

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

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

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(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 керування відділенням дефекосатурації  
цукрового заводу з використанням інтелектуальних технологій

Виконав: здобувач \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Дудник Дмитро Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Смітюх Ярослав Володимирович  
(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) незарядженої 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

Завідувач кафедри АКТСУ  
ім. проф. А.П Ладанюка

Ярослав СМІТЮХ

“ ” 2024 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дуднику Дмитру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизована система керування відділенням  
дефекосатурації цукрового заводу з використанням інтелектуальних технологій  
керівник роботи к.т.н, доц. Смітюх Я.В.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” жовтня 2024 року № 884-кс

2. Строк подання здобувачем роботи \_\_\_\_\_

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)  
Анотація. Вступ. Розділ 1. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління.  
1.1. Загальна характеристика процесів автоматизації цукрового виробництва.  
1.2. Аналіз технологічного процесу очищення дифузійного соку. 1.3. Аналіз  
існуючих автоматизованих систем управління дефекосатураційним відділенням.  
1.4. Постановка задачі дослідження. Розділ 2. Загальносистемні рішення про  
створення системи. 2.1. Розробка загальної моделі ієрархії обладнання. 2.2.  
Функціональна структура асу відділенням дефекосатурації цукрового заводу. 2.3.

Опис функцій, що автоматизуються. 2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.5. Опис інформаційного забезпечення. Розділ 3. Розробка підсистеми управління відділенням дефекосатурації. 3.1. Схема автоматизації. Специфікація приладів та засобів автоматизації. 3.2. Схема компонування та специфікація ПЛК. 3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації. 3.4. Дисплейна схема управління процесом II сатурації. Розділ 4. Спеціальне завдання. 4.1. Дослідження якості сокоочистки у цукровому виробництві. 4.2. Нейро-нечітке моделювання показників якості процесу дефекостаурації. Основні результати та висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Структурна схема КТЗ. 2. Схема мережних інформаційних потоків. 3. Схема автоматизації процесу II сатурації. 4. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації

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 існуючих автоматизованих систем управління	Захист переддипломної практики	
3	Розділ 2. Загальносистемні рішення про створення системи	3-4 тиждень	
4	Розділ 3. Розробка підсистеми управління відділенням дефекосатурації	5-7 тиждень	
5	Розділ 4. Спеціальне завдання.	8-11 тиждень	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитро ДУДНИК  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ярослав СМІТЮХ  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ANOTATION	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	8
1.1. Загальна характеристика процесів автоматизації цукрового виробництва	8
1.2. Аналіз технологічного процесу очищення дифузійного соку	12
1.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління дефекосатураційним відділенням	16
1.4. Постановка задачі дослідження	22
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ ПРО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ	2 3
2.1. Розробка загальної моделі ієрархії обладнання	23
2.2. Функціональна структура АСУ відділенням дефекосатурації цукрового заводу	27
2.3. Опис функцій, що автоматизуються	30
2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів	35
2.5. Опис інформаційного забезпечення	38
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДДІЛЕННЯМ ДЕФЕКОСАТУРАЦІЇ	45
3.1. Схема автоматизації. Специфікація приладів та засобів автоматизації	45
3.2. Схема компонування та специфікація ПЛК	49
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації	53
3.4. Дисплейна схема управління процесом II сатурації	56
РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	59
4.1. Дослідження якості сокоочистки у цукровому виробництві	59
4.2. Нейро-нечітке моделювання показників якості процесу дефекостаурації	61
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

## АНОТАЦІЯ

Об'єм магістерської роботи 75 сторінок, на яких розміщено 32 рисунків та 10 таблиць. При написанні роботи використано 29 джерел.

**Ключові слова:** виробництво цукру, дефекосатурація, прогнозування, нейро-нечітки мережі, функції належності.

Магістерська робота присвячена розробці автоматизованої системи керування відділенням дефекосатурації цукрового заводу з використанням інтелектуальних технологій, що забезпечує контроль та регулювання технологічних параметрів процесу, сигналізацію аварійних ситуацій та відхилення технологічних параметрів процесу II сатурації від номінальних, локальне та віддалене управління, ведення архіву та координацію роботи системи між суміжним відділеннями, такими як дифузія та дефекосатурація, що включає безпосередньо дефекосатурацію та фільтрацію, використання адаптивної нейро-нечіткої моделі прогнозування якості соку після II сатурації.

Магістерська робота містить вступ, чотири розділи та висновки.

## ANNOTATION

The volume of the master's work is 75 pages, on which 32 figures and 10 tables are placed. 29 sources were used when writing the work.

**Keywords:** sugar production, defecosaturation, forecasting, neuro-fuzzy network, membership functions.

The master's work is devoted to the development of an automated control system for the defecosaturation department of a sugar factory using intelligent technologies, which provides control and regulation of technological parameters of the process, signaling of emergency situations and deviations of technological parameters of the II saturation process from the nominal ones, local and remote control, archiving and coordination of the system between adjacent departments, such as diffusion and defecosaturation, which directly includes defecosaturation and filtration, the use of an adaptive neuro-fuzzy model for predicting juice quality after II saturation.

The master's thesis contains an introduction, four sections and conclusions.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із основних відділень цукрового заводу є відділення дефекосатурації, в якому відбуваються процеси очищення дифузійного соку, що впливає на якість готового продукту. Аналіз існуючих систем автоматизації відділення дефекосатурації показав використання сучасних мікропроцесорних систем. Проте, враховуючи не лінійність та нестационарність самого процесу, виникає потреба у прогнозуванні та підвищенні ефективності процесу очищення соку з використанням інтелектуальних технологій, таких як нейро-нечітких мереж в умовах ситуаційної невизначеності.

**Мета і завдання роботи.** Метою магістерської роботи є розробка автоматизованої системи керування відділенням дефекосатурації цукрового заводу прогнозування показників якості соку II сатурації з використанням адаптивної нейро-нечіткої мережі.

У відповідності до поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати існуючі АСУ дефекосатураційним відділенням
- розробити загальну модель ієрархії обладнання; функціональну структуру та структурну схему комплексу технічних засобів АСУ відділенням дефекосатурації; розробити інформаційне забезпечення;
- розробити підсистему управління процесом II сатурації;
- застосувати інтелектуальні технології для прогнозування якісних параметрів процесу II сатурації.

**Основні положення, що виносяться на захист.** При розв'язанні поставлених задач отримані такі результати:

- розроблено модель ієрархії обладнання для верхнього та нижнього рівнів цукрового заводу та схему функціональної структури АСУТП для відділень дифузії та дефекосатурації;
- розроблено структурну схему комплексу технічних засобів для АСУТП відділень дифузії та дефекосатурації на базі мережі Ethernet TCP/IP та схему мережевих інформаційних потоків;

- розроблено схему автоматизації процесу II сатурації цукрового заводу; скомпоновано контролер Modicon M340; розроблені електричні принципові схеми контурів вимірювання, управління та сигналізації; розроблено дисплейну мнемосхему управління процесом II сатурації на базі SCADA – програми Vijeo Citect;
- проаналізовано вплив технологічних параметрів процесу дефекосатурації на якість очищення дифузійного соку; розроблено ANFIS мережу прогнозування вмісту сухих речовин та чистоти соку після сатурації, модель має 4 входи із двома функціями належності типу  $\text{trimf}$  для кожного вхідного параметра, похибка для двох мереж складає відповідно 0,002 % та 0,0064 %.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

#### 1.1. Загальна характеристика процесів автоматизації цукрового виробництва

Сучасне промислове виробництво виступає складним комплексом, що поєднує у собі технологічні лінії, комунікаційне обладнання, інженерно-технічні засоби тощо. Автоматизовані системи управління технологічними комплексами виступають інтегрованими системами, які поєднують у собі різноманітні підсистеми. Аналіз таких технологічних комплексів (ТК) як складних об'єктів, потребує визначення та оцінки їхньої структури, матеріальних та енергетичних складових, інформаційних потоків. При побудові автоматизованих систем керування складними ТК виникає необхідність у визначенні підсистем, точок інформації, розташування пунктів управління тощо [1].

