

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем

управління ім. А.П. Ладанюка

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» грудня 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» грудня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології та програмування в
автоматизованих системах управління»

на тему: Автоматизована система управління виробництвом ректифікованого
спирту з використанням машинного навчання

Виконав: здобувач 2 курсу, групи АК-2-2М

СПАЩИБА Владислав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник КЛИМЕНКО Олег Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління
ім. А.П. Ладанюка

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології та програмування в
автоматизованих системах управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри АКТСУ ім. А.П. Ладанюка

Ярослав СМІТЮХ

« » 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

СПАШИБИ Владиславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система управління виробництвом
ректифікованого спирту з використанням машинного навчання

керівник роботи Доц. К. т. н. Клименко Олег Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 2024 року №

2. Строк подання здобувачем роботи “ ” 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації
об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали
переддипломної практики.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК.

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації. 1.2. Аналіз існуючих АСК
технологічним об'єктом. 1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи

магістра. Розділ 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Загальний опис об'єкту та
системи. 2.2. Функціональна структура системи. 2.3. Опис функцій, що

автоматизуються. 2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.5. Опис
інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення. Розділ 3.

Розробка підсистеми керування технологічним процесом. 3.1. Схема
автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового

рівня. 3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК. 3.3. Схеми з'єднань

та підключень проводок промислових мереж. 3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. Розділ 4. Розробка інтелектуальної автоматизованої системи керування технологічним процесом другої сатурації на цукровому заводі з використанням нечіткої логіки. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема функціональної структури ІАСК САТ2. 2. Структурна схема КТС інтегрованої АСУ виробництвом. 3. Схема з'єднань проводок мереж. 4. Схема інформаційної структури. 5. Схема автоматизації. 6. Схеми електричні принципи контурів вимірювання, управління, сигналізації та живлення..

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача та затвердження завдання	Перед переддипломною практикою	
2	Розділ 1. Аналіз технології та існуючих АСК технологічним об'єктом	Захист переддипломної практики	
3	Розділ 2. Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів	3 тиждень	
4	Розділ 3. Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації	5 тиждень	
5	Розділ 3. Розробка схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж	7 тиждень	
6	Розділ 4. Розробка інтелектуальної автоматизованої системи керування технологічним процесом другої сатурації на цукровому заводі з використанням нечіткої логіки	11 тиждень	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Владислав СПАШИБА _____

Олег КЛИМЕНКО _____

Анотація

В даній кваліфікаційній роботі розглядається автоматизована система управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання.

В кваліфікаційній роботі представлено опис технологічного процесу, завдання на систему автоматизації, схема автоматизації, схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS, схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації, схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж, структурна схема комплексу технічних засобів.

Розроблено програму для машинного навчання з метою класифікації якості спирту. Програма розроблена з використанням мови програмування Python.

Ключові слова: спирт, брагоректифікаційна установка, Python, машинне навчання, SVM (Support Vector Machine), ANN (Artificial Neural Network).

Annotation

This qualification work focuses on the development of an automated control system for rectified alcohol production utilizing machine learning techniques.

The qualification work presents a description of the technological process, the requirements for the automation system, the automation scheme, the layout diagram, and the specification of PLC modules, RIO, and PDS tools. Additionally, it includes the principal electrical diagrams of measurement, control, and signaling circuits, as well as connection and wiring diagrams of industrial networks and the structural diagram of the technical means complex.

A machine learning program for alcohol quality classification has been developed. The program is implemented using the Python programming language.

Keywords: alcohol, distillation-rectification plant, Python, machine learning, SVM (Support Vector Machine), ANN (Artificial Neural Network).

Перелік скорочень та умовних позначень

БРУ - Брагоректифікаційна установка

БРД - Бродильний відділ

SVM – Support Vector Machine (машина опорних векторів)

ANN - Artificial Neural Network (штучна нейронна мережа)

АСУТП - Автоматизована система управління технологічним процесом

HMI - Human-Machine Interface (інтерфейс "людина-машина")

ФСА - Функціональна схема автоматизації

Зміст

Вступ.....	1
Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК.....	3
1.1 Аналіз технологічного об'єкту автоматизації.....	3
1.2 Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом	7
1.3 Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра	11
Розділ 2. Загальносистемні рішення.....	12
2.1. Загальний опис об'єкту та системи	12
2.2. Функціональна структура системи.....	14
2.3. Опис функцій, що автоматизуються	16
2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів	17
2.5. Опис інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення	19
Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом.....	22
3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня.....	22
3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК.....	25
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, керування, сигналізації та живлення	29
3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж.....	36
Розділ 4. Розробка автоматизованої системи управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання	39
SVM модель:	48
ANN модель	53
Висновок.....	58
Список використаних джерел	59

Вступ

У виробництві спирту ректифікаційні та брагоректифікаційні установки є одними з найважливіших видів технологічного обладнання, а процес брагоректифікації виступає фінальним етапом технологічного циклу, що визначає кінцеву якість і вартість продукції. Враховуючи складність і багатоступінь цього процесу, автоматизація керування технологічними установками є важливим кроком для підвищення ефективності та якості продукції.

Ректифікація — це процес розділення рідких сумішей, які містять два чи більше компонентів із різною питомою вагою, шляхом багаторазового випаровування суміші та конденсації пари. Цей процес дозволяє досягти високого рівня чистоти продукту, що є критичним для подальшого використання у виробництві алкогольних напоїв.

Брагоректифікація — технологічний процес, спрямований на вилучення етилового спирту з продуктів спиртового бродіння та очищення його від домішок. Це важливий етап для отримання спирту з відповідними характеристиками, що гарантують безпеку та якість кінцевого продукту. Крім того, ефективність цього процесу напряму залежить від точності вимірювань і контролю за параметрами, такими як температура, тиск, та концентрація спирту на різних етапах виробництва.

Брагоректифікаційна установка виконує функцію виробництва спирту заданої якості, який повинен відповідати стандартам ДСТУ. Згідно з рівнем очищення спирт класифікується на декілька марок, кожна з яких має свої особливості використання:

- Спирти першого сорту: продукт, що не придатний для виготовлення алкогольних напоїв через його шкідливість для здоров'я. Цей спирт містить високий рівень небезпечних домішок, таких як метанол та сивушні масла.
- Спирт вищої очистки: виготовляється з суміші картоплі, зерна, меляси або цукрових буряків; піддається мінімальній фільтрації, що залишає домішки

і сивушні масла. Використовується у виробництві алкогольних напоїв економ-сегменту (горілка, настоянки, лікери).

- Базис: виготовляється з картоплі та зерна (до 60% картоплі у складі). Основний компонент для горілки середньої цінової категорії.
- Екстра: продукт аналогічний "Базису", але з більш ретельним очищенням, що забезпечує менший вміст метанолу та складних ефірів. Використовується для горілки середнього класу.
- Люкс: отримується із зерна та картоплі (до 35% картоплі), проходить декілька етапів фільтрації. Це основа для преміального алкоголю.
- Альфа: виготовляється виключно із зернової сировини (жито, пшениця) з мінімальним рівнем домішок. Використовується для виробництва горілки найвищої якості.

Для забезпечення високої якості продукту та підвищення ефективності виробництва важливим є точне налаштування технологічних параметрів, таких як температура та тиск на різних етапах брагоректифікації. Впровадження сучасних систем автоматизації та використання машинного навчання дозволяє оперативно коригувати ці параметри в реальному часі, що веде до стабільнішого виробничого процесу та зменшення відходів.

Крім того, залежно від способу інтеграції бражної колони в схему, брагоректифікаційні установки класифікуються за дією: прямої, непрямой та напівпрямой. Прямая дія забезпечує пряме підключення бражної колони до інших елементів, непряма — через проміжні теплообмінники, а напівпряма поєднує переваги обох підходів. Сучасні інноваційні технології автоматизації дозволяють покращити налаштування цих режимів, а також підвищити енергоефективність усього процесу.

Автоматизація технологічного процесу брагоректифікації з використанням систем машинного навчання є важливим кроком до зменшення людського фактора, підвищення точності управління та зниження витрат на енергоносії.

Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК

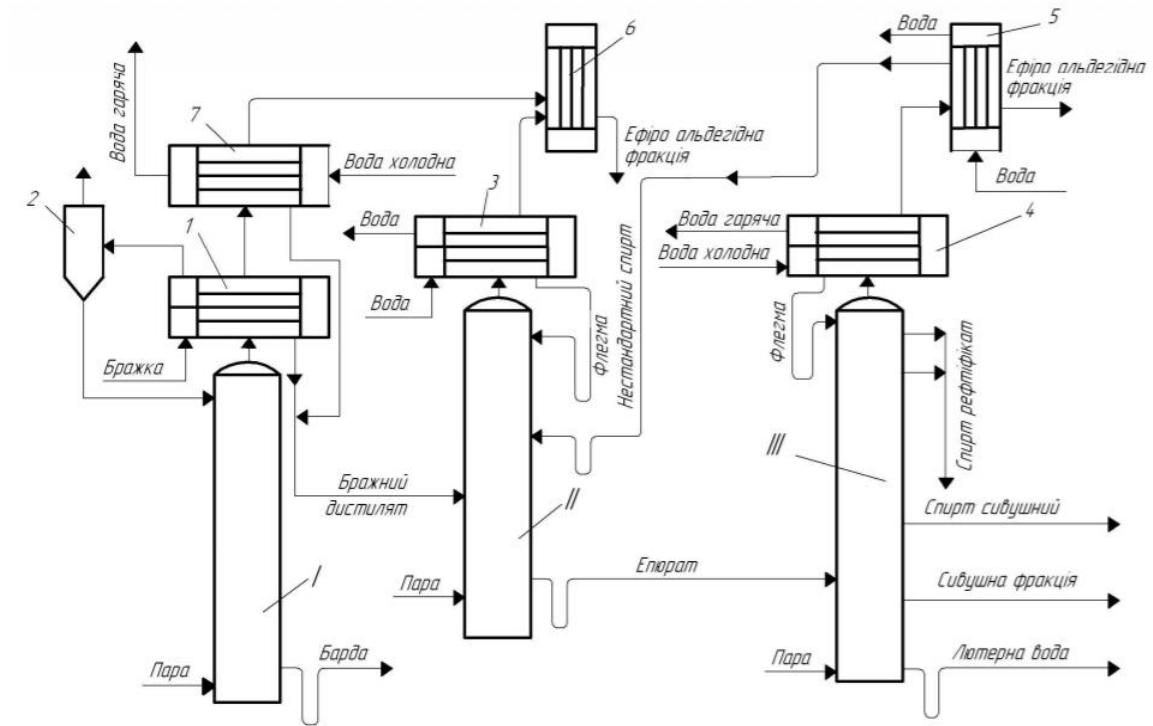
1.1 Аналіз технологічного об'єкту автоматизації

Основним відділенням автоматизації, в даній роботі, виступає брагоректифікаційна установка непрямої дії, а додатковим об'єктом автоматизації є бродильна ємність в бродильному відділенні.

Бродильна ємність є основним елементом у бродильному відділенні, де відбувається ферментація сусла для утворення етилового спирту. Виготовлена з нержавіючої сталі, вона оснащена системами охолодження, герметизації та вентиляції для ефективного контролю процесу. У ємність подається підготовлене сусло з додаванням спиртових дріжджів, які перетворюють цукор у спирт і вуглекислий газ. Оптимальна температура процесу (28–32 °С). Після завершення ферментації бражка зі спиртовим вмістом 6–10% передається на брагоректифікацію.

Брагоректифікаційні апарати є основним видом обладнання для виділення спирту і домішок з браги. Нині більш ніж 95 % спирту ректифікату на спиртових заводах отримують на брагоректифікаційних апаратах, непрямої, прямої і напівпрямої дії. Брага в цих установках розділяється на спирт-ректифікат, ефіро альдегідну фракцію, сивушні масла і барду. У них же відбирають проміжні продукти.

Основні колони кожного брагоректифікаційного апарату – бражна, епюраційна і ректифікаційна. В бражній колоні відбувається перегонка браги і отримання спирту-сирцю, епюраційна колона призначена для виділення головних домішок, а в колоні ректифікації відбувається виділення з епюрата чистого спирту-ректифікату, концентрованих сивушних масел і води.



I - бражна колона (БК); II - елюраційна колона (ЕК); III - ректифікаційна колона. 1 - підігрівач бражки; 2 - сепаратор CO₂; 3 - дефлегматор БК; 4 - дефлегматор РК; 5 - конденсатор РК; 6 - конденсатор ЕК; 7 - конденсатор БК

Рис.1.1. Загальна схема брагоректифікаційної установки

Основним робочим елементом в колонах є контактні пристрої (тарілки) різної конструкції залежно від призначення і продуктивності колон. В бражних колонах брагоректифікаційних апаратів застосовуються тарілки двох типів: подвійного виварювання і сітчасті. В елюраційних і ректифікаційних колонах використовуються багато ковпачкові тарілки з капсульними ковпачками. Живий переріз їх складає близько 11...13 % від перерізу колони. Кількість тарілок в колонах відповідно до їх призначення коливається: в бражній – 30 - 32 тарілки, в елюраційній – 35 - 39, в ректифікації – 66 - 70 тарілок. При перегонці і ректифікації спирту пара, що піднімається вгору, безперервно контактує з потоком стікаючої рідини (флегмою) і конденсується. При цьому рідка фаза збагачується нижчекиплячим компонентом. За рахунок теплоти конденсації, що виділяється, випаровується рідина на тарілці. Пара, що виділяється, міститиме вже більший відсоток нижчекиплячого компонента, чим та пара, яка спочатку сконденсувалася. Рушійною силою процесу ректифікації є різниця температур між флегмою, що стікає вниз по колоні і парами, що піднімаються вгору.

Брагоректифікаційний апарат непрямой дії (рис. 1.1) складається з бражної, епіюраційної і ректифікаційної колон, дефлегматорів та конденсаторів, а також приладів, які контролюють і регулюють технологічний і температурний режим колон.

Брага, яка потрапляє з бродильного відділення спиртового заводу, насосом подається в бражний підігрівач (конденсатор) 1. Підігрівання браги відбувається за рахунок конденсації пари, яка поступає з бражної колони через уловлювач, в якому вони звільняються від захоплених часток рідини і твердих забруднювачів. Підігріта до температури 75 - 80°C брага йде в сепаратор 2, з неї виділяють діоксид вуглецю та інші гази бродіння. Вони поступають в конденсатор, де конденсуються захоплені газом пари спирту і домішок, а потім прямують в колону.

Декарбонізована брага з сепаратора подається на поживну тарілку бражної колони I. Барда відводиться з нижньої частини бражної колони через бардорегулятор.

З підігрівача браги пари, які не сконденсувалися, поступають в додатковий горизонтальний конденсатор 7. Бражна колона обігривається відкритою парою тиском 0,12 - 0,15 МПа, подача якої регулюється паровим регулятором.

Конденсат водно-спиртової пари у вигляді дистилляту поступає в епіюраційну колону, яка має горизонтальний дефлегматор 3 і вертикально встановлений конденсатор 6, які охолоджуються водою.

Звільнений в епіюраційній колоні II від основної частини головних домішок водно-спиртовий розчин (епюрат) спрямовується в колону ректифікації на 16-у тарілку. Ця колона також оснащена дефлегматором і конденсатором.

З конденсатора частина конденсату (нестандартний або непастеризований спирт) повертається в епіюраційну колону 5. Масова доля його складає близько 3 % від введеного в колону безводного спирту.

Інша частина нестандартного спирту приєднується до флегми, що поступає з дефлегматора 4 в колону ректифікації III.

Спирт-ректифікат відбирається з 2, 4 і 6-й верхніх тарілок і поступає далі в холодильник, звідки через ротаметр поступає в ємність.

Сивушне масло виводиться з нижньої частини колони у вигляді пари і прямує в холодильник, потім видаляється з апарата.

У колоні ректифікації з рідкої фази з 17, 18, 19 і 20-ї нижніх тарілок відбираються проміжні продукти (сивушні спирти), які йдуть, потім в холодильник і видаляються з колони. Крім того, з нижньої частини колони ректифікації відводиться лютерна вода, у якій наявність спирту не допускається.

Усі колони апарату забезпечуються вакуумними запобіжниками для захисту їх від зминання. З дефлегматорів вода температурою 60 - 70°C направляється в збірник гарячої води, з якого її витрачають на виробничі потреби.

Пари, не сконденсовані в конденсаторах, та інертні гази поступають в спиртоуловлювач.

Спирт-ректифікат, що відбирається з колони, з масовою часткою не більше 96,2% направляється для зберігання у вертикальні циліндричні резервуари.

Пара на обігрів всіх колон брагоректифікаційної установки подають з парового колектора, на якому тиск стабілізується за допомогою пневмо-клапана.

1.2 Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом

Розвиток брагоректифікаційних установок (БРУ) та загальний прогрес у виробництві спирту значною мірою зумовлені автоматизацією процесів та удосконаленням технологічних схем. Сучасні БРУ мають високу ефективність завдяки інтеграції автоматизованих систем управління, що дозволяє здійснювати точний контроль над температурою, тиском та концентрацією спирту на різних етапах процесу. Це забезпечує стабільність якості продукції, зменшує енергетичні витрати та підвищує безпеку на виробництві.

Автоматизація в БРУ включає застосування системи моніторингу та регулювання, що дозволяє дистанційно управляти параметрами роботи установок. Наприклад, в процесі ректифікації можна контролювати температуру та тиск на різних рівнях колони, що сприяє ефективному розділенню компонентів суміші та очищенню спирту від домішок. Використання сучасних ПЛК (програмованих логічних контролерів) і SCADA-систем дозволяє автоматизувати багато операцій, таких як управління подачею сировини, відбір фракцій та підтримка оптимальних режимів роботи.

