надійності й енергоефективності.

6. Розроблено програмне забезпечення кіберфізичної системи, яке реалізує функції автоматизованого керування, моніторингу, захисту та діагностики обладнання, забезпечуючи стабільний перебіг процесу бродіння та підвищення рівня автоматизації виробництва.

7. Проведено експериментальну перевірку працездатності розробленої кіберфізичної системи із застосуванням імітаційного моделювання, результати якої підтвердили коректність реалізованих алгоритмів керування та адекватність графів станів заданим технологічним вимогам.

8. Отримані результати доводять практичну доцільність та ефективність використання запропонованої кіберфізичної системи для автоматизованого, безпечного та енергоефективного керування процесами бродіння на сучасних підприємствах спиртової галузі, а також створюють передумови для подальшого розвитку та інтеграції елементів інтелектуального керування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизація спиртового виробництва (КПІ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://ela.kpi.ua/items/4c3b7a6e-d7f7-41d2-96da-5a34deefadee> Дата звернення: 23.11.2025.
2. Обладнання бродильних виробств [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/11832/1/ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ БРОДИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ.pdf> Дата звернення: 23.11.2025.
3. *Лекція 3. ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ.* процеси в біотехнології [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Августинович/page5.html Дата звернення: 24.11.2025.
4. Система моніторингу процесів спиртового виробництва [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/e81e5ca8-983f-4d19-8b8e-64b0f4ae0275> Дата звернення: 24.11.2025.
5. Дані для побудови виробничої схеми [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/df62b634-b27e-497e-a51b-fb5d0b2e7a47/content> Дата звернення: 25.11.2025.
6. Ферментери [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/df62b634-b27e-497e-a51b-fb5d0b2e7a47/content> Дата звернення: 25.11.2025.
7. Теплообмінні елементи [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2787/1/Lyhach_A.Prom_biotech_KL.pdf Дата звернення: 25.11.2025.
8. Газовідвідна система [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/47601> Дата звернення: 25.11.2025.
9. Автоматизація та цифровий контроль [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/ba80ed44-13f0-4fcb-983d-595902e1e57d> Дата звернення: 25.11.2025.

10. Технологія спирту. Навчальний посібник / наукове редагування НУХТ. – Київ : НУХТ, 2018. – 256 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://repository.nuft.edu.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
11. Білоус, О.І. Технологічні процеси та обладнання бродильного виробництва навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 184 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://ela.kpi.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
12. Костюк, В.І., Дрозд, Г.М. Біотехнологія спиртового виробництва // Харчова наука і технологія. – 2020. – №1(52). – С. 45–53. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://foodscience-technologies.com> Дата звернення: 26.11.2025.
13. Системи автоматизації процесів бродіння та ректифікації / Монографія. – Київ : НУХТ, 2021. – 212 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://repository.nuft.edu.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
14. Національний університет харчових технологій. Наукові праці НУХТ. – Київ, 2019–2024. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://journal.nuft.edu.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
15. Bioethanol Ukraine. Технології виробництва біоетанолу. – 2023. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://bioethanol.com.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
16. Дудар, В.М. Тепломасообмін у бродильних апаратах спиртового виробництва // Вісник НУХТ. – 2019. – С. 72–79. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://journal.nuft.edu.ua> Дата звернення: 26.11.2025.
17. Інту.еду. Тема 14 Виробництво біосинтетичного етанолу. Августинівич. – 2013. – С. 16. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Августинівич/page16.html Дата звернення: 26.11.2025.
18. Prompol. Одержання продуктів бродіння. Спиртове бродіння. [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: https://prompol.kiev.ua/oderzhannya-produktiv-brodinnya-spirotove-brodinnya-virobnictvo-piva-vina-kvasu/?utm_source=chatgpt.com Дата звернення: 26.11.2025.