На сьогоднішній день найбільш актуальним питанням для цукрового виробництва виступає оптимізація споживання енергії, зменшення матеріальних витрат, збільшення використання активів та пропускної здатності. До інших пріоритетів можна віднести: потребу в покращенні якості та зменшення варіацій, помилок, відходів, максимізація продуктивності та дотримання норм та стандартів, охоплення гнучкого виробничого середовища. Рішення таких викликів можливе за допомогою Інтернету, програмі «Індустрії 4.0» та використанні цифрових технологій.

Аналіз стану сучасної цифрової системи цукрового виробництва показав, що сучасні системи не повністю інтегровані. Це відображається у функціях виробництва від нижнього рівня до верхнього, не повній інтеграції пристроїв автоматизації. Однак, це все вирішується за допомогою цифрової обробки та Industry 4.0 самого підприємства та всіх його складових, частин та відділів, технології яких дозволяють об'єднати все в один інтегрований простір з автоматизованими ланцюгами.

Стратегічні цілі цукрового виробництва є простими – це забезпечити конкурентоспроможну продукцію, підвищити рентабельність та розвивати свій бізнес в умовах зростаючої глобалізації та підвищенні вартості ринку.

Цукрові заводи характеризуються наявністю у своєму складі розрізнених, різнорідних та обмежених автоматизованих та інформаційних систем (АСУТП, лабораторії, системи обліку різного характеру тощо). Тому, єдина інформаційна система повинна забезпечувати [2]:

1. більш якісне проведення технологічних процесів отримання цукру із буряку за рахунок покращення процесів інформатизації та автоматизації;
2. скорочення втрат за рахунок реалізації сучасних засобів АСУТП, забезпечення більш повного оперативного контролю на різних технологічних ділянках виробництва цукру;
3. зниження енергоспоживання за рахунок впровадження систем контролю та обліку електроенергії, оперативного аналізу та планування споживання;
4. підвищення ефективності управління цукровим заводом за рахунок покращення інтеграції різних півнів АСУТП.

Цифровізація виробництва відіграє ключову роль у всіх процесах. Тому, виникає необхідність у інтеграції вертикальних та горизонтальних ланцюгів з метою створення надійної платформи збору даних про технологічний процес. Вертикальна інтеграція включає самі дані процесу від нижніх рівнів до верхніх, що використовуються для управлінських рішень. Горизонтальна інтеграція використовується для підключення заводу до цифрового світу, поєднує постачальників та клієнтів [3].

Існують як правило три типи автоматизації [3]:

1. контроль та збір даних: охоплює автоматизацію мережі для додатків для забезпечення надійного зв'язку між різним рівнями та обладнанням;
2. програмований логічний контролер: пристрій для автоматизації процесів із багатьма дискретними/аналоговими входами та виходами;
3. системи розподіленого управління: використовуються у програмах автоматизації процесів та поділяється на основну та розширену

автоматизацію. Основна автоматизація масштабована та проста у використанні та застосовується для малих та середніх операцій. Розширена автоматизація включає у себе багатий контекст інформації, за допомогою якої відбувається інтеграція телекомунікації, автоматизації процесів та енергопостачання.

Для розробки автоматизованого інтерфейсу між цукровим підприємством та системами управління застосовується стандарт ANSI / ISA-95 або ISA-95, також він використовується в усіх різновидах процесів, безперервних та циклічних [3].

Ціллю стандарту ISA-95 є забезпечення термінології, яка є основою для зв'язку постачальників із виробництвом. Існує п'ять рівнів стандарту ISA-95, які показані на рис. 1.1.

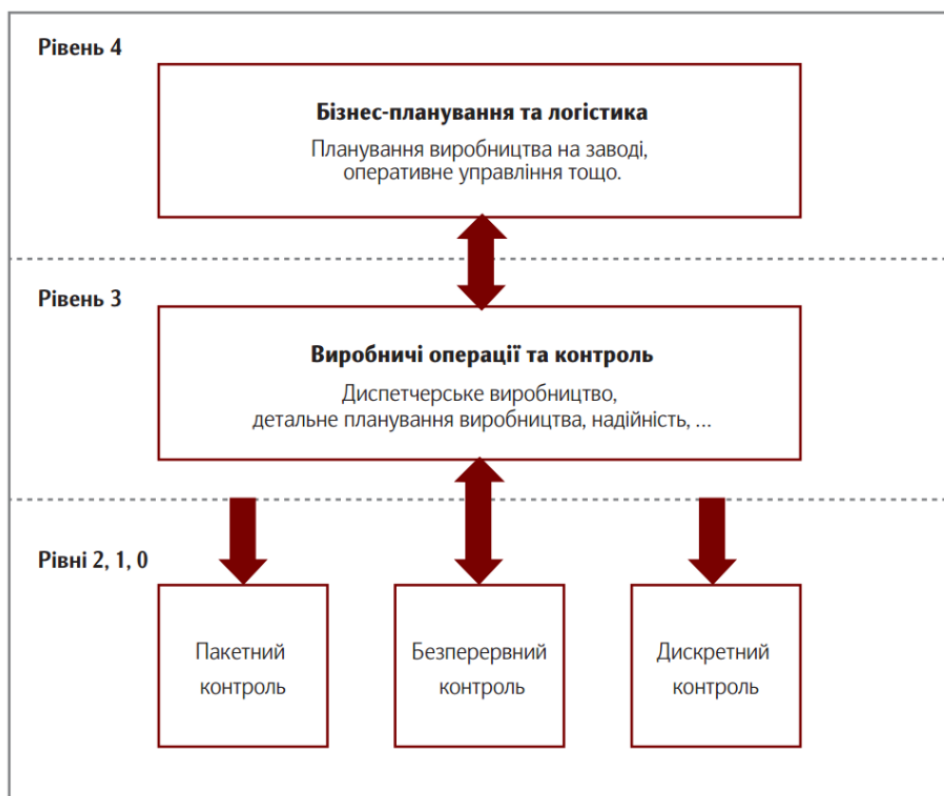


Рис. 1.1. Модель ISA-95

**Рівень 0.** Рівень поля. Містить фактичні фізичні процеси, сюди входять польові пристрої, такі як датчики потоків та температури, а також кінцеві контрольні елементи, такі як виконавчі механізми та регулюючі органи.

**Рівень 1.** Прямий контроль. На цьому рівні відбувається відстеження та вплив на технологічні процеси і є традиційним інструментальним рівнем разом із

системами ПЛК. Сюди відносяться модулі входів/виходів та пов'язані із ними розподілені процеси.

**Рівень 2.** Контроль за процесами. На даному рівні відбувається моніторинг та контроль за технологічними процесами, їх оптимізація із застосуванням передових датчиків. Основною функцією даного рівня є збір всіх даних із Рівня 1.

**Рівень 3.** Контроль виробництвом. На даному рівні визначають діяльність всього виробництва для отримання належної якості продукції. На даному рівні відбувається координація виробництва на всіх рівнях з метою мінімізації витрат, максимізації продуктивності та контролю якості готової продукції.

Контроль за всіма рівнями здійснюється за допомогою виробничих систем, які дозволяють контролювати та аналізувати різні елементи виробничого процесу у режимі реального часу. Це допомагає приймати рішення, оптимізувати існуючі процеси для покращення виробництва. Дані із рівня 2 надходять на Рівень 3, де аналізуються тенденції та основні показники ефективності.

**Рівень 4.** Планування виробництвом. Визначає діяльність, яка необхідна для управління складним технологічним комплексом в цілому (рис.1.2). Даний рівень охоплює системи керування ресурсами підприємства (КРП). Даний рівень передає інформацію на Рівень 3, а потім на Рівень 2 та автоматизувати багато різноманітних функцій, керувати розподіленими процесами [3].