Крім того, важливим аспектом є правильне компонування елементів у схемах БРУ. Від типу установки залежить її конструкція та ефективність. Існують три основні типи БРУ: прямої, непрямої та напівпрямої дії.

Брагоректифікаційна установка прямої дії

Загальна особливість установок прямої дії виявляється в тому, що подача живлення ректифікаційної колони відбувається спиртоводяною парою, що виходить безпосередньо з бражної колони.

В установках прямої дії теплота гріючої пари використовується дворазово. Свіжа гріюча пара вводиться тільки в нижню частину бражної колони, а епюраційна колона й ректифікаційна обігріваються спиртоводяною парою, що виходить з верхньої частини бражної колони.

В бражну колону подають бражку, звільнену від головних домішок (епюровану) і флегму, яка надходить з ректифікаційної колони. Таким чином, в бражній колоні відбувається спільне вилучення спирту з бражки й флегми. Концентрація сухих речовин у барді при цьому зменшується за рахунок розбавлення її лютерною водою, що утворюється після вилучення спирту з флегми.

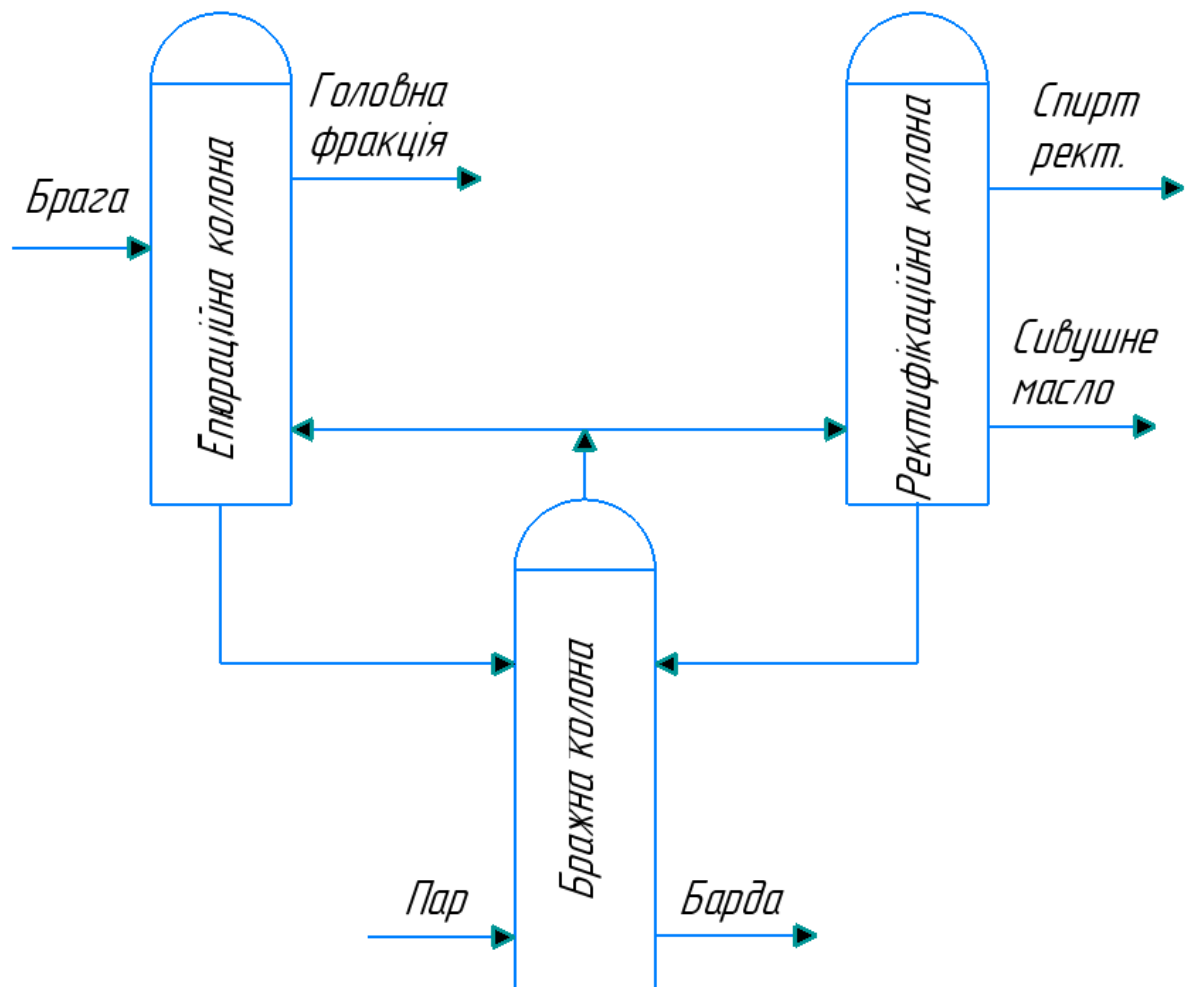


Рис. 1.1. Принцип побудови схеми БРУ прямої дії

Брагоректифікаційна установка непрямої дії

Загальна особливість установки непрямої дії полягає в попередньому вилученні з бражки спирту й домішок, в результаті чого одержується спирт-сирець (бражний дистилят), який направляється в епіюраційну колону, а потім в спиртову колону. Спиртоводяна пара, що виходить з бражної колони, надходить в конденсатор. В епіюраційну колону подають бражний дистилят, який надходить з конденсатора.

Спирто-водяний дистилят в епіюраційній колоні очищується від головних домішок під дією свіжої гріючої пари. Рідкий епіурат, що надходить в ректифікаційну колону, звільняється від хвостових й проміжних домішок також в результаті введення гріючої пари.

Треба відмітити, що в установках непрямої дії колони зв'язані між собою тільки рідинними потоками, в той час як в установках прямої дії рідинними й паровими потоками, що ускладнює управління ними.

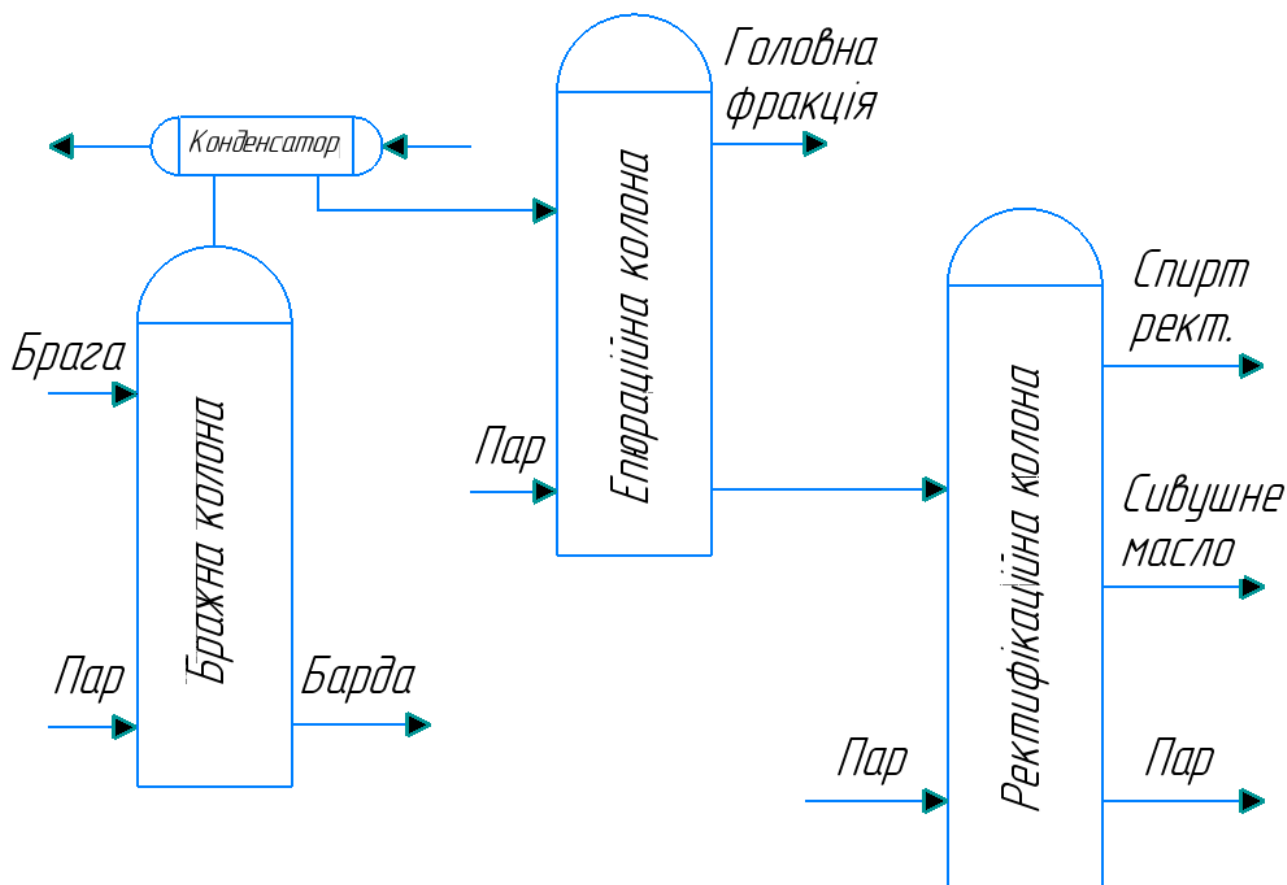


Рис. 1.3. Принципова схема БРУ непрямої дії

Брагоректифікаційна установка напівпрямої дії

Загальна особливість брагоректифікаційної установки напівпрямої дії полягає в епюрації бражки за рахунок обігріву епюраційної колони водно-спиртовими парами бражної колони. Ця установка подібна до установки прямої дії, але до неї входять суттєво відрізняючі елементи: ректифікаційна колона живиться частково епюрованим паром з бражної колони (що притаманно БРУ прямої дії), колона є залишком (відгінною частиною) епюраційної колони установок прямої дії. Ці установки більш складні в експлуатації, але приблизно 10-15% менше споживають гріючої пари та холодної води.

Автоматизація в поєднанні з інноваційними технологіями компонування елементів установки дозволяє значно покращити показники ефективності виробництва спирту, знизити витрати енергії та підвищити безпеку на виробничих лініях. Завдяки цьому, сучасні брагоректифікаційні установки стали більш економічними, надійними і екологічними, відповідаючи вимогам сучасного виробництва.

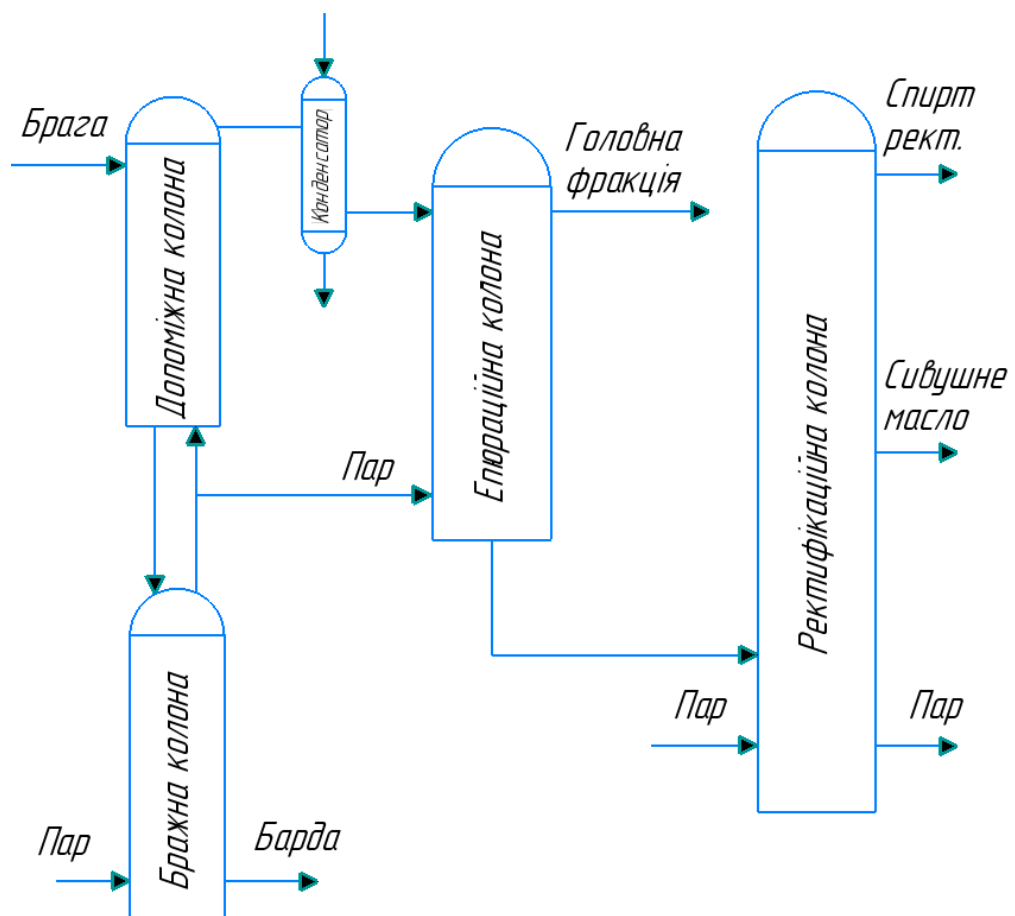


Рис. 1.2. Принцип побудови схеми БРУ напівпрямої дії

1.3 Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає в розробці автоматизованої системи управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання.

Використання машинного навчання в брагоректифікаційній установці дозволить передбачати якість отриманого спирту, орієнтуючись на показники в БРУ та БРД.

Також використання методів машинного навчання, таких як метод опорних векторів (SVM) та штучні нейронні мережі (ANN), дозволить прогнозувати якість спирту та приймати відповідні рішення в критичних ситуаціях.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

Головною задачею при розробці брагоректифікаційного апарату отримати ректифікований спирт потрібної якості та в потрібній кількості, при виготовленні за добу. Ці вимоги може задовільнити одна брагоректифікаційна установка, з бражною, ректифікаційною та епіюраційною колонами, за рахунок інтенсивності подачі пари та бражки.

Об'єктом автоматизації ІАСУВ є технологічна лінія виробництва спирту ректифікованого. Лінія складається з брагоректифікаційної установки (БРУ) та суміжного бродильного відділення (БРД).

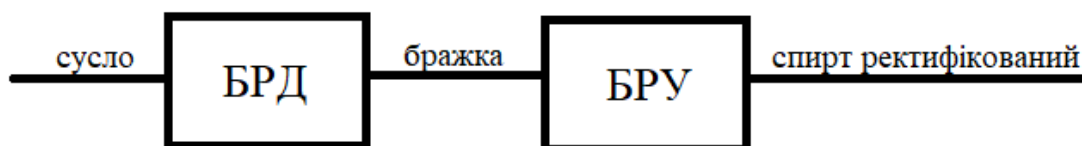
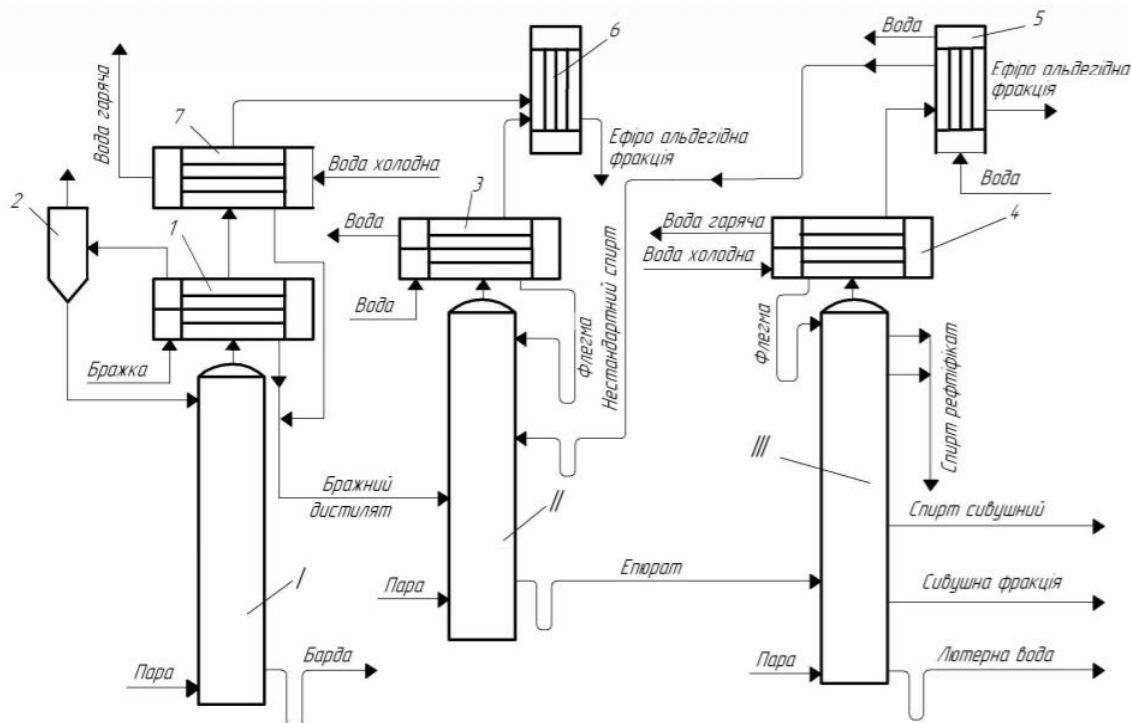