19. Studwood. Принципова технологічна схема виробництва спирту [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: https://studwood.net/1602130/tovarovedenie/printsipova_tehnologichna_shema_virobnitstva_spirtu_krohmalevmisnoyi_sirovini_harakteristika_osnovnih_tehnologichnih Дата звернення: 26.11.2025
20. Датчик індуктивний [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://arduino.ua/prod3435-indyktivnii-datchik-priblijeniya-lj12a3-2-z-bx> Дата звернення: 26.11.2025
21. Датчик температури [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://principal.ua/ua/p1447624299-temperaturnyj-datchik-dlya.html> Дата звернення: 26.11.2025
22. Датчик рівня рідини [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://peko.com.ua/process-sensors/level-sensors/ifm-lmt105> Дата звернення: 26.11.2025
23. ПДУ-3.3. Трирівневі поплавкові датчики [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/pdu-3-3-tryrivhevi-poplavkovi-datchyky> Дата звернення: 26.11.2025
24. Контактор 3RT2015-1BB41 [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://prongroup.com.ua/shop/3rt2015-1bb41/> Дата звернення: 26.11.2025
25. Електронасос самовсмоктувальний, реверсивний – G20 [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://www.vinorob-kovach.com.ua/nasosy-reversivnyie/nasos-g20.html> Дата звернення: 30.11.2025
26. Електромагнітний клапан з нержавіючої сталі GAMA DSS-25 Н.З. 1" 0 - 10 bar FKM 24VDC [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: https://goodmax.com.ua/uk/elektromahnytnyi-klapan-yz-nerzhaveiushchei-staly-gama-dss-25-n.z.-1-0-10-bar-fkm-24vdc?gad_source=1&gad_campaignid=11035437819&gclid=CjwKCAiA55rJBhByEiwAFkY1QMi6S5LwQtLPuHvPi1k5ERmHGY9TrIsSd6uND8VoWpvyN3FxCuKJZBoCoU0QA_vD_BwE Дата звернення: 26.11.2025

27. Панель оператора KTP700 PN, SIMATIC HMI, SIEMENS [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6av2123-2gb03-0ax0-panel-operatora-ktp700-pn-basic-seriya-simatic-hmi-siemens.html> Дата звернення: 14.12.2025
28. Програмований контролер SIMATIC S7-1200, CPU 1214C [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7215-1bg40-0xb0-programmiruemyy-kontroller-serii-simatic-s7-1200-cpu-1214c-115230v-14-di24v-10-do> Дата звернення: 13.12.2025
29. Модуль дискретного введення-виведення серії SIMATIC S7-1200, SM 1223 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7223-1bl32-0xb0-modul-diskretnogo-vvoda-vyvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1223-16di16do-16di24-v> Дата звернення: 14.12.2025
30. Модуль дискретного введення серії SIMATIC S7-1200, SM 1221 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7221-1bh32-0xb0-modul-diskretnogo-vvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1221-16-di24v-siemens.html> Дата звернення: 14.12.2025
31. Модуль аналогового введення серії SIMATIC S7-1200, SM 1231 [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://eleksun.com.ua/uk/6es7231-5pf32-0xb0-modul-analogovogo-vvoda-serii-simatic-s7-1200-sm-1231-rtd-8-x-ai-rtd-8-kanalnyy> Дата звернення: 15.12.2025
32. Промисловий роутер SCALANCE S615 LAN router [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: https://sieportal.siemens.com/uk-ua/products-services/detail/6GK5615-0AA00-2AA2?utm_source=&tree=CatalogTree Дата звернення: 15.12.2025
33. Промисловий роутер SCALANCE S615 SIEMENS [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://europromtrading.com.ua/6gk5615-0aa00-2aa2-siemens> Дата звернення: 15.12.2025

34. Блок живлення SIMATIC SITOP PSU100C 24 В, 4А [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://monada.com.ua/product/6ep1332-5ba1-sitop-psu1c-1acdc-24vdc-4a> Дата звернення: 15.12.2025
35. Автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://bts.net.ua/ua/news/avtomatizatsiya-tehnologicheskikh-protsesov-ua/> Дата звернення: 16.12.2025
36. Кіберфізична система батарей бродіння [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/7fba885b-e8fe-4828-a920-6afe05153539> Дата звернення: 16.12.2025

Додаток А

Текст програми кіберфізичної системи батарей бродіння на лінії з виготовлення спирту.

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ БАТАРЕЙ БРОДІННЯ НА
ЛІНІЇ З ВИГОТОВЛЕННЯ СПИРТУ

Текст програми

804.02070743.25020-01 12 01

Листів 12

АНОТАЦІЯ

Розроблена програма містить сукупність даних і рішень, що відображають процес проєктування та обґрунтування структури й основних параметрів кіберфізичної системи керування ділянкою бродіння лінії з виробництва спирту.

Текст програми написано мовою LAD для ПЛК SIMATIC, відлагодження та застосування в середовищі Siemens TIA Portal V.14.

ЗМІСТ

1 Програмний блок Main FermBattery [OB1]	1
2 Програмний блок FermBattery [FB1]	3
3 Програмний блок LoadBattery [FB2]	6
4 Програмний блок PumpCtrlFB [FB3]	8
5 Програмний блок FermentationFB [FB4]	10
6 Програмний блок ExportBatteryFB [FB5]	11
7 Програмний блок ExportSediment [FB6]	12