Рис. 1.2. Обмін даними між технологічним процесом та рішеннями у цукровому виробництві

На рис. 1.2 показано практичний приклад моделі ISA-95, що застосовується для цукрового виробництва. Дані в реальному часі обмінюються між Рівнем 0 та Рівнем 1. Дані про технологічний процес передаються для контролю та моніторингу на Рівень 2. Рівень 3 збирає, аналізує дані та передає їх у зручному форматі для прийняття відповідних бізнес-рішень. На цьому рівні інтегруються дані операційних технологій (ОТ) та інформаційних технологій (ІТ). Розподілені дані між Рівнем 3 та Рівнем 4, що представлені КРП, які є ресурсами (персонал, матеріали, обладнання), можливостями виробництва, визначенням продукту, графіком виробництва та продуктивністю виробництва. Рівень 4 поділяє ОТ/ІТ задля горизонтальної інтеграції.

Правильне перетворення даних виробництва в цілому дозволяє покращувати виробничий процес за рахунок зменшення відходів та поліпшення якості готового продукту. Серед завдань, з якими стикається цукрова промисловість при підвищенні якості цукру – це потреба у покращенні якості очищення соку, удосконалення процесу випарювання, схемах варіння та більш ефективних методах обробки цукру [3].

## **1.2. Аналіз технологічного процесу очищення дифузійного соку**

Одним із важливих етапів у виробництві цукру є процес очищення дифузійного соку та отримання цукрового сиропу належної якості. Технологічні операції процесу очищення дифузійного соку показано на рис. 1.3. [4].

**Попередня defeкація.** Під час процесу попередньої defeкації виділяється максимальна кількість колоїдів із дифузійного соку, соку надається лужна реакція, укрупнюються нерозчинні кальцієві солі і видаляється велика частина мікроорганізмів, які адсорбуються осадами. Даний процес відбувається при температурі 65-67 °С з додаванням до дифузійного соку вапняного молока в кількості близько 1 % до маси буряка або 150 % нефільтрованого соку 1 сатурації і 15 % defeкованого соку з розрахунку одержання розчину рН 10,8-11,0. [4]

**Нагрівання соку.** Перед основною defeкацією додають вапно та дифузійний сік нагрівають до температури 90 °С для підвищення кількості нецукрів.

**Основна дефекація.** Процес дефекації проводять у дефекаційних котлах. Сік подається у нижню частину котла, а відбирається у верхній частині. Тривалість основної дефекації 10 хв при температурі 88-90 °С. [4]