Рис.2.1. Схема технологічної лінії приготування ректифікованого спирту



I - бражна колона (БК); II - епіюраційна колона (ЕК); III - ректифікаційна колона. 1 - підігрівач бражки; 2 - сепаратор CO₂; 3 - дефлегматор БК; 4 - дефлегматор РК; 5 - конденсатор РК; 6 - конденсатор ЕК; 7 - конденсатор БК

Рис.2.2. Загальна схема брагоректифікаційної установки

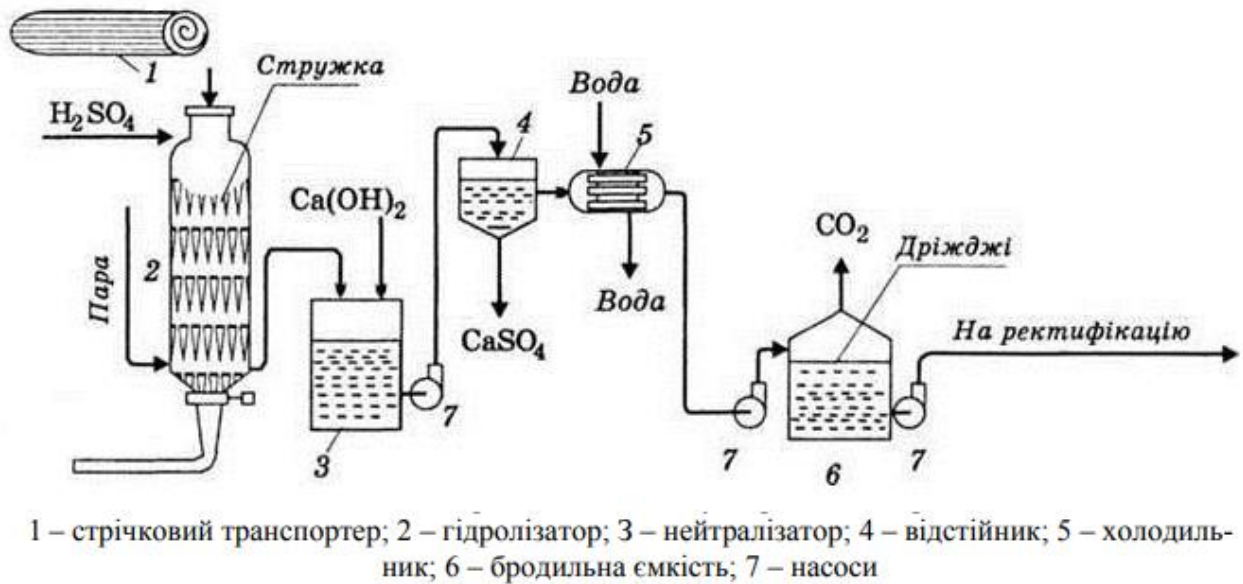


Рис.2.3. Загальна схема бродильної установки

Для забезпечення оптимального проходження технологічного процесу реалізовано наступні задачі:

- Регулювання температури в колонах;
- Контроль тиску в колонах;
- Регулювання подачі суслу;
- Регулювання подачі пари в колони;
- Контроль міцності продукту;
- Контроль температури в колонах і бродильній установці;
- Контроль витрати сировини та кількості готового продукту;

2.2. Функціональна структура системи

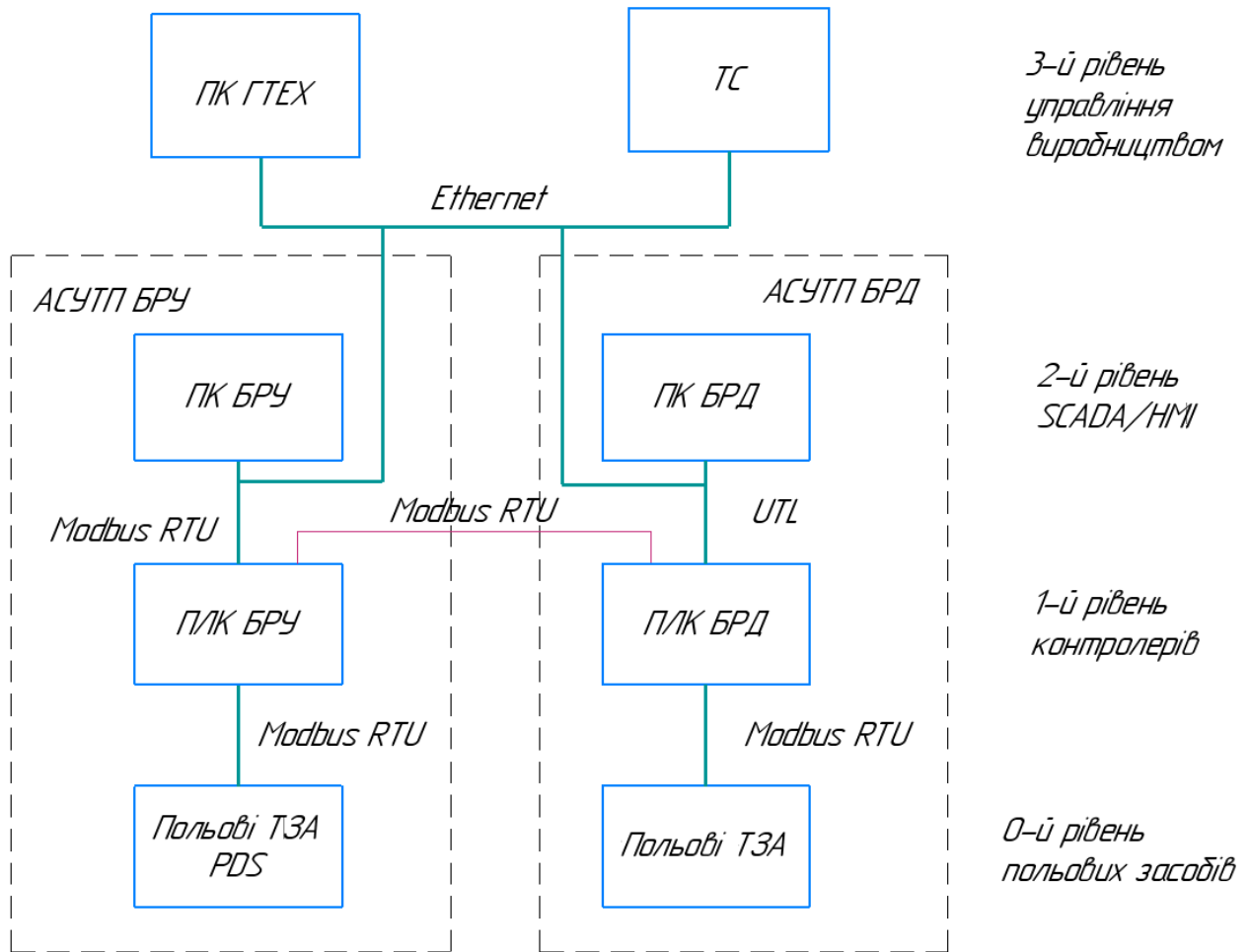


Рис. 2.4. Функціональна структура КІСУ виробництвом спирту

Функціональна структура КІСУ для виробництва спирту мають

3-рівневу структуру:

- рівень датчиків (датчики, розподілені засоби вводу/виводу);
- рівень контролерів (ПЛК БРУ, ПЛК БРД);
- рівень SCADA/HMI (ПК БРУ, ОП БРД)

Система є функціонально та технічно розподіленою, при відсутності зв'язку всі підсистеми працюватимуть незалежно одна від одної. ПК БРУ з функціями SCADA/HMI являється координуючою станцією для всієї лінії.

Рівень виробництва включає робочу станцію головного технолога з ПК ГТЕХ для контролю за основними виробничими параметрами та технологічний сервер (ТС) для ведення архіву по параметрам виробництва

Таблиця Д1. Таблиця умовних позначень до схеми функціональної структури.

Позначення	Найменування
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК БРУ	мікропроцесорний контролер для брагоректифікаційної установки
ПЛК БРД	мікропроцесорний контролер бродильного відділення
ПК БРУ	АРМ оператора брагоректифікаційної установки (на базі комп'ютера)
ПК БРД	АРМ оператора бродильної установки (на базі комп'ютера)
ПК ГТЕХ	диспетчерсько-координуюча станція – АРМ начальника зміни на базі комп'ютера
ТС	технологічний сервер виробництва спирту – сервер архівів виробничих параметрів
UTL	UNITELWAY (Schneider Electric)
АСУТП БРУ	брагоректифікаційна установка
АСУТП БРД	бродильне відділення

2.3. Опис функцій, що автоматизуються

Таблиця Д2. Перелік змінних та вимоги до них

Апарат, агрегат	Назва параметру	Номінальне значення	Діапазон зміни	Функція			
				C	I		R
Бражна	Тиск знизу, мм вод. ст.	1500	-3000 – 3000	± 500	1с		10 с, 1 міс
	Температура зверху, °С	94	0-150	±1	1с		10 с, 1 міс
	Температура води на виході з конденсатора, °С	37	0-100	±2	5с		20 с, 1 міс
	Витрата бражки, м ³ /год	~	~	~	1с		10 с, 1 міс
	Міцність бражного дистилляту, %	40	0-100	±10	5с		10 с, 1 міс
Елюраційна	Тиск знизу, мм вод. ст.	- 1600	-3000-3000	±250	1с		10 с, 1 міс
	Температура зверху, °С	77	0-150	±1	1с		10 с, 1 міс
	Рівень елюрату, мм	400	0-1000	±20	1с	350 >450	60 с, 1 міс
	Температура води на виході з конденсатора, °С	60	0-100	±2	5с		10 с, 1 міс
	Міцність елюрату, %	60	0-100	±10	1с		10 с, 1 міс
Ректифікаційна	Тиск знизу, мм вод. ст.	2350	-3000-3000	±250	1с		10 с, 1 міс
	Температура зверху, °С	80	0-150	±1	1с		10 с, 1 міс
	Температура на контрольній тарілці, °С	87	0-150	±1	1с		5 с, 1 міс
	Температура води на виході з конденсатора, °С	55	0-100	±2	5с		10 с, 1 міс

Таблиця ДЗ. Перелік технічних засобів автоматизації КІСУ.

<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>К-сть</i>	<i>Примітка</i>
<i>PDS</i>	частотний перетворювач	<i>1</i>	Altivar (Schneider Electric)
<i>ПЛК БРУ</i>	мікропроцесорний контролер для брагоректифікаційної установки	<i>1</i>	Modicon M340 BMX P34 2000
<i>ПЛК БРД</i>	мікропроцесорний контролер бродильного відділення (TSX P57 303M)	<i>1</i>	TSX P57 303M
<i>ПК БРУ</i>	АРМ оператора брагоректифікаційної установки (на базі комп'ютера)	<i>1</i>	Офісного виконання
<i>ПК БРД</i>	АРМ оператора бродильної установки (на базі комп'ютера)	<i>1</i>	Офісного виконання
<i>ПК ДКС</i>	АРМ оператора виробництва (на базі комп'ютера)	<i>1</i>	Офісного виконання
<i>ТС</i>	технологічний сервер виробництва спирту - сервер архівів виробничих параметрів	<i>1</i>	Офісного виконання
<i>Ethernet Switch</i>	мережевий комутатор	<i>1</i>	TP-LINK TL-SF1024D

2.5. Опис інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення

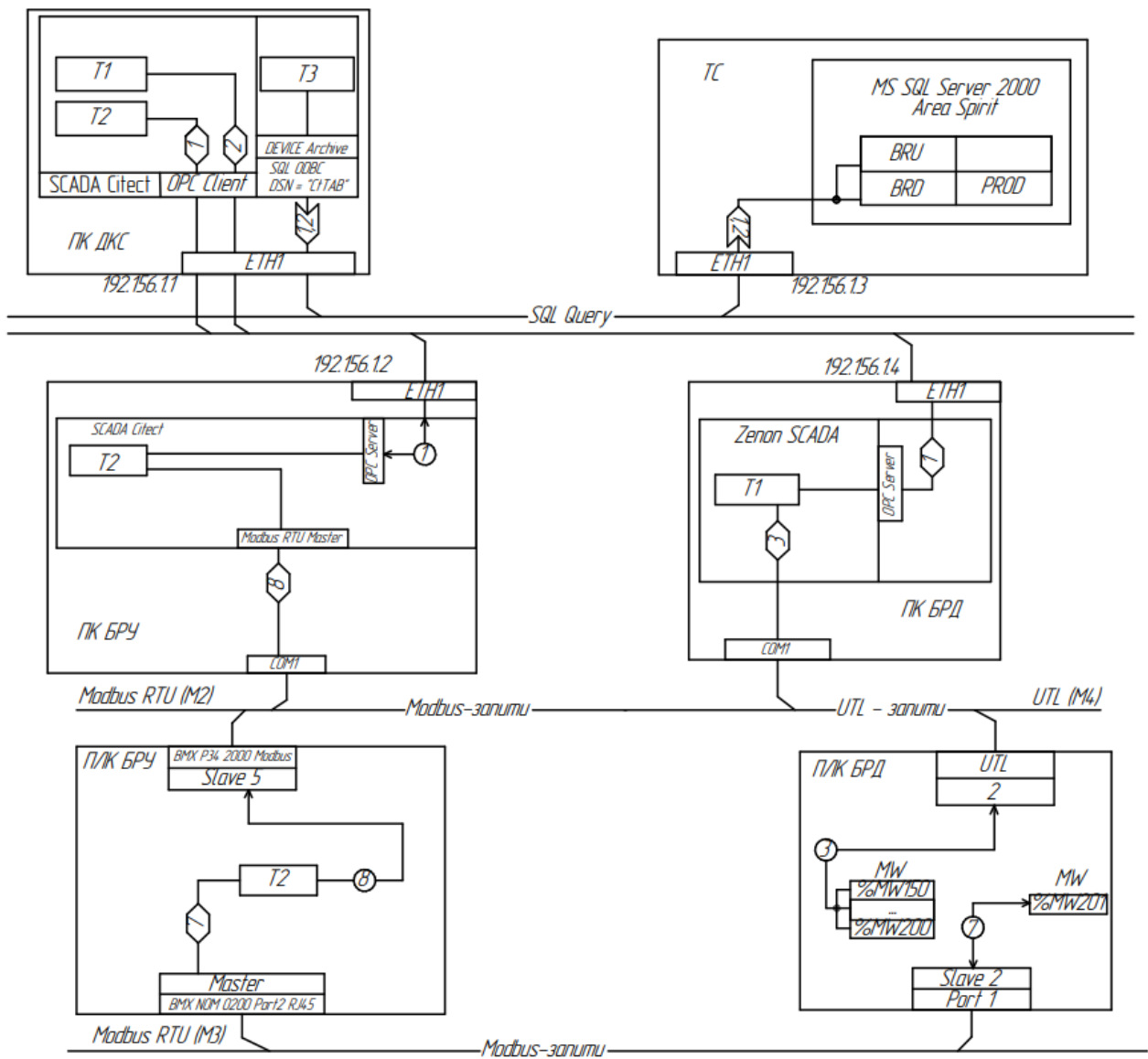


Рис. 2.6. Інформаційні потоки між ПЛК БРД, ПЛК БРУ, ПК БРУ, ПК БРД, ТС, ПК ДКС

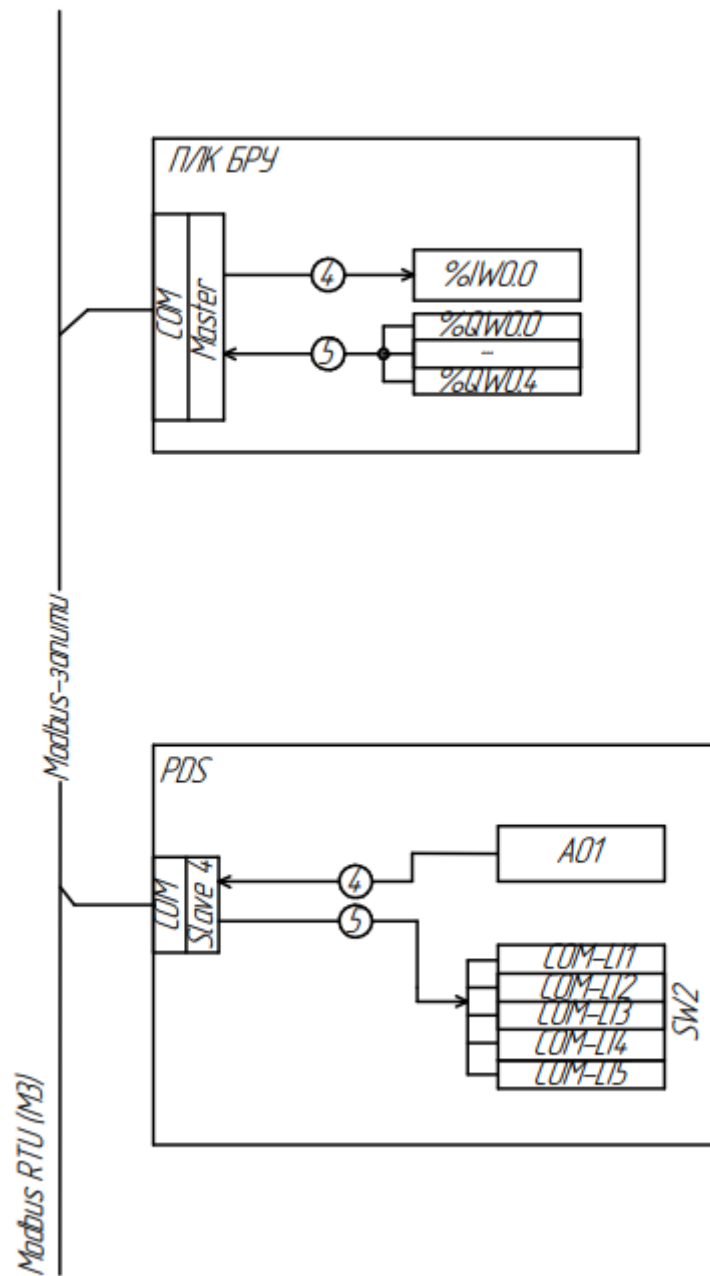


Рис. 2.7. Інформаційні потоки між PDS та ПЛК БРУ

В таблиці Д4 зазначено перелік використаного інформаційного забезпечення.