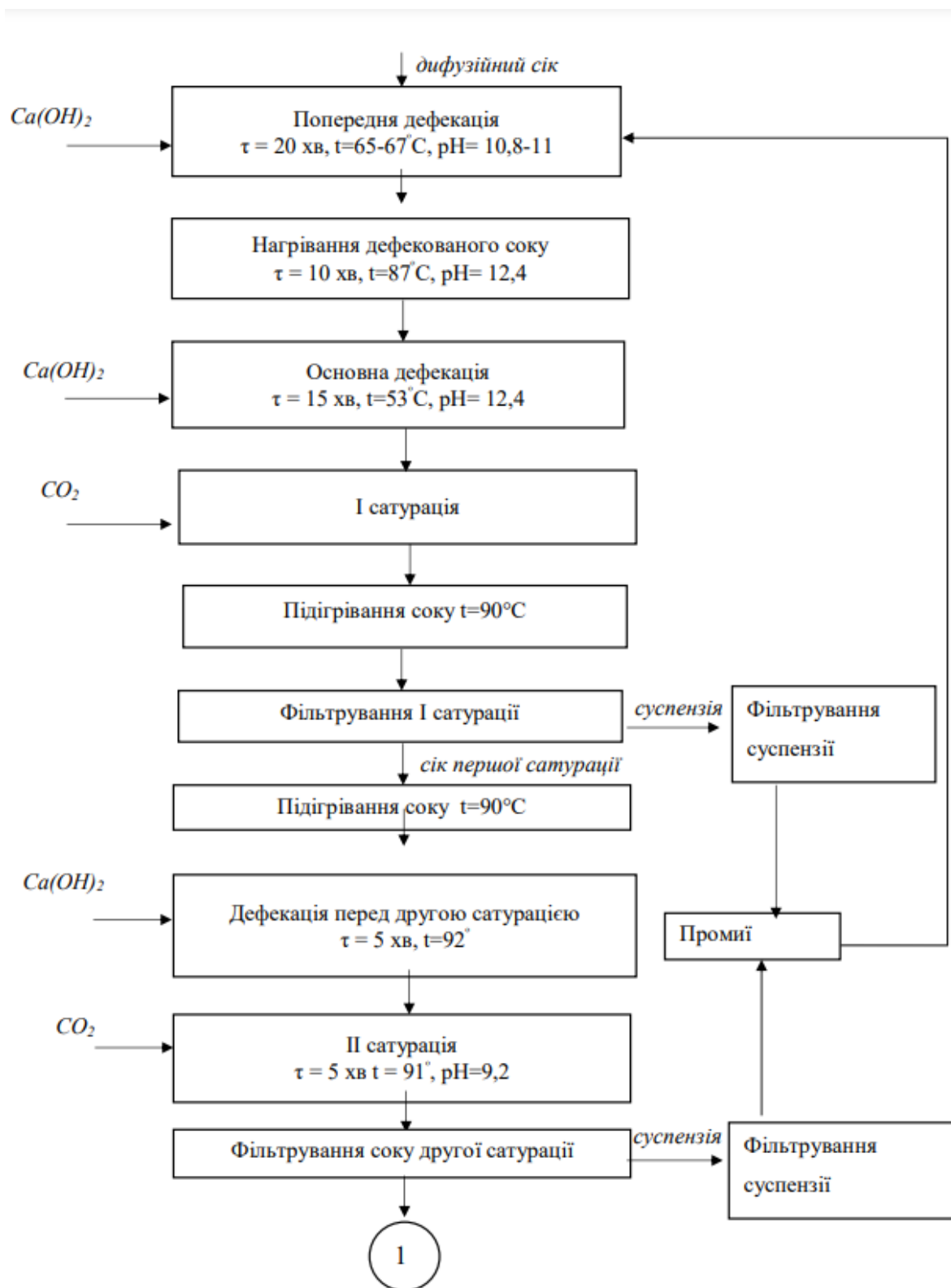


Рис. 1.3. Блок-схема процесу очищення дифузійного соку

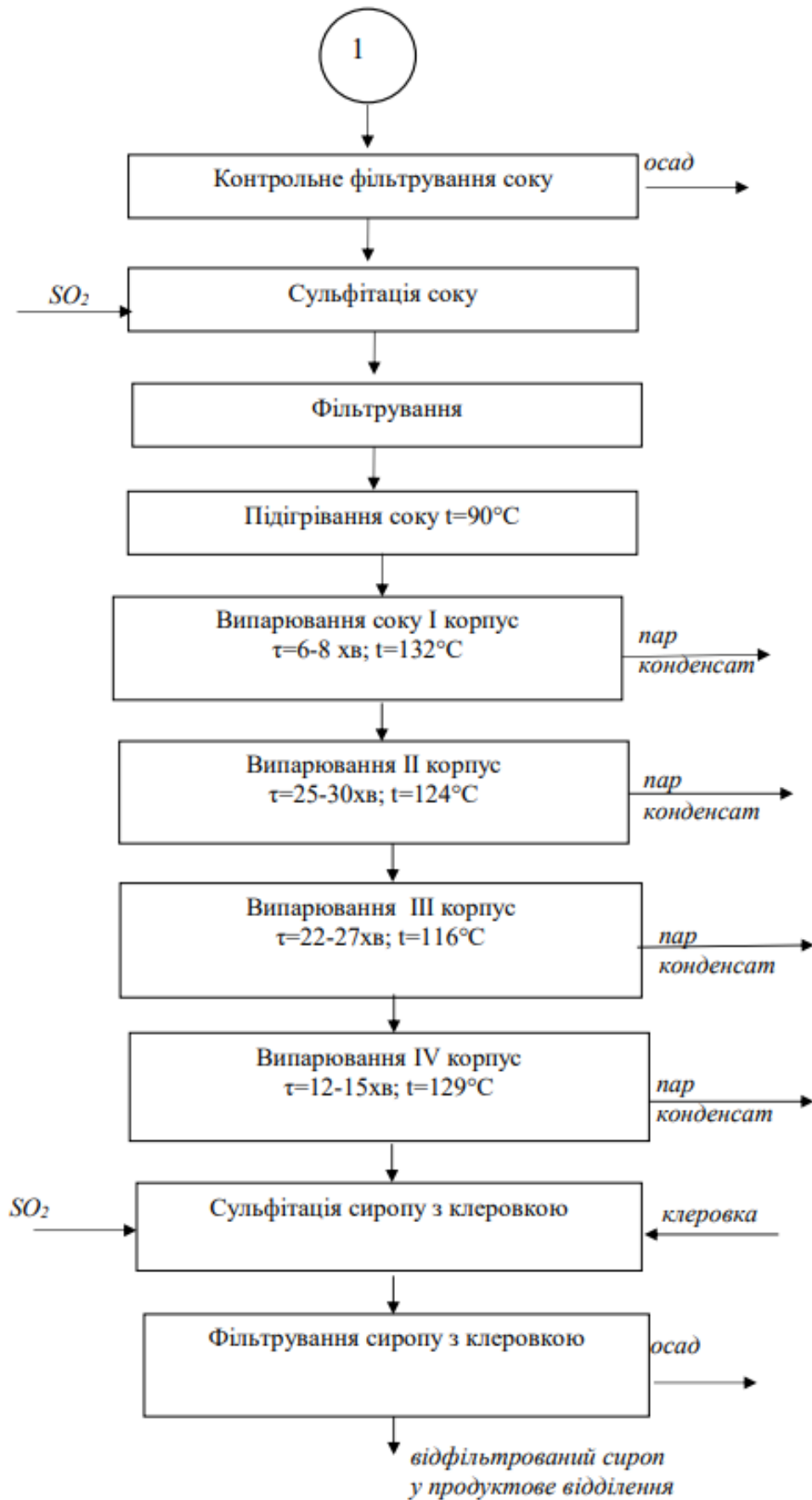


Рис. 1.4. Продовження блок-схеми процесу очищення дифузійного соку

**Перша сатурація.** Проводиться з метою додаткового очищення дефекованого соку. Її проводять в протитечії при температурі 80-85 °С протягом 10 хвилин. Сік разом із осадом надходить у сатуратор, де через нього продувають CO<sub>2</sub>. Перша сатурація відбувається у решітчастому сатураторі. Дефекований сік надходить зверху, а газ - знизу крізь решітки. Температура першої сатурації 80-85 °С при тривалості 10 хвилин. [4]

**Фільтрування I соку сатурації.** Процес фільтрування після першої сатурації проводиться на фільтрах. Попередньо сік нагрівається до 90°C на підігрівачах. Метою фільтрування є видалення осаду кальцію та отримання чистого фільтрату. Відфільтрована суспензія повертається на переддефекацію. [4]

**Дефекація.** Перед процесом II сатурації знову проводять процес дефекації. Тривалість дефекації 5 хв, температура – 92°C.

**Друга сатурація.** Метою даної стадії є зменшення вмісту вапна і солей Са в соці до мінімальної межі. Тривалість даної стадії 5 хв. Друга сатурація відбувається при температурі 91°C.

**Фільтрування II соку сатурації.** Мета фільтрування – видалення зважених частинок, що не випали у осад. Здійснюється під тиском 0,3...0,4мПа і температурі 80...90°C.

Кількість осаду в соці II сатурації в 9...10 разів менше, ніж у соку I сатурації, крім того, осад має значно кращі фільтруючі властивості. Фільтрацію соків II сатурації здійснювати на фільтр-пресах або дискових фільтрах зі швидкістю фільтрації 8 л/м 2·хв. Фільтри не промивають, а осад повертають на першу дефекацію і потім виводять із виробництва разом з осадом I сатурації.

Якість фільтрації соку II сатурації має велике значення. Попадання навіть незначної муті карбонату кальцію на сульфітацію приводить до утворення сульфіту кальцію, розчинність якого вище вуглекислого. У результаті збільшується вміст кальцію в соці, який поступає на випарювання, і на випарній станції утвориться накип, який складно видалається. Тому сік II сатурації піддають контрольній фільтрації (додатковій очисній фільтрації). [4]

### **1.3. Аналіз існуючих автоматизованих систем управління дефекосатураційним відділенням**

Основною метою автоматизації цукрового заводу є підвищення продуктивності заводу та зменшення впливу людського фактору на якість продукції, що випускається.

Досвід реалізації структури управління АСУ цукрових заводів на різноманітних програмованих логічних контролерах відомих зарубіжних виробників - Siemens, Schneider Electric, Vipa, ICP-CON та ін.

Впроваджені системи, незалежно від потужності та складності технології, завжди досягають головної мети – комплексного контролю та управління технологічними процесами з автоматизованого робочого місця – АРМ оператора, яке оснащено програмним забезпеченням, що розробляється індивідуально для кожного цукрового заводу та реалізує такі можливості:

- автоматизація процесів очищення, випаровування, сульфитації, конденсації та ін.;
- контроль і автоматичне регулювання технологічних параметрів в режимі реального часу відповідно до вимог технологічних процесів;
- управління виконавчими механізмами в автоматичному та ручному режимах;
- здійснення налаштувань регулятора відповідно до завдань регулювання технологічних параметрів;
- запобігання надзвичайним ситуаціям;
- забезпечення перегляду графіків зміни технологічних параметрів;
- забезпечення доступу до системи відповідно до наданих прав;
- ведення та перегляд історії;
- формування звітних матеріалів.

Компанія «ІННОВІНПРОМ» відома своїми розробками із створення власних програмованих логічних контролерів, автоматизованих систем та впровадження їх на підприємства, зокрема і цукрових. Дана компанія розробила

систему дистанційного автоматизованого управління цукровим заводом (RADS-S), яка призначена для автоматизації процесів на цукрових заводах, зокрема і дефекосатурацією. Система забезпечує автоматичний контроль роботи обладнання, облік необхідних технологічних затримок, дотримання технологічних алгоритмів.

При побудові систем дистанційного автоматизованого керування цукровим заводом були враховані наступні основні принципи:

- висока надійність системи;
- модульність системи;
- повторюваність при реалізації;
- найкоротші терміни реалізації;
- простота налаштування та обслуговування.

В цій системі, програмовані логічні контролери (ПЛК) виконують функції управління обладнанням, контролюють його стан та обробляють аварійні ситуації. У програмному забезпеченні ПЛК використовуються типові алгоритмічні модулі (функціональні блоки) для основних типів виконавчих пристроїв і типових завдань керування. При будівництві RADS-S передбачається можливість використання до 32 ПЛК одночасно. Ця архітектура має ряд переваг порівняно з класичною однопроцесорною системою:

- більш висока надійність системи за рахунок розподілу структури (територіально по WP, функціонально по навантаженню/розвантаженню, типу зберігання і т.д.);

- практично немає обмежень на кількість каналів введення/виведення;
- вартість системи нижча за рахунок зниження вартості ПЛК і зменшення трудовитрат на його програмування (як правило, використовується функціонально ненасичений, простий у програмуванні ПЛК з мінімально достатніми технічними параметрами). Програмне забезпечення призначене для управління технологічними процесами цукрового виробництва та візуалізації на екрані операторської станції в режимі реального часу повної та достовірної інформації про хід технологічного процесу (рис. 1.5). Програмне забезпечення

виконано відповідно до стандартів та рекомендацій щодо розробки сучасного програмного забезпечення та працює в середовищі ОС GNU/Linux [5].

ДП "ЦУКРОАВТОМАТ-ІНЖ" було реалізовано систему автоматизації станції дефекосатурації [6]. Система призначена для автоматичного регулювання та підтримування необхідного технологічного регламенту роботи станції дефекосатурації, а також для збору, обробки та відображення інформації про перебіг технологічного процесу за весь виробничий сезон (рис. 1.6).

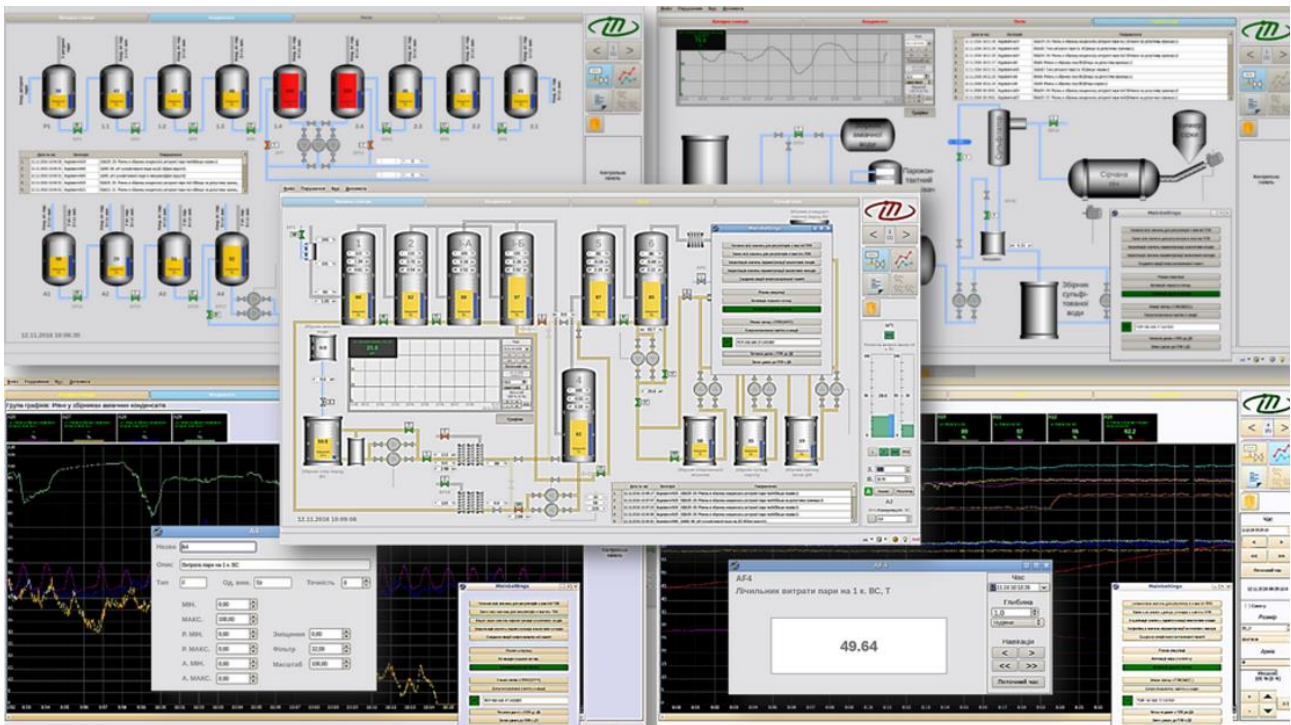


Рис. 1.5. Мнемосхеми візуалізації управління технологічними процесами цукрового виробництва

Система забезпечує [6]:

- стабілізацію витрат дифузійного соку;
- регулювання витрат вапняного молока та повернення соку I сатурації на дефекацію за співвідношенням до витрати дифузійного соку або за завданням;
- підтримання заданого значення рН соку в переддефекаторі подачею вапняного молока;
- регулювання температури соку на дефекацію, на фільтри I сатурації, II сатурацію;

- стабілізацію тиску сатураційного газу в колекторі;
- підтримання заданого значення рН соку I та II сатурації подачею сатураційного газу;
- контроль та регулювання рівнів у збірниках та апаратах;
- продувку технологічного обладнання;
- контроль роботи приводів насосів та мішалок;
- запис історії процесу;
- сигналізацію аварійних ситуацій.



Рис. 1.6. Мнемосхема візуалізації станції дефекостаурації

**Магмас-Автоматик. Волоконовський цукровий завод. Система автоматизації станції дефекосатурації [7].**

Обладнання, охоплене системою автоматизації:

- преддефекатор Брігель-Мюллера
- холодний дефекатор
- гарячий дефекатор (2 котли)
- дефекатор перед 2 сатурацією
- котел 1 сатурації зі збірниками соку й насосами
- котел 2 сатурації зі збірниками соку й насосами
- збірники соку перед ВУ

Основні складові системи:

- операторське приміщення зі щитами управління й комп'ютером оператора

- SCADA-сервер, забезпечує підключення оператора й інших абонентів в локальній мережі й через Internet
  - 2 щити управління зі станціями управління СУІМ 0/20 на кожному контурі аналогового регулювання
  - датчики: тиску та рівню Aplisens, термометри Елемер, витратоміри Siemens, рН Endress+Hauser
  - виконавчі механізми: частотні перетворювачі Danfoss, затвори дискові Bray
- В основі системи - контроллери TSX Premium P572634 з інтегрованим портом Ethernet, об'єднані мережею Modbus/TCP/Ethernet й програми Unity Pro.

Основні функції системи [7]:

- регулювання витрати вапняного молока в преддефектор, холодний дефектор і дефектор перед 2 сатурацією по відношенню до витрати дифузійного соку
- регулювання витрати суспензій соків 1 та 2 сатурації в преддефектор
- регулювання витрати дефекованого соку на 1 сатурацію
- регулювання витрати фільтрованого соку 1 сатурації на 2 сатурацію
- регулювання рН соку 1 та 2 сатурації
- регулювання тиску вапняного молока й сатураційного газу в колекторах
- контроль рівню в збірниках
- контроль стану електроприводів преддефектора, холодного та гарячого дефекторів
- управління продувкою основних апаратів відділення.

**Магмас-Автоматик. Гнідавський завод. Система автоматизації станції сатурації [8].**

Обладнання, охоплене системою [8]:

- гарячий дефектор (2 котли)
- котел I сатурації із збірниками соку та насосами
- котел II сатурації із збірниками соку та насосами

Основні складові системи:

- робоче місце оператора із комп'ютером і мнемосхемою SCADA

- щит управління «Дефекосатурація» із станціями управління СУІМ 0/20-05 на кожному контурі аналогового регулювання
- щит перетворювачів ЕП
- датчики: тиску, рівня Aplisens, витратоміри ВЗЛЕТ та Siemens, термометри ТЕРА, рН-метри Honeywell,
- затвори ТУСО

В основі системи контролер TSX Premium P57203M

Основні функції системи (рис. 1.7) [8]:

- регулювання витрати фільтрованого соку I сатурації на II сатурацію
- регулювання рН соку I та II сатурації
- регулювання тиску CO<sub>2</sub> в колекторі
- контроль рівня в збірниках
- управління продувкою сатураторів и гарячого дефекатора

Особливості системи:

- надійність та безперервність вимірювання і регулювання рН соків забезпечена встановленням двох датчиків рН. Покази датчиків безперервно порівнюються з метою виявлення відхилень. При відключенні датчика для обслуговування, регулювання переключасться на другий датчик

- для покращення якості регулювання подачі сатураційного газу в сатуратори встановлено два затвори («Великий» та «Малий»). Положення «Великого» затвору оператор дистанційно корегує так, щоб "Малий" затвор знаходився в діапазоні 30..40% відкриття

- регулювання витрати фільтрованого соку I сатурації на II сатурацію виконано таким чином, щоб на ньому не проявлялись періодичні відключення з потоку кожного фільтра П9-УФЛ при регенерації.