Таблиця Д4. Перелік інформаційного забезпечення.

Тип програмного засобу	Виробник	Назва	Примітка
SCADA для ПК БРУ	Schneider Electric	SCADA Citect	-
ПЗ для ПЛК БРУ	Schneider Electric	Unity	-
ПЗ для ПК ГТЕХ	Schneider Electric	SCADA Citect	-
ПЗ для ТС	Microsoft	SQL Server	-

Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом

3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня

Схема автоматизації наведена у графічному матеріалі, аркуш 3.

Розроблена автоматизована система управління виробництвом ректифікованого спирту має такі контури:

- Контур регулювання температури в БРД (поз. 17а) насосом подачі сусла (поз. 17г).
- Контур регулювання температури в Бражній колоні (поз. 1а) подачею бражки (поз. 1г).
- Контур регулювання температури в Епюраційній колоні (поз. 10а) подачею бражного дистиляту (поз. 10г).
- Контур регулювання температури в Ректифікаційній колоні (поз. 11а) подачею епюрату (поз. 11г).
- Контур регулювання температури води на виході з конденсатора в бражній колоні (поз. поз. 3а) подачею холодної води (поз. 3г).
- Контур регулювання температури води на виході з конденсатора в епюраційній колоні (поз. 5а) подачею холодної води (поз. 5г).
- Контур регулювання температури води на виході з конденсатора в ректифікаційній колоні (поз. 7а) подачею холодної води (поз. 7г).
- Контур регулювання тиску в бражній колоні (поз. 2а) подачею пари (поз. 2г).
- Контур регулювання тиску в епюраційній колоні (поз. 4а) подачею пари (поз. 4г).
- Контур регулювання тиску в ректифікаційній колоні (поз. 6а) подачею пари (поз. 6г).
- Контур контролю витрати бражки (поз. 12а).
- Контур контролю міцності бражного дистиляту (поз. 14а).
- Контур контролю рівня в епюраційній колоні (поз. 9а).
- Контур контролю міцності епюрату (поз. 15а).

- Контур контролю міцності спирту ректифікованого (поз. 16а).

Таблиця Д5. Специфікація на прилади і засоби системи автоматизації

Позиція	Параметр	Місце установ- лення	Найменування і коротка технічна характеристика приладу	Тип, модель	Кіль- - кіст ь	Завод- виготовл -ювач
1	2	3	4	5	6	7
1а,3а,5 а,7а,8а, 10а,11а ,17а	Темпера- тура	За місцем	Термометр опору з вторинним перетворювачем Вихідний сигнал: 4-20мА, напруга живлення 24 VDC, діапазон вимірювань --50 ... +400 °С.	Sitrans TS 500	6	Siemens
2а,4а,6 а	Тиск	За місцем	Тензорезисторний перетворювач з вторинним перетворювачем Вихідний сигнал: 4-20мА, напруга живлення 24 VDC, діапазон вимірювань - від 1 - 1.25 мбар до 0 - 32 бар.	Sitrans P500	3	Siemens
12а,13а	Витрата	За місцем	Індукційний витратомір з вторинним перетворювачем Напруга живлення 220 VАС, діапазон	Sitrans FM MAG 3100	2	Siemens

			вимірювань - От 0 до 10 м/с.			
9а	Рівень	За місцем	Вібраційний сигналізатор рівня, напруга живлення 24 VDC.	Sitrans LVL100	1	Siemens
14а,15а,16а	Міцність	За місцем	Промисловий рефрактометр, напруга живлення 24 VDC, діапазон вимірювань – коефіцієнт заломлення 1,32000...155700, 0-100%.	PRM-100 alpha	3	Atago
17в	PDS	На щиті	перетворювачі частоти від Schneider Electric	Altivar	1	Schneider Electric
17г	Насос	За місцем	Насос промисловий	КМ 50-32-125	1	АГРОСПЕ ЦТЕХ ПЛЮС

3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК

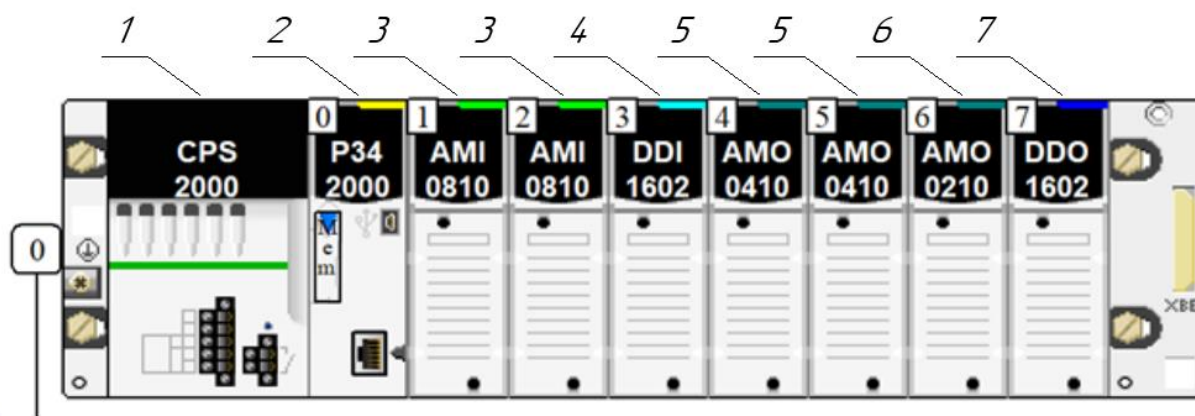


Рис. 3.1. Схема компонування модулів ПЛК

Таблиця Дб. Специфікація модулів ПЛК

Поз.	Назва	Тип	Опис
	BMX CPS 2000	Блок живлення	напруга живлення 100...240 V змінного струму
0	BMX P34 2000	Процесорний модуль	
1	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів	8 – аналогових входів в ізоляції, 0-20 та 4 - 20 mA, -10...+10 В
2	BMX AMI 0810	Модуль аналогових входів	8 – аналогових входів в ізоляції, 0-20 та 4 - 20 mA, -10...+10 В
3	BMX DDI 1602	Модуль дискретних входів	16 – дискретних входів 24V DC.
4	BMX AMO 0410	Модуль аналогових виходів	4 – аналогових виходи 0-20 та 4-20 mA, -10...+10 В.
5	BMX AMO 0410	Модуль аналогових виходів	4 – аналогових виходи 0-20 та 4-20 mA, -10...+10 В.
6	BMX AMO 0210	Модуль аналогових виходів	2 – аналогових виходи 0-20 та 4-20 mA, -10...+10 В.
7	BMX DDO 1602	Модуль дискретних виходів	16 – дискретних виходів 24V DC.

Перелік аналогових вхідних та вихідних зазначено в таблицях Д7 та Д8.

Таблиця Д7. Аналогові вхідні сигнали для ПЛК БРУ

Поз. вим. перетв.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазон вимір сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1а	Температура в бражній колоні	0-150 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.2	
3а	Температура на виході з конденсатора	0-100 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.2	
5а	Температура на виході з дефлегматора	0-100 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.2	
7а	Температура на виході з дефлегматора	0-100 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.5	
8а	Температура на контрольній тарілці	0-150 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.5	
10а	Температура в епіюраційній колоні	0-150 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.5	
11а	Температура в ректифікаційній колоні	0-150 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.5	
2а	Тиск в бражній колоні	-3000-3000 мм вод. ст	4-20 мА	0.1	0.5	
4а	Тиск в епіюраційній колоні	-3000-3000 мм вод. ст	4-20 мА	0.1	0.5	
6а	Тиск в ректифікаційній колоні	-3000-3000 мм вод. ст	4-20 мА	0.1	0.2	
12а	Витрата бражки	-	4-20 мА	0.1	0.2	
13а	Кількість спирту	-	4-20 мА	0.1	0.2	

13a	Рівень в еспораційній колоні	0-1000 мм	4-20 мА	0.1	0.2	
14a	Міцність бражного дистиляту	0-100%	4-20 мА	0.1	0.2	
15a	Міцність еспорату	0-100%	4-20 мА	0.1	0.2	
16a	Міцність спирту	0-100%	4-20 мА	0.1	0.2	
17a	Температура в БРД	0-150 ⁰ С	4-20 мА	0.1	0.2	

Таблиця Д8. Аналогові вихідні сигнали для ПЛК ДИФ(В2.А.ПЛК)

Поз. перетв.	Найменування вихідної величини	одиниці та діапазон виходу	тип та діапазон вихідного сигналу	періодичність, с	точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	8
3г	Подача води в конденсатор	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан води
4г	Подача пари в еспораційну колону	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан пари
5г	Подача води в конденсатор	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан води
6г	Подача пари в еспораційну колону	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан пари

7г	Подача води в конденсатор	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан води
1г	Подача бражки в бражну колону	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан подачі
16г	Подача епюрату в ректифікаційну установку	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан подачі
10г	Подача бражного дистиляту в епюраційну установку	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан подачі
2г	Подача пари в бражну колону	0-100% ХРО	0,1	0.1	0.5	ВМ клапан пари
17г	Регулювання обертів двигуна насосу		0,1	0.1	0.5	двигун

3.3. Схеми електричні принципи контурів вимірювання, керування, сигналізації та живлення

Принципова електрична схема автоматичного вимірювання

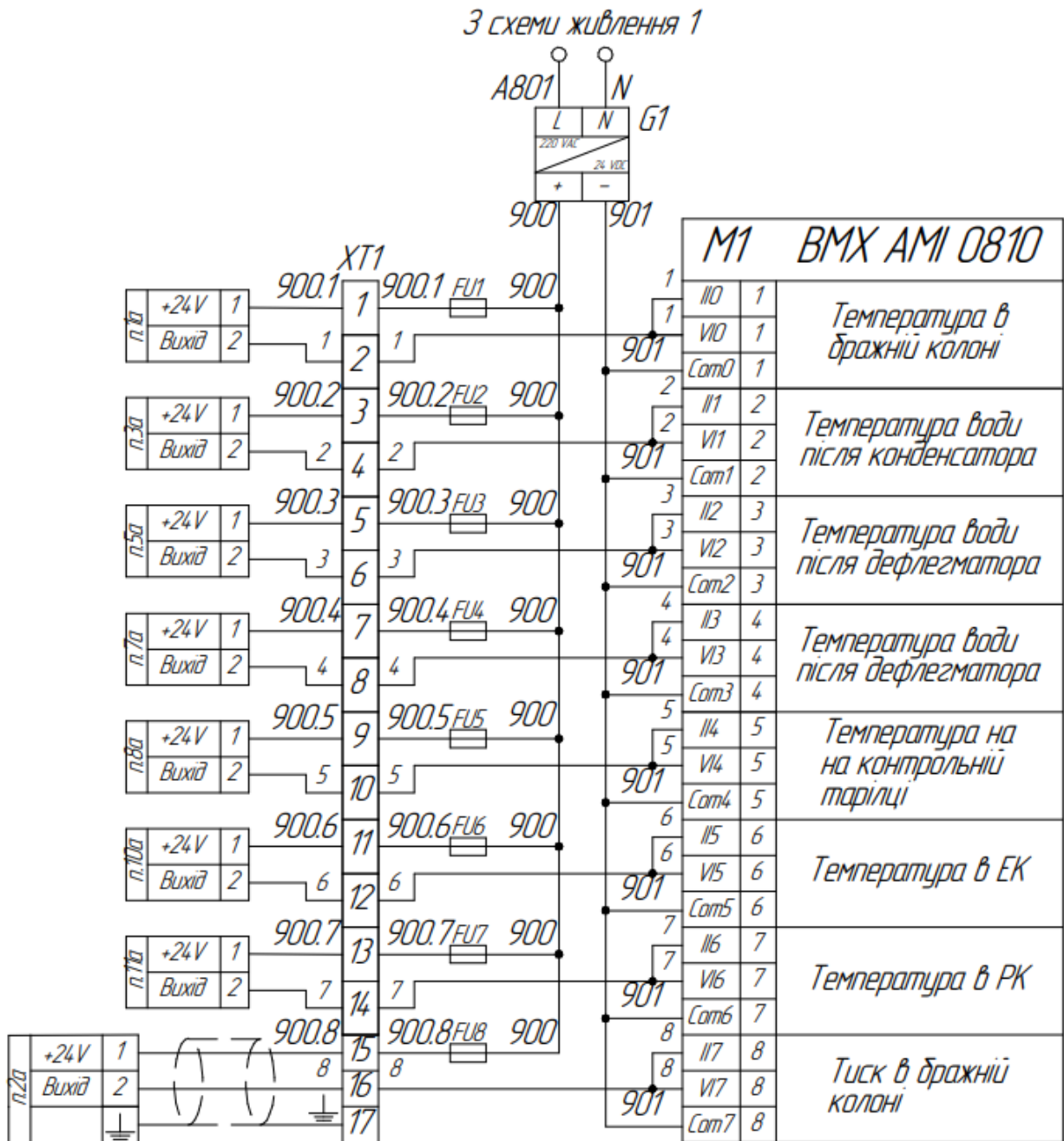


Рис. 3.2. Принципова електрична схема автоматичного вимірювання

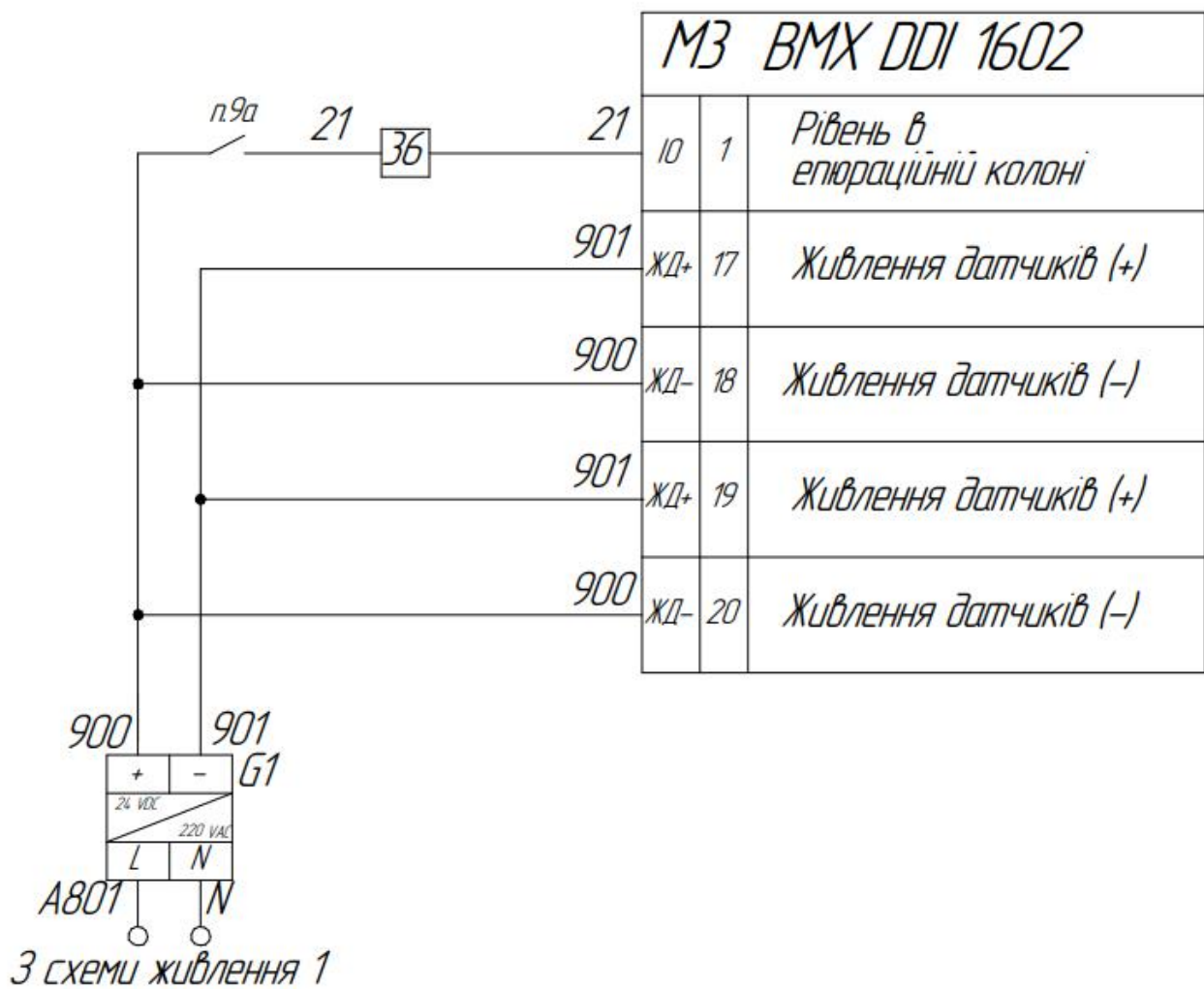


Рис. 3.4. Принципова електрична схема автоматичного управління

Принципові електричні схеми автоматичного управління:

З схеми живлення 1

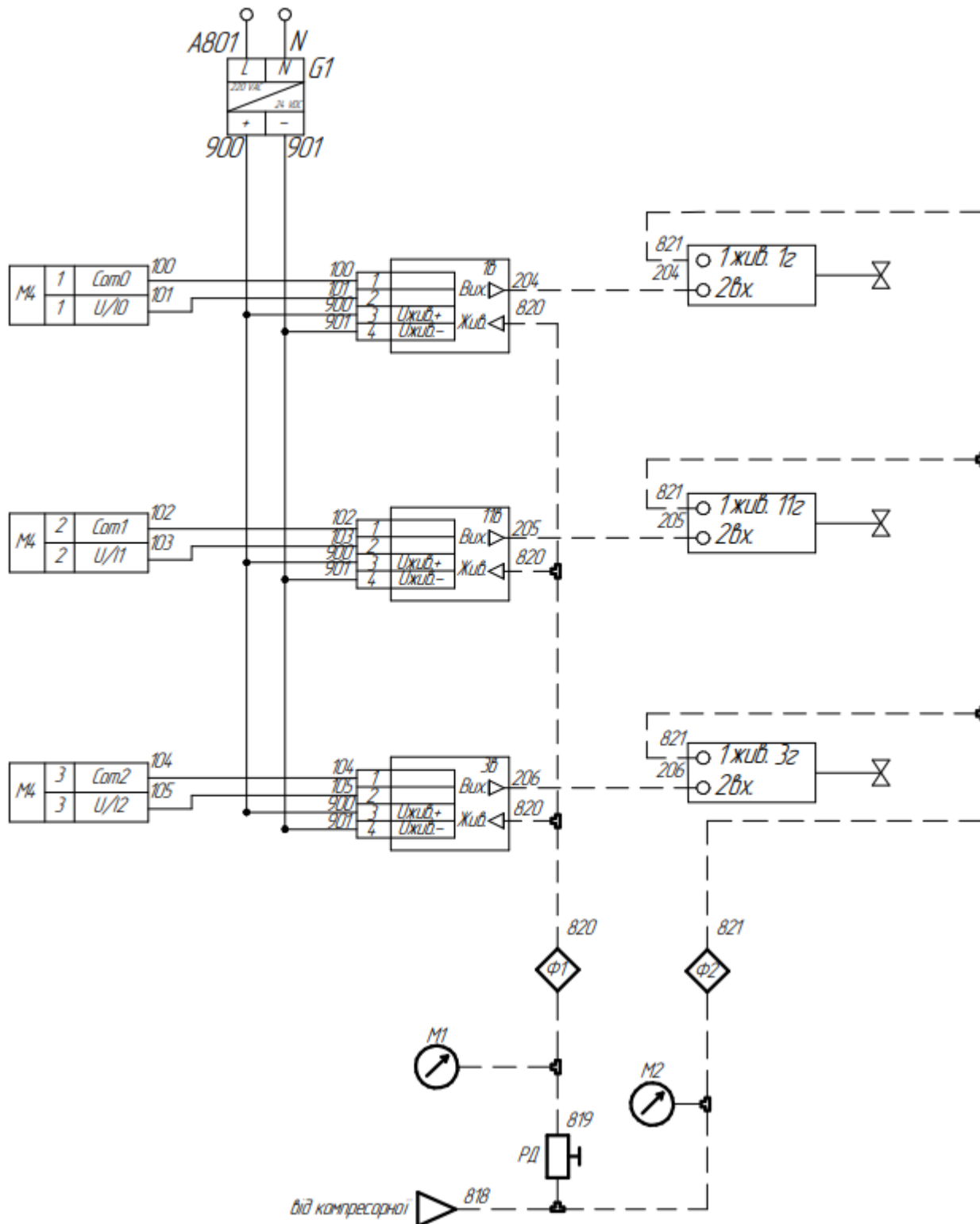


Рис. 3.5. Принципова електрична схема автоматичного управління

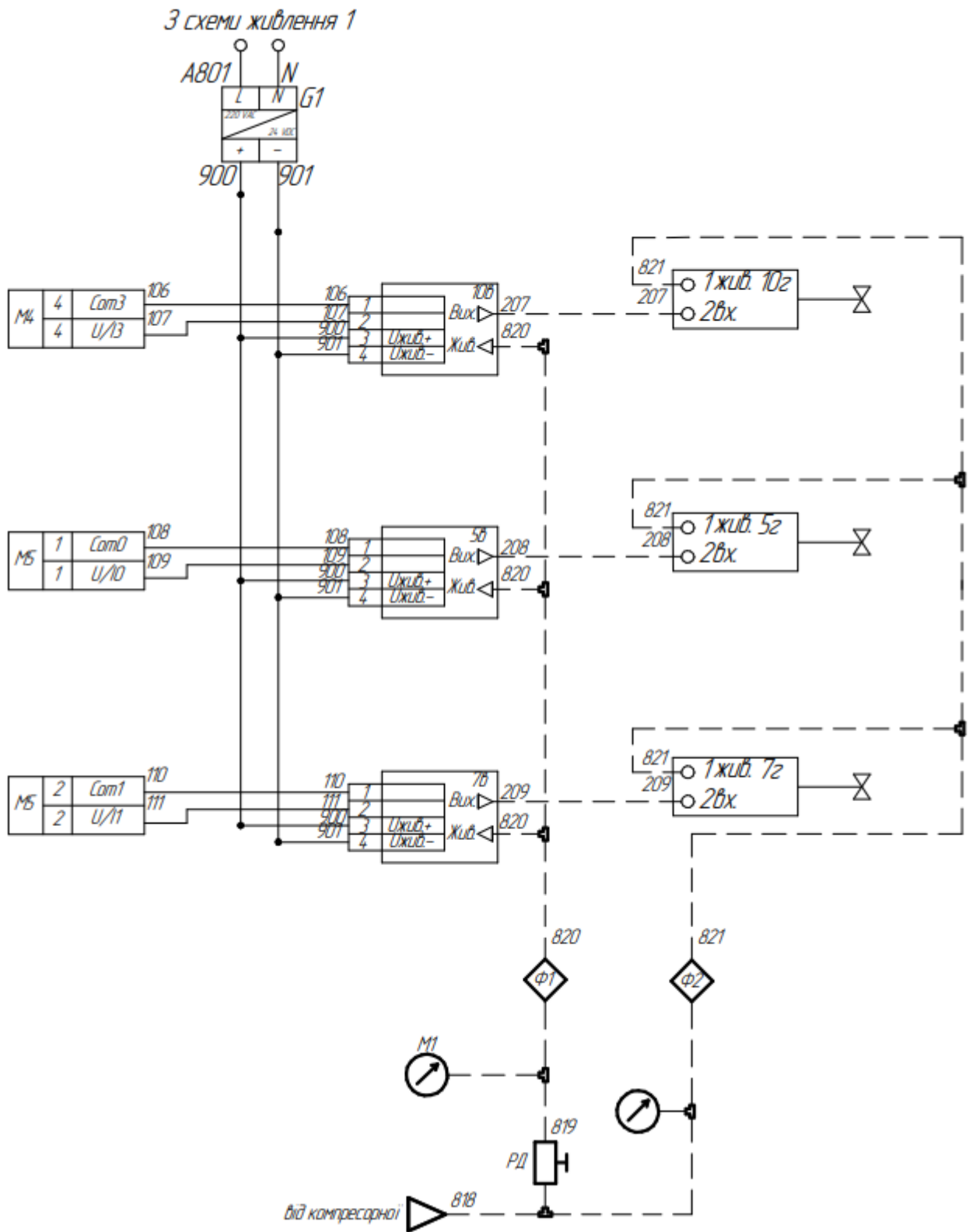


Рис. 3.6. Принципова електрична схема автоматичного управління

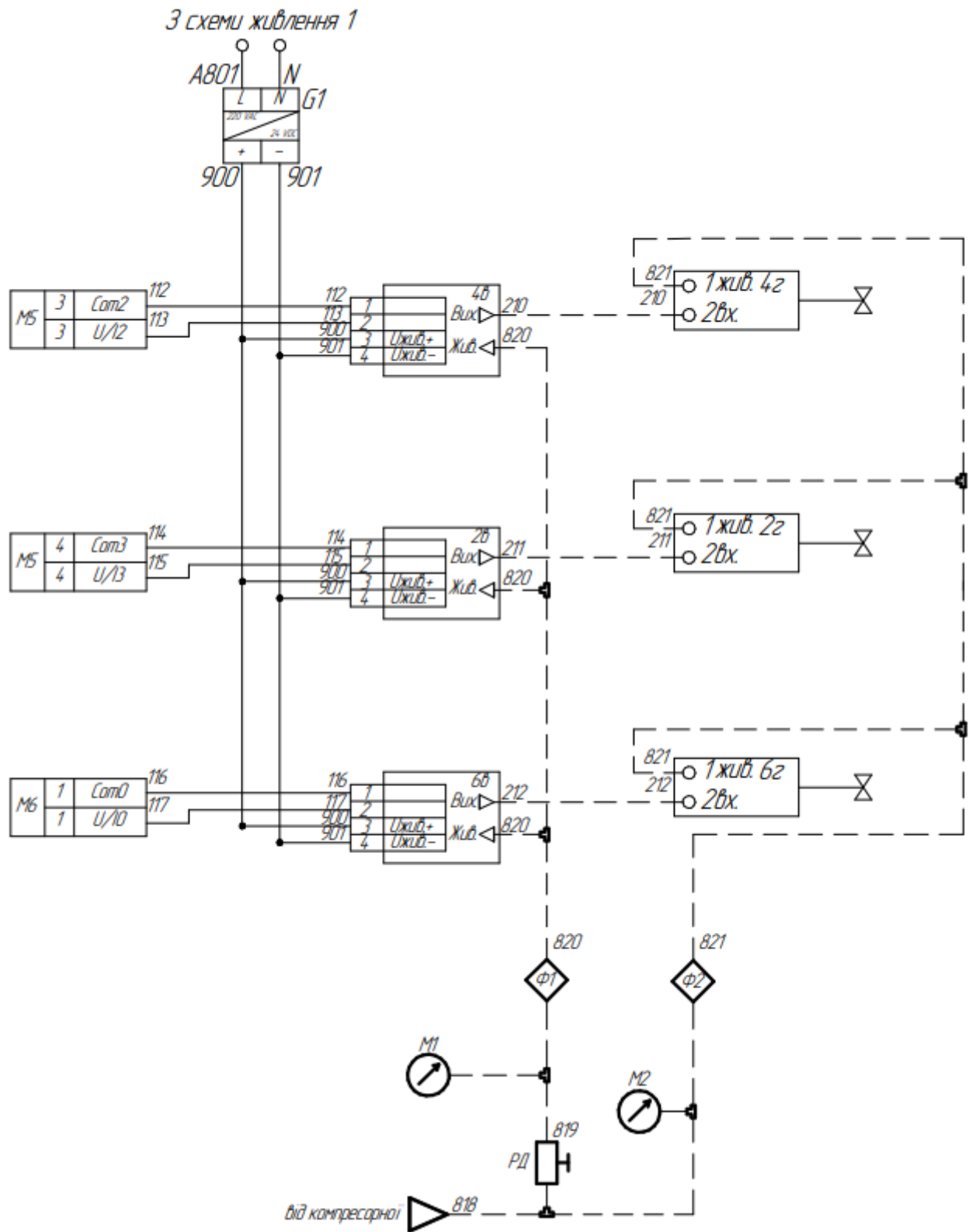


Рис. 3.7. Принципова електрична схема автоматичного управління

Принципова електрична схема сигналізації:

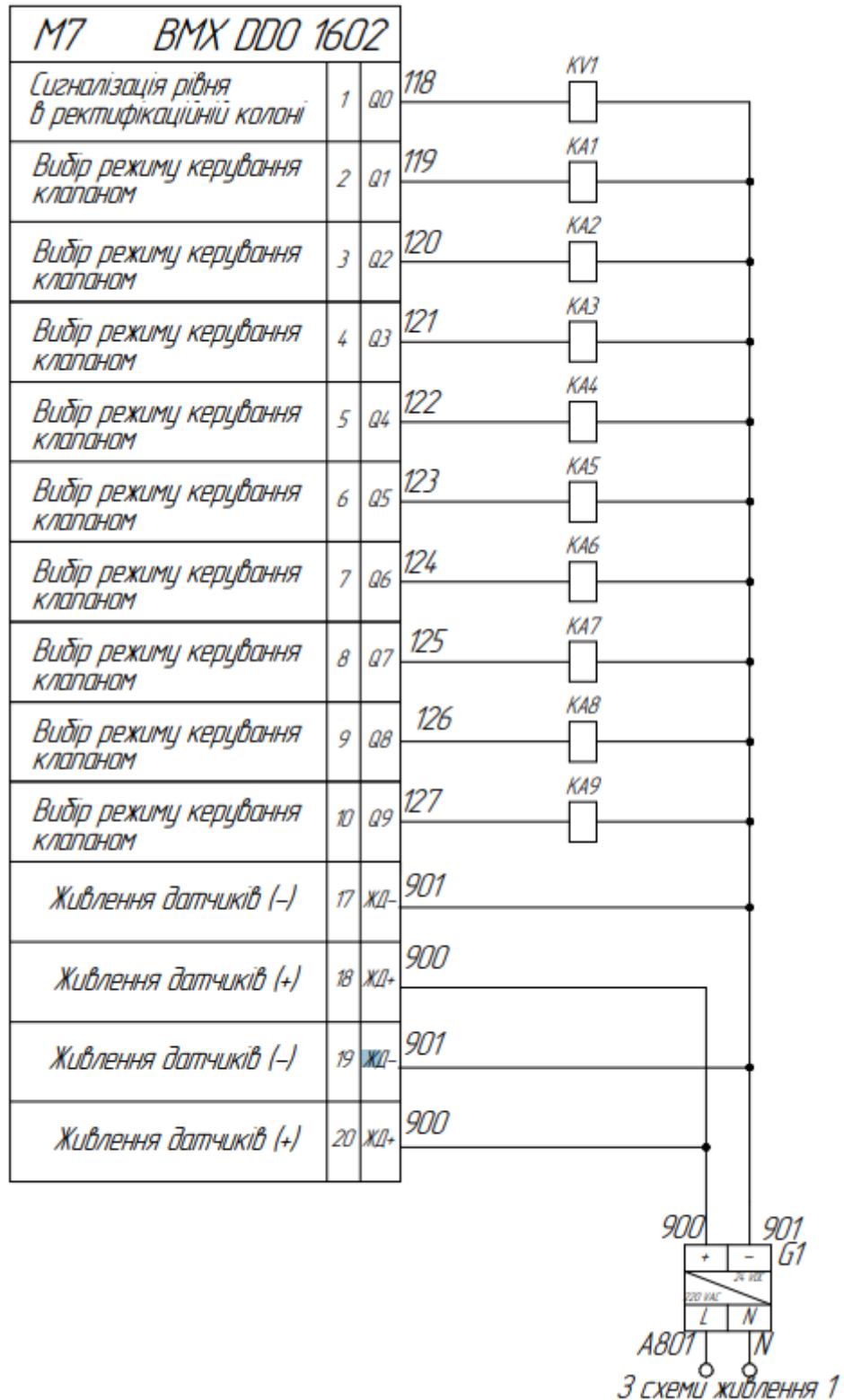


Рис. 3.8. Принципова електрична схема сигналізації

3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж

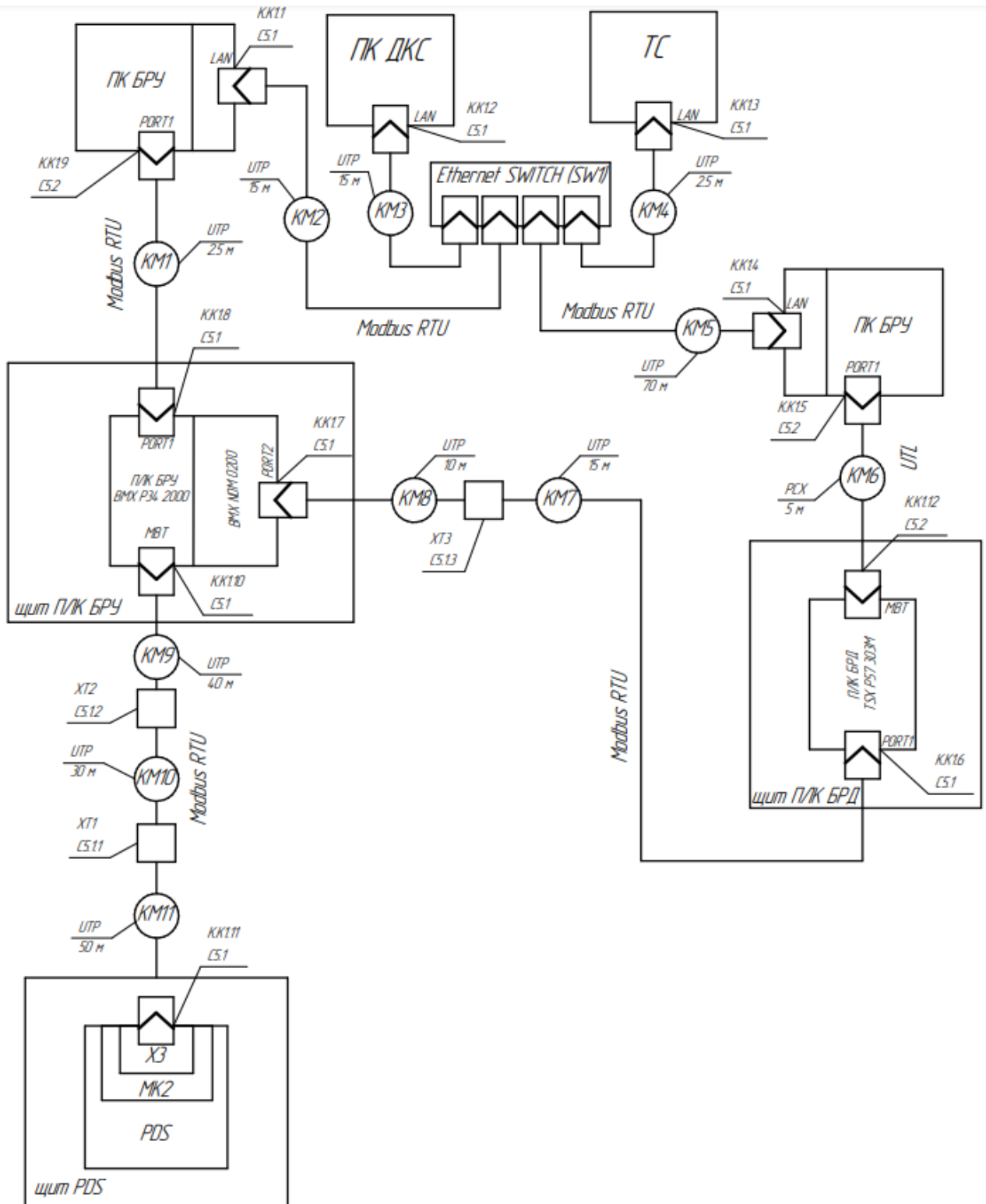


Рис. 3.9. Схема з'єднань проводок промислових мереж (С4).