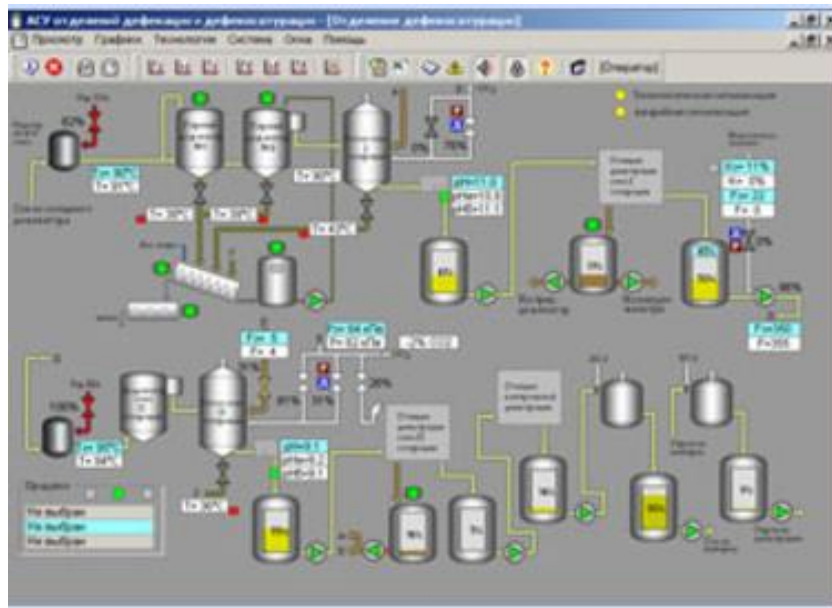


Рис. 1.7. Мнемосхема сатураційного відділення Гнідавського цукрового заводу

#### 1.4. Постановка задачі дослідження

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності цукрового виробництва шляхом створення автоматизованої системи керування відділенням дефекосатурації з використанням інтелектуальних технологій.

У відповідності до цієї мети необхідно розв'язати такі основні задачі:

- провести загальну характеристику систем автоматизації цукровим виробництвом, технологічним процесом та існуючим системам автоматизації процесу дефекосатурації;
- розробити загальну модель ієрархії обладнання, функціональну структуру АСУ відділення дефекосатурації;
- побудувати структурну схему комплексу технічних засобів, провести опис функцій, що автоматизуються, описати інформаційне забезпечення;
- розробити підсистему управління процесом II сатурації, а саме: розробити схему автоматизації, скомпонувати ПЛК та засоби РІО; розробити електричні принципи схеми управління та сигналізації;
- застосувати інтелектуальні технології на базі штучного інтелекту для відділення дефекосатурації.

## РОЗДІЛ 2

# ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ ПРО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ

### 2.1. Розробка загальної моделі ієрархії обладнання

Світова практика впровадження впровадження інтегрованих систем керування виробничим підприємством показала значне підвищення ефективності роботи за рахунок зменшення виробничих простоїв, енергозатрат, оптимізації енергетичних та матеріальних потоків тощо [9]. За останні роки відбулися значні зміни у напрямку часткової автоматизації технологічних процесів до створення єдиного інтегрованого виробництва. Як результат, були затверджені ряд міжнародних стандартів, які описані у великій кількості праць [10-12]. Значний внесок було зроблено некомерційною організацією MESA International [13], організацією ISA (International Society of Automation) [14].

Найбільш важливими стандартами в яких систематизовано кращі практики щодо розробки інтегрованих автоматизованих систем керування (ІАСК) виступають американські стандарти ANSI/ISA-85 [15-17] та світові аналоги ІЕС-62264 (МЕК-62264), які адаптовані відповідно до стандарту ISA. Функціональна структура поверхнево описано у Розділі 1, згідно стандарту ISA-95, ієрархія керування виробничим підприємством описується 4-ма рівнями: 1-й та 2-й рівні призначені безпосередньо для керування технологічними процесами, 3-й рівень – керування виробничими операціями (МOM), 4-й рівень – охоплює бізнес-планування та логістику.

На сьогоднішній день, група стандартів ISA охоплює діяльність 3-х нижніх рівнів ієрархії керування виробничим підприємством [9]:

1. ISA 95.01 та ISA 95.02 – моделі даних для обміну між 3-м та 4-м рівнями
2. ISA 95.03 та ISA 95.04 – моделі даних обміну між функціями 3-го рівня та в деякій мірі обміну з 2-м рівнем

3. ISA 95.05 – високорівневий протокол для обміну даними між 3-м та 4-м рівнями
4. ISA 88.01- ISA 88.05 – стандарти, що використовуються для керування періодичними процесами
5. ISA TR88.02 – версія адаптації стандартів ISA-88 для задач пакування продукції, тобто дискретних процесів
6. ISA TR88-95.00.01 – технічний звіт про сумісне використання стандартів ISA-88 та ISA-95
7. ISA TR106 – технічний звіт по розробці стандартів керування неперервним виробництвом

Основна ідея щодо керування виробничим підприємством для можливого аналізу плинного стану повинна бути описана набором взаємопов'язаних моделей. Ключова ідея цих стандартів полягає в означенні цих моделей на різних рівнях керування. Також, стандарти дають чітку інструкцію, як представити виробничі ресурси підприємства, їх стан, потенціал та як провести декомпозицію функцій моніторингу та керування виробничими процесами, планувати випуск готової продукції [9].

Узагальнено, керування виробничими операціями можна описати наступним набором взаємопов'язаних моделей [9]:

- означення продукту;
- доступні ресурси;
- виробничий план;
- фактичні показники виробництва, тобто як саме проходить безпосереднє виробництво продукту.

Нова версія стандарту ISA-95 містить не тільки опис використання подібних моделей не тільки для опису керування виробничими операціями (Production Operations Management), а й опис діяльності щодо керування операціями технічного обслуговування (Maintenance Operations Management), керування операціями контролю якості (Quality operations management) та керування операціями матеріально-технічного обслуговування [9].

Для виробництва певного продукту чи то виробу необхідні ресурси, які згідно стандарту описуються набором моделей. У стандартах ISA-88 та ISA-106 окремо виділеними ресурсами виступають обладнання (Equipment), яке відповідає за виготовлення продукції. Усі інші ресурси, такі як необхідні матеріали, енергетичні ресурси та персонал в даному випадку виступають як параметри керування обладнанням. У даній моделі під «обладнанням» розуміється певна сутність, якій належить своя роль у виробничих операціях та включає функції керування, які автоматизують їх. Таке об'єднання функцій керування із фізичним обладнанням згідно ISA-88 називається апаратним об'єктом. Апаратний об'єкт поєднує у собі функції керування, які використовуються для виконання певних операцій на конкретному обладнанні [9].

Модель ієрархії обладнання для цукрового заводу наведена на рис. 2.1. Дана модель відображає три рівні ієрархії, що виділені за організаційно-економічними показниками.

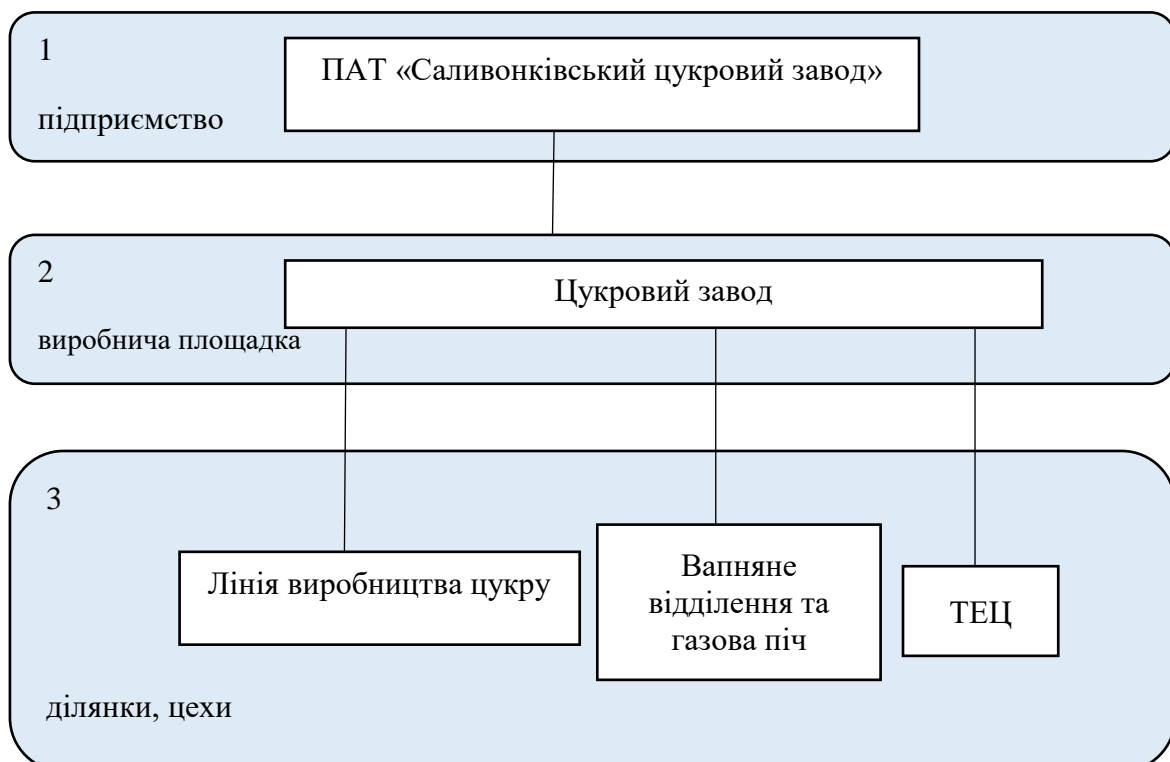


Рис. 2.1. Ієрархічна модель обладнання цукрового заводу відповідно до стандарту ISA-95

Ієрархічна модель обладнання для нижніх рівнів (4-6) цукрового заводу показана на рис 2.2. з деталізацією відділення дефекосатурації, яке було обрано для магістерської роботи.