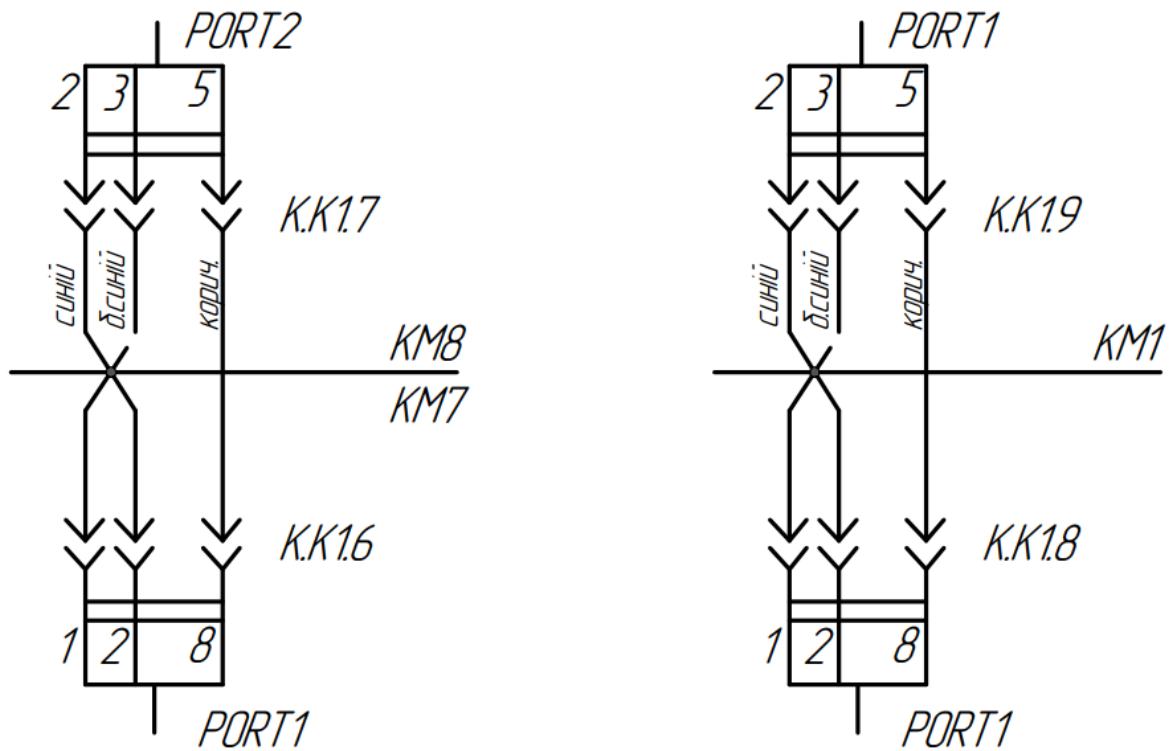


Рис. 3.10. Схема підключень проводок мереж (С5).

Таблиця Д9. Найменування компонентів до схеми підключень проводок

Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
	Комунікаційні адаптери та карти		
SW1	NS-205 індустріальний комутатор (Ethernet SWITCH)	1	
	Мережні з'єднувачі		
К.К1.1 – К.К1.4, К.К1.6 – К.К1.11	Роз'єм типу RJ45	10	
К.К1.5	RS 232 port for 9-way SUB D type PC compatible	1	Вже зафіксований

K.K1.12	TSX Micro/ Premium or TSX P ACC 01 box (TER or AUX)	1	Вже заіновани й
	Мережні кабелі		
KM1 – KM5	Кабель мережевий UTP 5E	112.5 м.	
KM6	Кабель TSX PCX 1031	5 м.	Вже заіновани й
KM7 – KM11	Кабель екранована вита пара (UTP) для Profibus	111.5 м.	

Розділ 4. Розробка автоматизованої системи управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання

Автоматизована система управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання допомагає швидше та простіше аналізувати проходження процесу брагоректифікації спирту, за рахунок передбачення якості спирту на виході з ректифікаційної колони шляхом аналізу показників датчиків, температури та тиску, в кожній з колон брагоректифікаційної установки, а також за рахунок, показників в бродильному апараті. За наявності більшого обсягу даних, данні методи машинного навчання також можна використовувати для спрощення пусконаладження нових брагоректифікаційних установок для виробництва спирту ректифікованого.

В даному розділі розглянуто різні методи машинного навчання, такі як, Support Vector Machine та Artificial Neural Network, з різними налаштуваннями для досягнення найкращого результату передбачення та класифікації якості спирту.

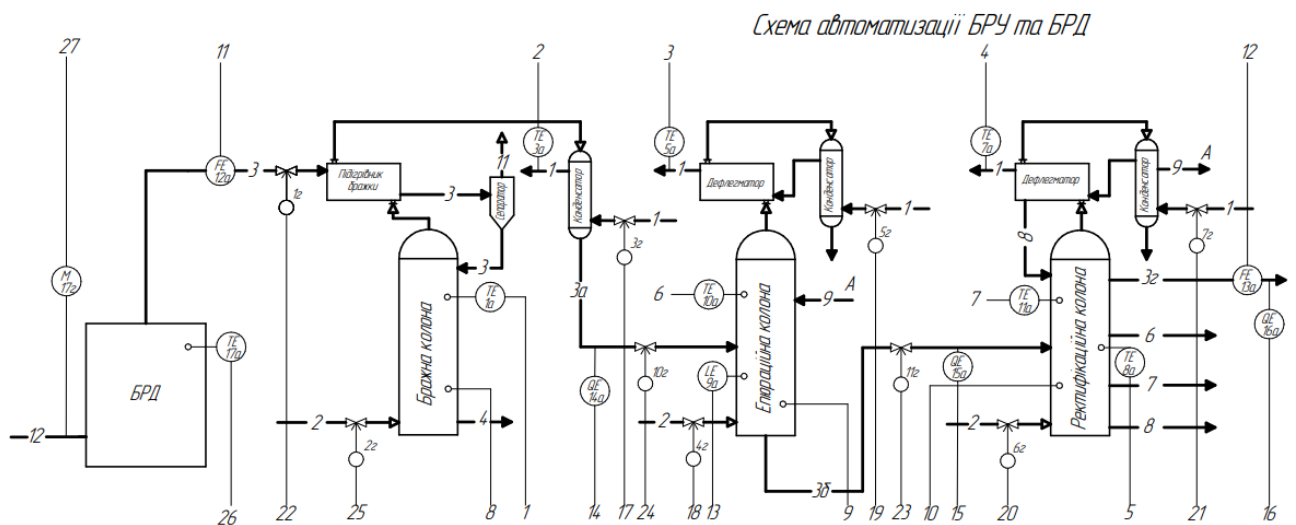


Рис. 4.1. Функціональна схема автоматизації відділів БРУ та БРД

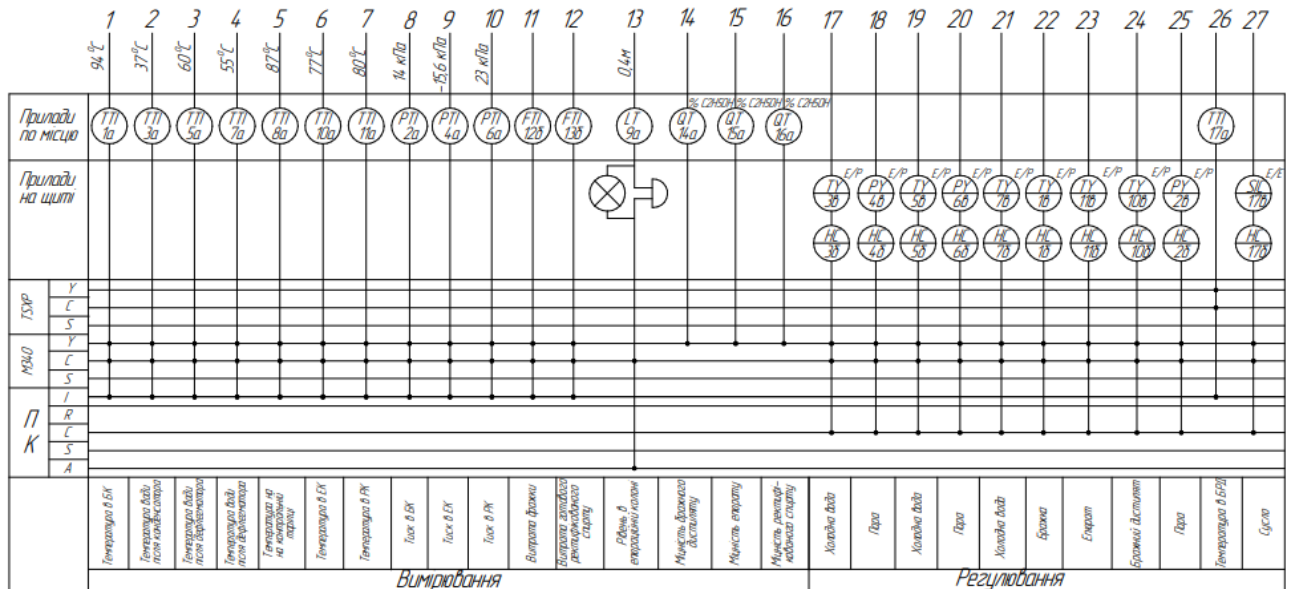


Рис. 4.2. Функціональна схема автоматизації відділів БРУ та БРД

Умовні позначення	Назва
—1—	Вода
—2—	Пара
—3—	Бражка
—3а—	Бражний дистилят
—3б—	Елюрат
—3г—	Ректифікований спирт
—4—	Барда
—5—	Головна фракція
—6—	Сифушний спирт
—7—	Сифушна фракція
—8—	Лютерна вода
—9—	Флегма
—10—	Непастеризований спирт
—11—	CO ₂
—12—	Сусло

Рис. 4.3. Умовні позначення до ФСА.

1. Підбір набору даних для навчання:

Для навчання моделей потрібно мати набір даних, який буде містити показники з датчиків температури та тиску з відповідними їм якісними оцінками

спирту. В даному прикладі будуть використані дві характеристики, які будуть говорити нам про нормальну та аномальну якість спирту.

Характеристики:

- температура та тиск в бражній колоні, та міцність бражного дистиляту;
- температура та тиск в епіюраційній колоні та міцність епіюрату;
- температура та тиск в ректифікаційній колоні та міцність ректифікованого спирту.

Технологічні вимоги для виробництва спирту ректифікованого:

Таблиця Д10. Технологічні вимоги

№	Апарат, агрегат	Назва параметру	Номінальне значення
1	Бражна	Тиск знизу, мм вод. ст.	1500
2		Температура зверху, °С	94
3		Міцність бражного дистиляту, %	40
4	Епіюраційна	Тиск знизу, мм вод. ст.	-1600
5		Температура зверху, °С	77
6		Міцність епіюрату, %	60
7	Ректифікаційна	Тиск знизу, мм вод. ст.	2350
8		Температура зверху, °С	80
10		Міцність ректифікату, %	96,2

Діапазони для аномальних значень:

- Для температури $\pm 5^{\circ}\text{C}$ від норми.
- Для тиску $\pm 10\%$ від норми.
- Для міцності $\pm 5\%$ від норми.

Для навчання SVM та ANN моделей було використано dataset:

	Brazhna_Col_Temp,Brazhna_Col_Pressure,Brazhna_Col_Strength,Epur_Col_Temp,
1	97.68,1592.55,43.64,72.41,1592.99,58.53,81.87,2389.24,94.6,32.0,Anomalous
2	90.37,1659.27,37.37,73.21,1717.66,56.65,81.23,2632.86,98.09,29.09,Anomalous
3	93.55,1500.34,40.1,76.86,1600.38,59.85,79.31,2349.84,96.56,31.0,Normal
4	94.22,1499.24,40.24,77.49,1600.46,59.92,80.4,2349.8,95.91,30.0,Normal
5	93.93,1500.42,40.36,76.51,1600.09,59.71,79.79,2350.53,96.02,30.41,Normal
6	93.42,1499.95,39.73,77.46,1600.07,59.51,80.5,2349.89,96.72,29.5,Normal
7	93.48,1500.72,40.56,77.88,1600.85,58.36,79.57,2350.3,95.82,29.78,Normal
8	95.18,1500.76,39.28,77.43,1600.07,59.3,79.43,2350.16,95.73,30.41,Normal
9	96.11,1415.31,36.68,81.59,1778.12,64.85,84.08,2591.1,94.44,29.93,Anomalous
10	94.07,1500.15,40.15,76.34,1599.92,59.76,79.2,2349.79,96.26,29.83,Normal
11	93.9,1499.98,40.02,76.81,1599.6,61.25,80.41,2349.94,97.0,30.85,Normal
12	94.15,1499.27,38.85,76.14,1600.76,59.7,79.82,2350.27,96.15,29.02,Normal
13	89.36,1537.52,42.28,78.11,1506.97,59.91,77.13,2466.49,95.43,30.04,Anomalous
14	93.6,1500.79,40.82,77.55,1599.69,58.92,80.41,2349.89,96.42,30.08,Normal
15	94.47,1438.15,35.06,76.8,1664.89,64.28,77.53,2233.73,96.64,28.26,Anomalous
16	95.25,1547.11,44.8,74.74,1702.07,59.06,82.18,2351.62,94.83,31.5,Anomalous
17	94.59,1500.01,39.37,76.47,1600.44,60.21,79.66,2349.56,96.31,30.81,Normal
18	93.61,1499.2,39.54,77.87,1599.5,59.39,79.51,2350.16,96.01,30.42,Normal
19	94.73,1350.0,43.78,78.79,1555.57,58.32,77.61,2158.28,97.29,31.32,Anomalous
20	

Рис. 4.4. Dataset з даними для машинного навчання

Для оцінки якості побудованих моделей були використані кілька метрик:

- Точність (Accuracy), що відображає частку правильно класифікованих прикладів серед усіх.
- F1-score, що є середнім гармонійним значенням точності та відчутності і корисний при нерівномірному розподілі класів.

Підключення основних бібліотек:

```
1 # Імпорт необхідних модулів
2 import pandas as pd
3 import tensorflow as tf
4 from matplotlib import pyplot as plt
5
6 # Імпорт необхідних бібліотек
7 from sklearn.metrics import mean_squared_error
8 from sklearn.metrics import r2_score
9 import numpy as np
10 import matplotlib.pyplot as plt
11 import tensorflow as tf
12 from tensorflow import keras
13 from sklearn.model_selection import train_test_split
14 from sklearn.preprocessing import StandardScaler
15 from sklearn.datasets import make_classification
16 from matplotlib import pyplot as plt
17 import seaborn as sns
18 from sklearn.decomposition import PCA
19 from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
```

Рис. 4.5. Приклад коду машинного навчання

Набір даних містить різноманітні ознаки, що характеризують процеси виробництва спирту, включаючи температуру, тиск, та інші фактори, які безпосередньо впливають на кінцеву якість продукції.

З допомогою бібліотеки pandas завантажуюмо dataset, та для наглядності виводимо параметри:

```

1 import pandas as pd
2
3 # Завантаження набору даних
4 data = pd.read_csv('/content/alcohol_classification_dataset.csv')
5
6 # Виведення перших рядків для ознайомлення з даними
7 print(data.head())
8 # Використання value_counts для підрахунку кількості кожної категорії
9 value_counts = data['Class'].value_counts()
10
11 # Виведення результатів
12 print(value_counts)

```

	Brazhna_Col_Temp	Brazhna_Col_Pressure	Brazhna_Col_Strength	\
0	97.68	1592.55	43.64	
1	90.37	1659.27	37.37	
2	93.55	1500.34	40.10	
3	94.22	1499.24	40.24	
4	93.93	1500.42	40.36	

	Epur_Col_Temp	Epur_Col_Pressure	Epur_Col_Strength	Rect_Col_Temp	\
0	72.41	1592.99	58.53	81.87	
1	73.21	1717.66	56.65	81.23	
2	76.86	1600.38	59.85	79.31	
3	77.49	1600.46	59.92	80.40	
4	76.51	1600.09	59.71	79.79	

	Rect_Col_Pressure	Rect_Col_Strength	Brazhka_Temp	Class
0	2389.24	94.60	32.00	Anomalous
1	2632.86	98.09	29.09	Anomalous
2	2349.84	96.56	31.00	Normal
3	2349.80	95.91	30.00	Normal
4	2350.53	96.02	30.41	Normal

Class

Normal	360
Anomalous	140

Name: count, dtype: int64

Рис. 4.6. Приклад коду машинного навчання з виведенням даних

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9		X10
0	93.55	1500.34	40.10	76.86	1600.38	59.85	79.31	2349.84	96.56	0	31.00
1	94.22	1499.24	40.24	77.49	1600.46	59.92	80.40	2349.80	95.91	1	30.00
2	93.93	1500.42	40.36	76.51	1600.09	59.71	79.79	2350.53	96.02	2	30.41
3	93.42	1499.95	39.73	77.46	1600.07	59.51	80.50	2349.89	96.72	3	29.50
4	93.48	1500.72	40.56	77.88	1600.85	58.36	79.57	2350.30	95.82	4	29.78
..
493	93.85	1501.34	39.41	77.59	1599.63	60.66	80.06	2350.47	95.57	493	30.53
494	95.60	1644.28	39.43	77.99	1776.59	60.76	77.86	2367.83	95.90	494	28.08
495	94.21	1499.53	40.65	76.95	1600.12	60.23	80.02	2349.81	96.39	495	29.87
496	93.50	1499.64	39.89	77.70	1600.02	60.15	79.43	2349.58	94.94	496	30.28
497	94.12	1499.97	39.94	77.02	1599.34	59.98	79.95	2350.57	96.28	497	29.13

Рис. 4.7. Приклад коду машинного навчання з виведенням даних

2. Формулювання задачі машинного навчання:

Задача: класифікація якості спирту ректифікованого.

Метрика успішності: точність (accuracy) та f1_score.

3. Обробка та аналіз даних:

Попередня обробка даних — це важливий етап у машинному навчанні, який забезпечує якісне навчання моделей та підвищує точність їхніх прогнозів. Попередня обробка даних, необхідна для видалення аномальних значень, нормалізацію даних, кодування категоріальних ознак та інше.

Перед застосуванням методів машинного навчання, було очищено дані від пропущених значень, які можуть спотворити результати.

Після цього було розділено дані на вхідні ознаки (X) та мітки (y), де мітки представляли класи продукту, що необхідно класифікувати. Пропущені значення були видалені, що дозволило підготувати чисті дані для подальшого аналізу.

Далі була застосована нормалізація даних. Оскільки різні ознаки в наборі даних можуть мати різні одиниці вимірювання та масштаби, це може призвести до того, що деякі ознаки матимуть більший вплив на модель, ніж інші. Для вирішення цієї проблеми була використана нормалізація значень через бібліотеку StandardScaler. Цей крок допомагає перевести всі ознаки до однакового масштабу, що покращує ефективність алгоритмів машинного навчання, зокрема тих, що базуються на відстані, таких як метод опорних векторів.

```
✓
0с
▶ 1 import pandas as pd
2 from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
3 from sklearn.preprocessing import StandardScaler, LabelEncoder
4 from sklearn.svm import SVC
5 from sklearn.pipeline import Pipeline
6 from sklearn.metrics import accuracy_score, f1_score, classification_report
7
8 # Завантаження набору даних
9 data = pd.read_csv('/content/alcohol_classification_dataset.csv')
10
11 # Видалення пропущених значень
12 data = data.dropna()
13
14 # Розділення даних на ознаки (X) та мітки (y)
15 X = data.drop('Class', axis=1)
16 y = data['Class']
17
18 # Кодування міток
19 label_encoder = LabelEncoder()
20 y_encoded = label_encoder.fit_transform(y)
21
22 # Нормалізація даних
23 scaler = StandardScaler()
24 X_scaled = scaler.fit_transform(X)
```

Рис. 4.8. Приклад коду машинного навчання

Візуалізуємо дані:

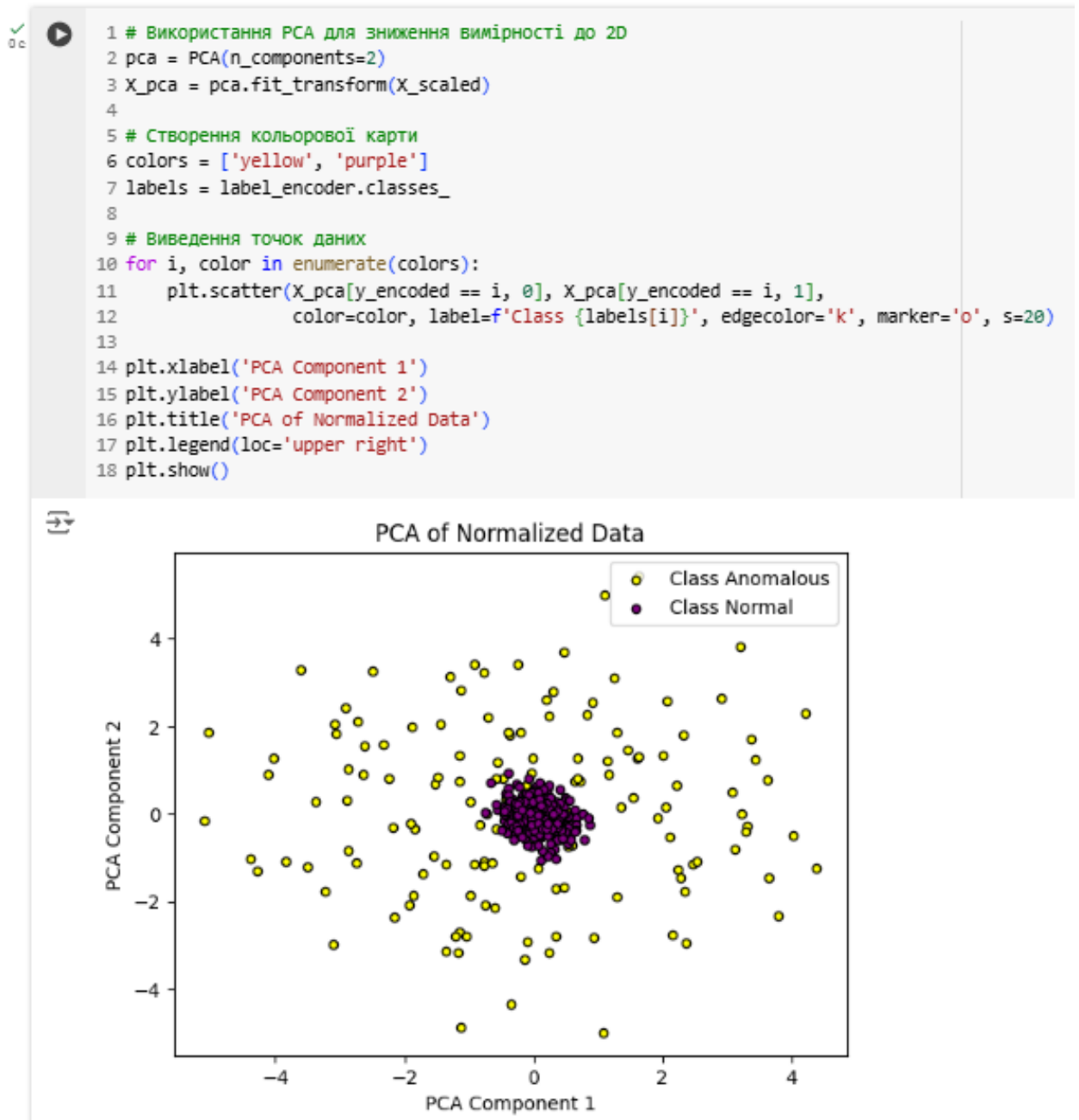


Рис. 4.9. Приклад коду машинного навчання з візуалізацією набору даних
Візуалізація даних потрібна для кращого розуміння структури та залежностей між ознаками.

4. Вибір моделі та навчання:

Для даного набору даних було вибрано дві моделі: SVM та ANN

- розділяти дані на тренувальний та тестовий набори потрібно для подальшої перевірки та оцінки ефективності моделі.

SVM модель:

Для вирішення задачі класифікації було вибрано метод опорних векторів (SVM), який є одним з найефективніших методів для розв'язання задач з високою вимірністю та складними межами між класами. SVM працює шляхом побудови гіперплощини, що максимізує відстань між різними класами, що забезпечує високу точність класифікації навіть у складних умовах.

Для підвищення ефективності моделі було використано GridSearchCV для оптимізації гіперпараметрів, таких як:

C — параметр регуляризації, який контролює компроміс між помилками класифікації та складністю моделі. Значення C визначає ширину допущених помилок, а також складність гіперплощини розподілу.

Γ — параметр, який визначає величину, на яку впливають окремі дані при навчанні моделі. Вищі значення γ роблять модель більш гнучкою, а низькі — більш жорсткою.

Kernel — тип ядра, який використовується для трансформації даних в більш високий вимір для побудови більш складних меж між класами (лінійне, радіально-базисне, поліноміальне або сигмоїдальне ядро).

```

1 import pandas as pd
2 from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
3 from sklearn.preprocessing import StandardScaler, LabelEncoder
4 from sklearn.svm import SVC
5 from sklearn.pipeline import Pipeline
6 from sklearn.metrics import accuracy_score, f1_score, classification_report
7
8 # Завантаження набору даних
9 data = pd.read_csv('/content/alcohol_classification_dataset.csv')
10
11 # Видалення пропущених значень
12 data = data.dropna()
13
14 # Розділення даних на ознаки (X) та мітки (y)
15 X = data.drop('Class', axis=1)
16 y = data['Class']
17
18 # Кодування міток
19 label_encoder = LabelEncoder()
20 y_encoded = label_encoder.fit_transform(y)
21
22 # Нормалізація даних
23 scaler = StandardScaler()
24 X_scaled = scaler.fit_transform(X)
25
26 # Розділення даних на тренувальний та тестовий набори
27 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y_encoded, test_size=0.2, random_state=42)
28
29 # Створення конвеєра для нормалізації даних та навчання моделі SVM
30 pipe = Pipeline([
31     ('scaler', StandardScaler()),
32     ('svm', SVC())
33 ])
34
35 # Налаштування параметрів для пошуку
36 param_grid = {
37     'svm_C': [0.1, 1, 10, 100],
38     'svm_gamma': [1, 0.1, 0.01, 0.001],
39     'svm_kernel': ['linear', 'rbf', 'poly', 'sigmoid']
40 }
41
42 # Використання GridSearchCV для пошуку найкращих параметрів
43 grid = GridSearchCV(pipe, param_grid, refit=True, verbose=2, cv=5)
44 grid.fit(X_train, y_train)
45
46 # Отримання найкращих параметрів
47 print(f'Best Parameters: {grid.best_params_}')
48
49 # Прогнозування на тренувальних даних
50 y_train_pred = grid.predict(X_train)
51
52 # Прогнозування на тестових даних
53 y_test_pred = grid.predict(X_test)

```

Рис. 4.10. Приклад коду навчання SVM моделі

```

55 # Оцінка точності та F1-score для навчального набору
56 train_accuracy = accuracy_score(y_train, y_train_pred)
57 train_f1 = f1_score(y_train, y_train_pred, average='weighted')
58
59 # Оцінка точності та F1-score для тестового набору
60 test_accuracy = accuracy_score(y_test, y_test_pred)
61 test_f1 = f1_score(y_test, y_test_pred, average='weighted')
62
63 print(f'Training Accuracy: {train_accuracy:.2f}')
64 print(f'Training F1 Score: {train_f1:.2f}')
65 print(f'Test Accuracy: {test_accuracy:.2f}')
66 print(f'Test F1 Score: {test_f1:.2f}')
67
68 # Виведення класифікаційного звіту для тестового набору
69 report = classification_report(y_test, y_test_pred)
70 print(report)
71
72 # Візуалізація меж класифікації (PCA для візуалізації)
73 import numpy as np
74 import matplotlib.pyplot as plt
75 from sklearn.decomposition import PCA
76
77 # Використання PCA для зниження вимірності до 2D
78 pca = PCA(n_components=2)
79 X_train_pca = pca.fit_transform(X_train)
80 X_test_pca = pca.transform(X_test)
81
82 # Створення сітки точок для побудови меж класифікації
83 plot_step = 0.01
84 x_min, x_max = X_train_pca[:, 0].min() - 1, X_train_pca[:, 0].max() + 1
85 y_min, y_max = X_train_pca[:, 1].min() - 1, X_train_pca[:, 1].max() + 1
86 xx, yy = np.meshgrid(np.arange(x_min, x_max, plot_step), np.arange(y_min, y_max, plot_step))
87
88 # Прогнозування класів для кожної точки сітки
89 Z = grid.predict(pca.inverse_transform(np.c_[xx.ravel(), yy.ravel()]))
90 Z = Z.reshape(xx.shape)
91
92 # Перевірка значень в Z
93 Z[np.isnan(Z)] = 0
94 Z[np.isinf(Z)] = 0
95
96 # Виведення графіка
97 plt.contourf(xx, yy, Z, cmap=plt.cm.Spectral, alpha=0.8)
98
99 # Видалення некоректних значень для графіків
100 valid_train_mask = np.isfinite(X_train_pca[:, 0]) & np.isfinite(X_train_pca[:, 1])
101 valid_test_mask = np.isfinite(X_test_pca[:, 0]) & np.isfinite(X_test_pca[:, 1])
102
103 # Створення кольорової карти
104 colors = ['yellow', 'purple']
105 labels = label_encoder.classes_

```

Рис. 4.11. Приклад коду навчання SVM моделі

```

107 # Виведення точок навчальних даних
108 for i, color in enumerate(colors):
109     plt.scatter(X_train_pca[valid_train_mask & (y_train == i), 0], X_train_pca[valid_train_mask & (y_train == i), 1],
110                color=color, label=f'Train {labels[i]}', edgecolor='k', marker='o', s=20)
111
112 # Виведення точок тестових даних
113 for i, color in enumerate(colors):
114     plt.scatter(X_test_pca[valid_test_mask & (y_test == i), 0], X_test_pca[valid_test_mask & (y_test == i), 1],
115                color=color, label=f'Test {labels[i]}', edgecolor='k', marker='x', s=20)
116
117 plt.xlim(xx.min(), xx.max())
118 plt.ylim(yy.min(), yy.max())
119 plt.xlabel('PCA Component 1')
120 plt.ylabel('PCA Component 2')
121 plt.title('Classification Boundary')
122 plt.legend(loc='upper right')
123 plt.show()

```

Рис. 4.12. Приклад коду навчання SVM моделі

Даний код для моделі SVM (Support Vector Machine) дозволяє автоматично підібрати оптимальні параметри для моделі.

```

↳ Fitting 5 folds for each of 64 candidates, totalling 320 fits
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=0.1, svm_gamma=1, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.1, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.1, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.1, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.1, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.1, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=linear; total time= 0.1s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=linear; total time= 0.1s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=linear; total time= 0.1s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=linear; total time= 0.1s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=linear; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=1, svm_gamma=0.01, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=rbf; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=poly; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=poly; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=poly; total time= 0.0s
[CV] END .....svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=poly; total time= 0.0s
[CV] END ..svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END ..svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END ..svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END ..svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s
[CV] END ..svm_C=100, svm_gamma=0.001, svm_kernel=sigmoid; total time= 0.0s

```

Рис. 4.13. Процес підбору оптимальних параметрів для налаштування SVM моделі

```

Best Parameters: {'svm_C': 0.1, 'svm_gamma': 0.1, 'svm_kernel': 'rbf'}
Training Accuracy: 1.00
Training F1 Score: 1.00
Test Accuracy: 1.00
Test F1 Score: 1.00

```

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	1.00	1.00	26
1	1.00	1.00	1.00	74
accuracy			1.00	100
macro avg	1.00	1.00	1.00	100
weighted avg	1.00	1.00	1.00	100

Рис. 4.14. Результат машинного навчання з оцінками точності

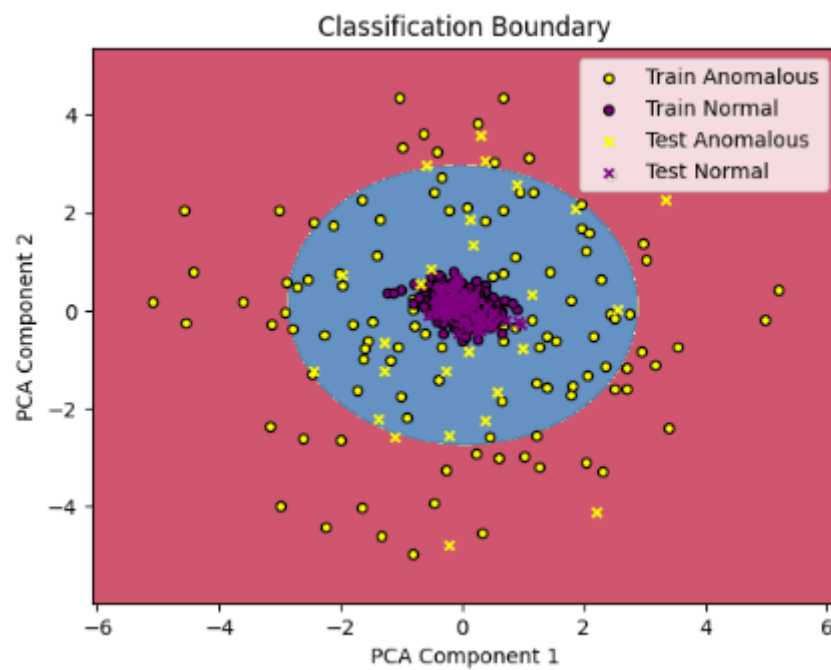


Рис. 4.15. Результат машинного навчання

ANN модель

Для покращення результатів та побудови більш складних моделей було застосовано нейронні мережі. Нейронні мережі дозволяють ефективно обробляти великі обсяги даних і навчатися на складних паттернах. В даному випадку було використано бібліотеку TensorFlow та Keras для побудови моделі.