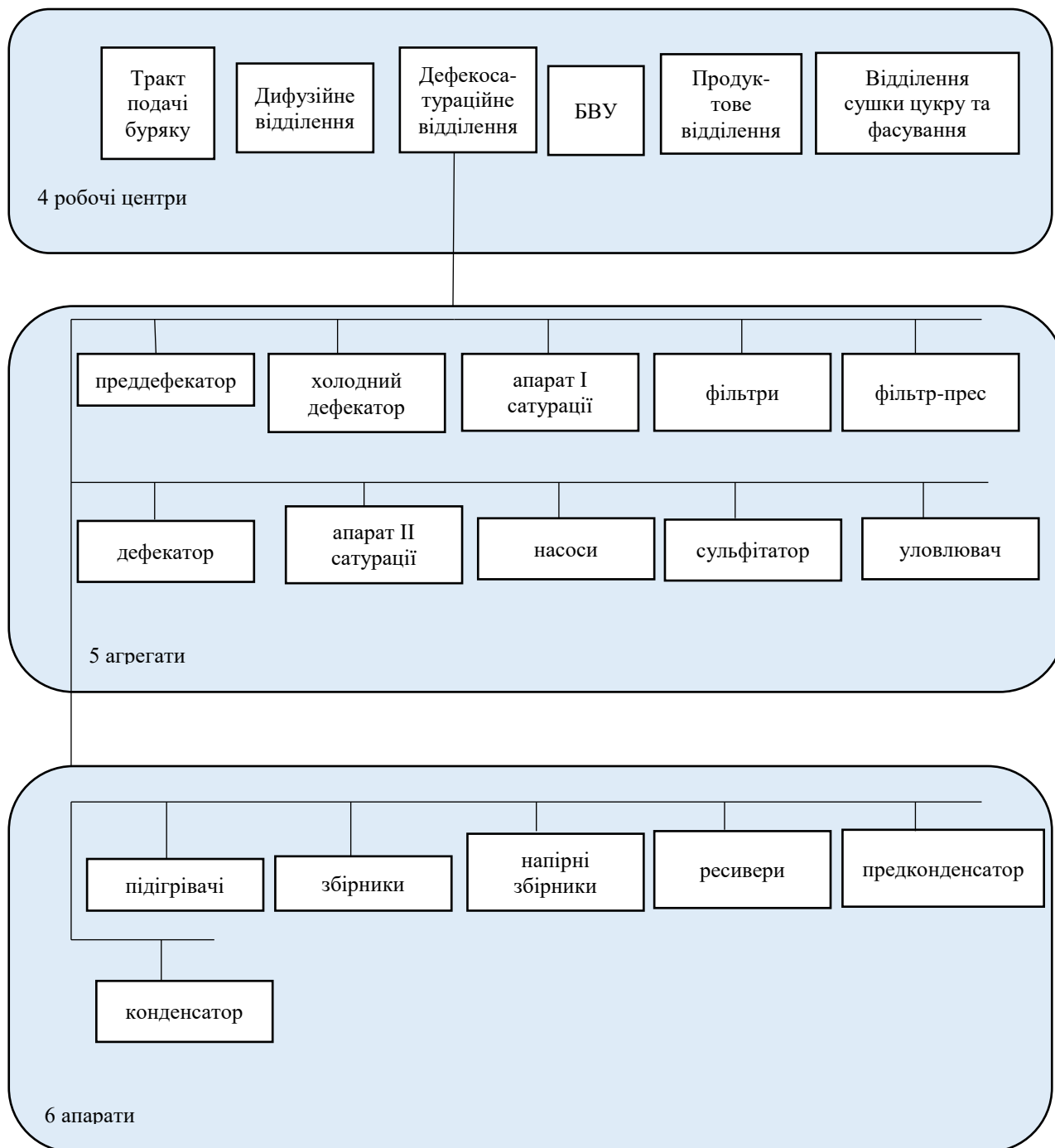


Рис. 2.2. Нижні рівні ієрархічної моделі обладнання відділення дефекосатурації цукрового заводу відповідно до USA-106

## 2.2. Функціональна структура АСУ відділенням дефекосатурації цукрового заводу

Функціональна структура автоматизованої системи керування відіграє важливу роль для функціональної інтеграції між рівнями, в якій визначаються загальні задачі, а також їх декомпозиції - підзадачі з метою синтезу вже існуючих функцій в єдину. Функціональна структура будується на основі вхідних даних, які являють собою характеристика об'єкта автоматизації у вигляді цілого виробництва чи окремої ділянки та вимог до нього.

До складу функціональної структури включаються всі його складові та функції, які будуть автоматизуватись. Функції та інформаційні зв'язки показуються на функціональній структурі у вигляді взаємопов'язаних інформаційних потоків. Відповідно до ГОСТ 24.210-82 та РД 50-34.698.90 вона включає:

- елементи функціональної структури АСУТП виробництва в цілому або окремо виділеної ділянки виробництва; автоматизовані функції, задачі; сукупність дій (операцій), що виконуються лише технічними засобами (автоматично) або лише однією особою при реалізації автоматизованої функції;

- інформаційні зв'язки між елементами структури, що вказують на зміст повідомлення та/або сигнали, надіслані за посиланнями;

- детальні схеми частин функціональної структури (якщо потрібно).

Для побудови функціональної структури відділення дефекосатурації цукрового заводу (рис. 2.3- рис. 2.4) використовуються блочні та графові моделі інформаційних потоків, показується збережені ієрархічні рівні управління. На 0-му рівні показуються польові засоби, на 1-му – контролери, на 2-му – SCADA/HMI, на 3-му – складові управління виробництвом.

Інформаційні потоки між функціями і задачами показуються у вигляді стрілок, які вказують на напрямок передачі інформації, які об'єднуються по загальному функціональному призначенню з відповідними ним позначеннями. Так, на схемі (рис. 2.4), для рівня польових ТЗА, виділено загалом три типи

функцій: вимірювання або первинне перетворення (E); реалізація управляючих дій з використанням виконавчих механізмів (V); інші типи перетворення (Y). Усі інші функції вказуються та деталізуються на схемах автоматизації. Всі функції рівня контролерів виділені в дві групи: автоматичного управління (C), включаючи функції дискретного управління; збір та обробка даних на рівні контролерів (Y), включаючи цифрові інтерфейсні зв'язки. Усі інші групи функцій (наприклад сигналізація, архівування, тощо) в даному випадку не використовуються. Для рівня SCADA/HMI та диспетчерського управління, всі функції виділені в такі групи: збір та обробка даних реально часу (Y), дистанційне управління та зміна режимів роботи з ЛМІ (НС), відображення на засобах ЛМІ (I), ведення трендового архіву (Rtr), ведення журналу повідомлень (Rlg), ведення журналу подій та алармів (Alg), сигналізація (A).