Модель нейронної мережі містила три шари:

1. Вхідний шар з 64 нейронами, з використанням функції активації ReLU (Rectified Linear Unit), що дозволяє моделі навчатися складним нелінійним залежностям.
2. Середній шар з 32 нейронами і також функцією активації ReLU.
3. Вихідний шар з кількістю нейронів, що відповідає кількості класів у задачі, з використанням функції активації softmax, що генерує ймовірності для кожного з класів.

Для навчання моделі використовувався оптимізатор Adam, а як функція втрат була обрана `categorical_crossentropy`, оскільки завдання є багатокласовою класифікацією.

Процес навчання моделі проводився протягом 50 епох з розміром пакету 10, що дозволяє моделі поступово коригувати свої параметри для досягнення кращих результатів.

Результати навчання включали точність та F1-score, які є важливими метриками для оцінки якості класифікації.

Ці показники дозволяють оцінити не тільки точність класифікації, але й збалансованість результатів для кожного класу, що є важливим для правильної інтерпретації результатів.

```

15 c
1 import tensorflow as tf
2 from tensorflow.keras.models import Sequential
3 from tensorflow.keras.layers import Dense
4 from tensorflow.keras.utils import to_categorical
5 from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
6 from sklearn.metrics import classification_report, accuracy_score, f1_score
7
8 # Кодування міток
9 label_encoder = LabelEncoder()
10 y_train_encoded = label_encoder.fit_transform(y_train)
11 y_test_encoded = label_encoder.transform(y_test)
12
13 # Перетворення закодованих міток у категоріальні
14 y_train_cat = to_categorical(y_train_encoded)
15 y_test_cat = to_categorical(y_test_encoded)
16
17 # Створення моделі нейронної мережі
18 model = Sequential()
19 model.add(Dense(64, input_dim=X_train.shape[1], activation='relu'))
20 model.add(Dense(32, activation='relu'))
21 model.add(Dense(y_train_cat.shape[1], activation='softmax'))
22
23 # Компіляція моделі
24 model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
25
26 # Навчання моделі
27 history = model.fit(X_train, y_train_cat, validation_data=(X_test, y_test_cat), epochs=50, batch_size=10)
28
29 # Прогнозування на навчальних даних
30 y_train_pred_cat = model.predict(X_train)
31 y_train_pred = y_train_pred_cat.argmax(axis=1)
32
33 # Прогнозування на тестових даних
34 y_test_pred_cat = model.predict(X_test)
35 y_test_pred = y_test_pred_cat.argmax(axis=1)
36
37 # Оцінка точності та F1-score для навчального набору
38 train_accuracy = accuracy_score(y_train_encoded, y_train_pred)
39 train_f1 = f1_score(y_train_encoded, y_train_pred, average='weighted')
40
41 # Оцінка точності та F1-score для тестового набору
42 test_accuracy = accuracy_score(y_test_encoded, y_test_pred)
43 test_f1 = f1_score(y_test_encoded, y_test_pred, average='weighted')
44

```

Рис. 4.16. Приклад коду навчання ANN моделі

```

44
45 print(f'Training Accuracy: {train_accuracy:.2f}')
46 print(f'Training F1 Score: {train_f1:.2f}')
47 print(f'Test Accuracy: {test_accuracy:.2f}')
48 print(f'Test F1 Score: {test_f1:.2f}')
49
50 # Виведення класифікаційного звіту для тестового набору
51 report = classification_report(y_test_encoded, y_test_pred)
52 print(report)
53
54 # Візуалізація історії навчання
55 import matplotlib.pyplot as plt
56
57 plt.plot(history.history['accuracy'])
58 plt.plot(history.history['val_accuracy'])
59 plt.title('Model accuracy')
60 plt.ylabel('Accuracy')
61 plt.xlabel('Epoch')
62 plt.legend(['Train', 'Test'], loc='upper left')
63 plt.show()
64
65 plt.plot(history.history['loss'])
66 plt.plot(history.history['val_loss'])
67 plt.title('Model loss')
68 plt.ylabel('Loss')
69 plt.xlabel('Epoch')
70 plt.legend(['Train', 'Test'], loc='upper left')
71 plt.show()

```

Рис. 4.17. Приклад коду навчання ANN моделі

```

Epoch 1/50
40/40 ————— 4s 11ms/step - accuracy: 0.5098 - loss: 0.6720 - val_accuracy: 0.8400 - val_loss: 0.5854
Epoch 2/50
40/40 ————— 1s 6ms/step - accuracy: 0.9156 - loss: 0.5518 - val_accuracy: 0.9900 - val_loss: 0.4483
Epoch 3/50
40/40 ————— 0s 4ms/step - accuracy: 0.9912 - loss: 0.4077 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.2774
Epoch 4/50
40/40 ————— 0s 4ms/step - accuracy: 0.9932 - loss: 0.2351 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.1361
Epoch 5/50
40/40 ————— 0s 6ms/step - accuracy: 0.9993 - loss: 0.1095 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0654
Epoch 6/50
40/40 ————— 0s 7ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 0.0465 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0360
. . . . .
Epoch 45/50
40/40 ————— 0s 3ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.4407e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 7.2537e-04
Epoch 46/50
40/40 ————— 0s 4ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.6025e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 7.0518e-04
Epoch 47/50
40/40 ————— 0s 5ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.3395e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 7.0049e-04
Epoch 48/50
40/40 ————— 0s 4ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.3722e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 6.7550e-04
Epoch 49/50
40/40 ————— 0s 4ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.3298e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 6.5120e-04
Epoch 50/50
40/40 ————— 0s 5ms/step - accuracy: 1.0000 - loss: 1.1762e-04 - val_accuracy: 1.0000 - val_loss: 6.4005e-04
13/13 ————— 0s 8ms/step

```

Рис. 4.18. Процес навчання моделі

```

Training Accuracy: 1.00
Training F1 Score: 1.00
Test Accuracy: 1.00
Test F1 Score: 1.00

```

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	1.00	1.00	26
1	1.00	1.00	1.00	74
accuracy			1.00	100
macro avg	1.00	1.00	1.00	100
weighted avg	1.00	1.00	1.00	100

Рис. 4.19. Результат машинного навчання з оцінками точності

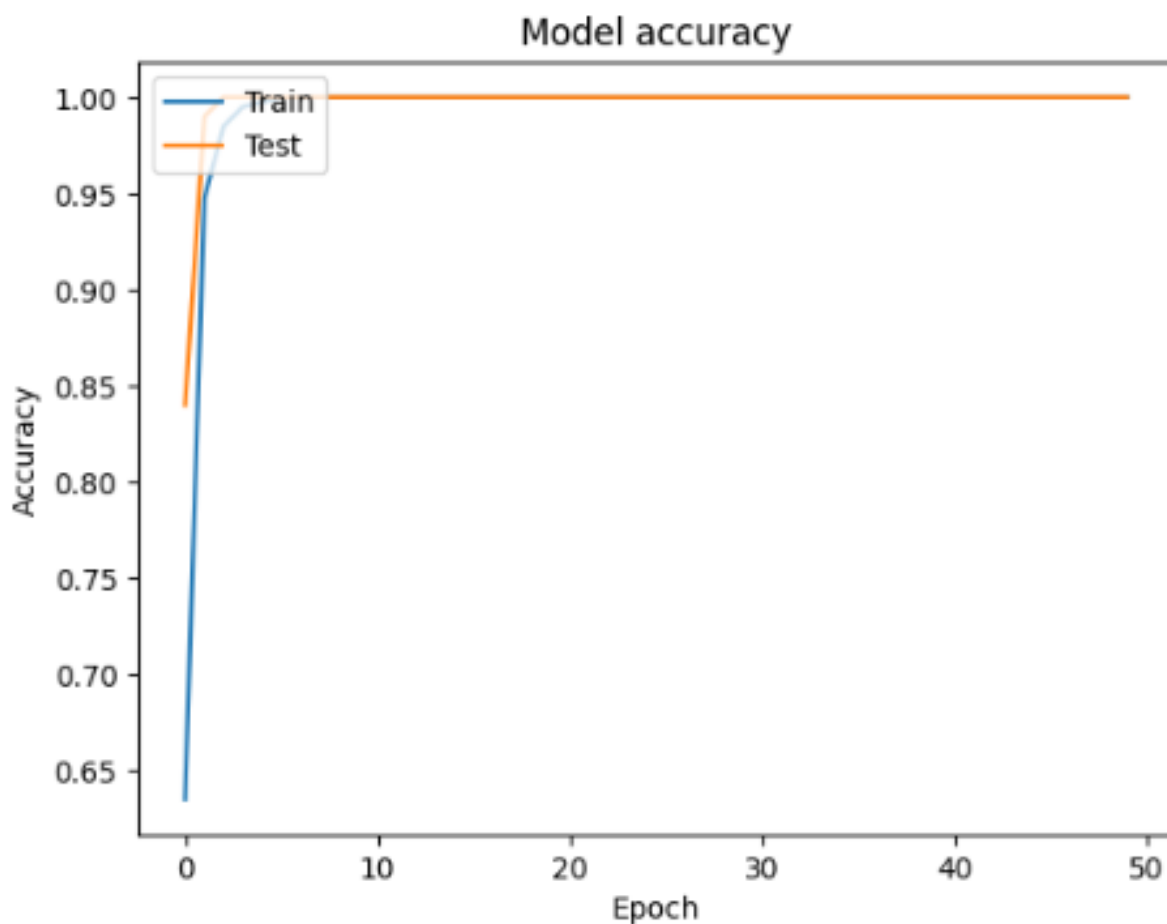


Рис. 4.20. Візуалізація процесу навчання

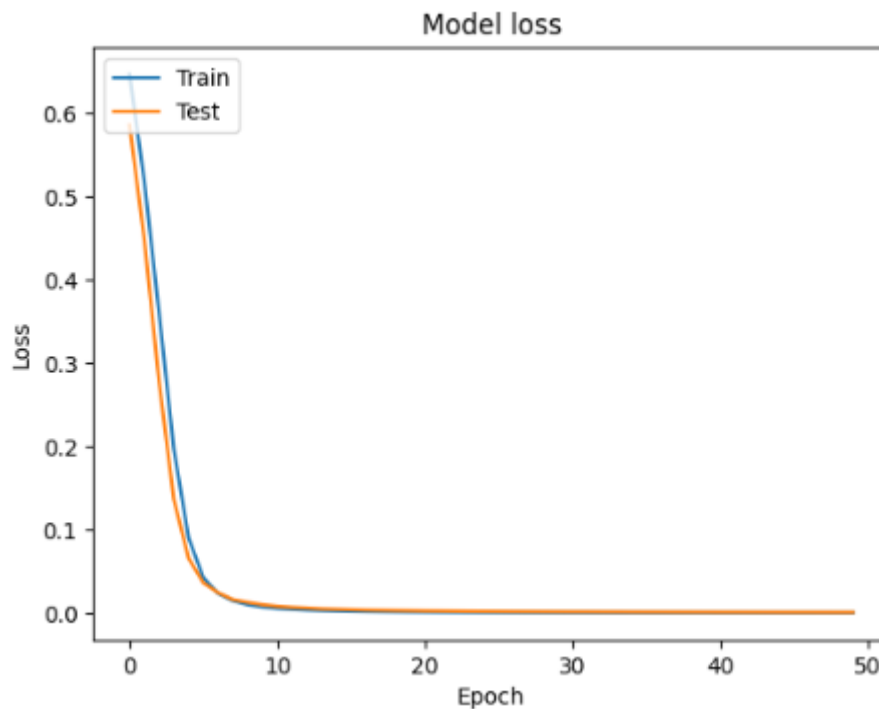


Рис. 4.21. Візуалізація процесу навчання

Моделі SVM та ANN для даної вибірки даних показують чудові результати. Моделі мають високу точність як на тренувальних (1.00), так і на тестових наборах (1.00). Це означає, що моделі здатні правильно класифікувати майже всі зразки як на тренувальних, так і на тестових даних. Високі значення F1-Score (1.00 на тренувальних наборах і 1.00 на тестових наборах) свідчать про те, що моделі добре справляються з обома метриками: точністю (precision) і повнотою (recall).

Висновок

В даній кваліфікаційній роботі було розглянуто автоматизовану систему управління виробництвом ректифікованого спирту з використанням машинного навчання.

Автоматизовану систему управління виробництвом ректифікованого спирту було реалізовано на базі ПЛК від Schneider Electric.

В роботі було розроблено програму для машинного навчання з метою класифікації якості спирту. Програма розроблена з використанням мови програмування Python.

Моделі використані в даній роботі показали чудові результати на вибраному наборі даних.

Обидві моделі, SVM та ANN, показали чудові показники при перевірці оцінки якості машинного навчання.

Використання SVM та ANN моделей дозволяє класифікувати якість спирту використовуючи вхідні параметри з БРУ та БРД.

Список використаних джерел

1. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К., НУХТ, 2013. – 276 с.2. Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. Автоматизація техноло-гічних процесів і виробництв харчової промисловості. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с.
2. Ельперів І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М., Швед С.М. Автоматизація виробничих процесі – К: Автоматизація виробництв, 2021.
3. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.
4. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навчальний посібник / В.Г. Трегуб. — К. : Видавництво Ліра-К, 2014. — 344 с.
5. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: навчальний посібник / В. Г. Трегуб.– К.: НУХТ, 2006 – 139 с.
6. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій [Текст]: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — К. : НУХТ, 2014. – 600 с.
7. Райхер Я.Г. Основи автоматизації процесів спиртового и лікеро-горілчаного виробництва. – М. Харчова Промисловість, 1972.
8. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.1 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2004. – 184 с.
9. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.2 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2005. – 115 с.
10. Гончаренко Б.М. Цифрові системи керування: навчальний посібник / Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2007.–160 с.
11. Автоматизоване управління технологічними процесами. Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804

“Комп’ютерні науки” ден. та заоч. форм навчання/ Уклад.: І.В.Ельперін, С.М.Швед – К: НУХТ, 2007. – 71 с.

12. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навчальний посібник / В.Г. Трегуб. — К. : Видавництво Ліра-К, 2014. — 344 с.

13. Трегуб В.Г. Основи комп’ютерно-інтегрованого управління: навчальний посібник / В. Г. Трегуб.– К.: НУХТ, 2006 – 139 с.

14. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій [Текст]: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — К. : НУХТ, 2014. – 600 с.

15. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К., НУХТ, 2013. – 276 с.

16. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.1 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2004. – 184 с.

17. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.2 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2005. – 115 с.

18. Гончаренко Б.М. Цифрові системи керування: навчальний посібник / Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2007.–160 с.

19. Автоматизоване управління технологічними процесами. Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп’ютерні науки” ден. та заоч. форм навчання/ Уклад.: І.В.Ельперін, С.М.Швед – К: НУХТ, 2007. – 71 с.

20. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. / О.М. Пупена. – К.: НУХТ, 2011. – 67 с.

21. Трегуб В.Г. Автоматизація об’єктів періодичної дії: підручник / В.Г. Трегуб. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 136 с.

22. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. – Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.

23. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів [Текст] : монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Іващук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумигай. – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408 с.

24. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) [Текст]: монографія / А.П. Ладанюк, Н.А Заєць, Л.О. Власенко. - К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312с.

25. Цифрові двійники для промислового застосування. 2020 Industrial Internet Consortium, a program of Object Management Group, Inc. (“OMG”)

26. <https://www.kaggle.com/>

27. Проблеми недонавчання та перенавчання
<https://datascience.foundation/sciencewhitepaper/underfitting-and-overfitting-inmachine-learning>.

28. https://medium.com/@shiny_jay/ml-bias-variance-2164cb994842

29. https://medium.com/@shiny_jay/ml-how-to-choose-lambda-9d0000c1491c

30. https://medium.com/@shiny_jay/ml-learning-curves-c454968040b

31. <https://towardsdatascience.com/how-to-build-your-first-spam-classifier-in-10-stepsfdbf5b1b3870>

32. <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machinelearning-algorithms-934a444fca47>

33. <http://web.mit.edu/6.034/wwwbob/svm-notes-long-08.pdf>

34. Методичні рекомендації до виконання курсової роботи для здобувачів освітньо-професійного ступеня «магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих

системах управління» денної та заочної форм навчання / Н.М. Луцька, Ю.В. Куєвда – К.: НУХТ, 2024. – 44 с.