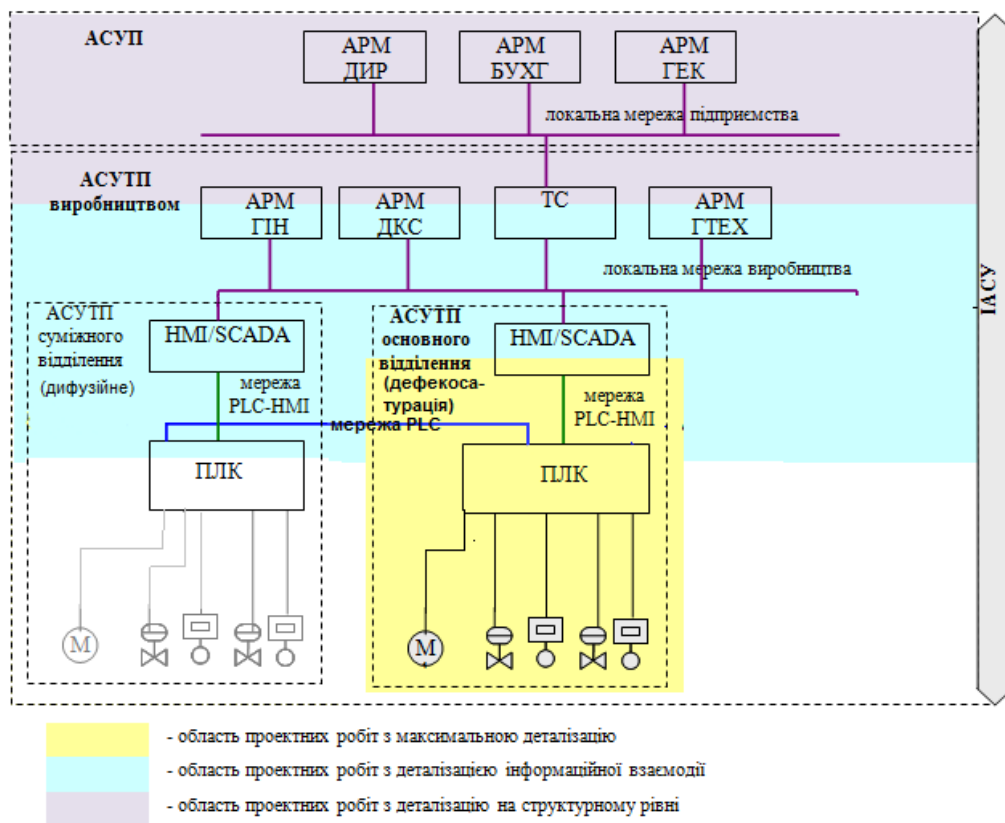


Рис.2.3. Область проектних робіт

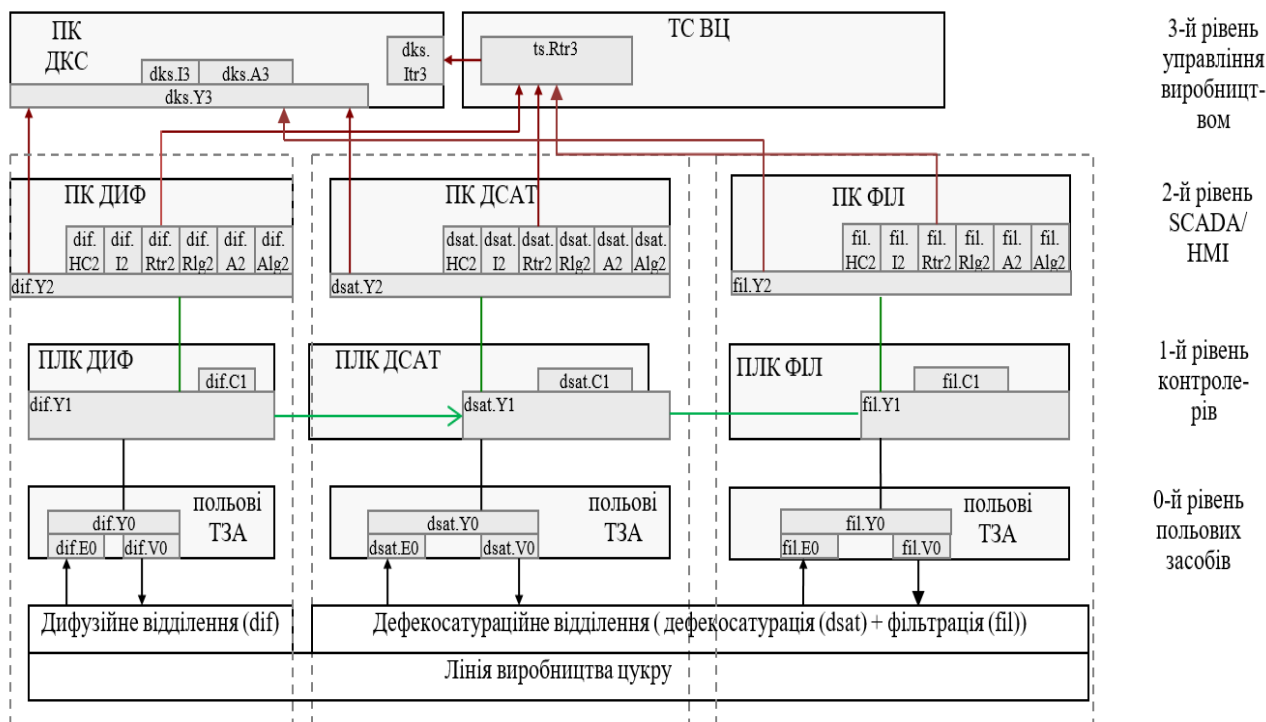


Рис.2.4. Функціональна структура інтегрованої АСУ суміжного дифузійного відділення та дефекосатураційного

Таблиця 2.1. Таблиця умовних позначень до схеми функціональної структури суміжного дифузійного та дефекосатураційного відділень

Позначення	Найменування
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
dif	відділення дифузії
dsat	процес дефекосатурації
fil	процес фільтрації
ПЛК ДИФ	мікропроцесорний контролер для дифузійного відділення
ПЛК ДСАТ	мікропроцесорний контролер для 1-ї та 2-ї дефекосатурації
ПЛК ФІЛ	мікропроцесорний контролер для 1-ї та 2-ї фільтрації
ПК ДИФ	АРМ оператора дифузії (на базі комп'ютера)
ПК ДСАТ	АРМ оператора процесу дефекосатурації (на базі комп'ютера)
ПК ФІЛ	АРМ оператора процесу фільтрації (на базі комп'ютера)
ПК ДКС	диспетчерсько-координуюча станція – АРМ начальника зміни на базі комп'ютера
ТС ВЦ	технологічний сервер виробництва цукру - сервер архівів основних виробничих параметрів
dif.E0, dsat.E0, fil.E0	вимірювальне перетворення
dif.V0, dsat.V0, fil.V0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
dif.Y0, dsat.Y0, fil.Y0	перетворення та обробка інформації на польовому рівні, включаючи цифрові інтерфейсні зв'язки
dif.Y1, dsat.Y1, fil.Y1	збір та обробка даних на рівні контролерів, включаючи цифрові інтерфейсні зв'язки

dif.C1, dsat.C1, fil.C1	автоматизоване регулювання та управління технологічним процесом, включаючи дискретне управління
dif.Y2, dsat.Y2, fil.Y2, dks.Y3	збір та обробка даних на рівні SCADA/HMI (база даних реально часу)
dif.HC2, dsat.HC2, fil.HC2	дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів, включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач, зміна режимів роботи регуляторів
dif.I2, dsat.I2, fil.I2	відображення для контролю за технологічним процесом
dks.I3	відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом
dks.Itr3	відображення архівних даних по всьому виробництву
dif.Rtr2, dsat.Rtr2, fil.Rtr2	ведення трендового архіву технологічного процесу
dks.Rtr3	ведення трендового архіву виробництва
dif.Rlg2, dsat.Rlg2, fil.Rlg2	ведення журналу повідомлень
dif.A2, dsat.A2, fil.A2	контроль стану обладнання, сигналізація (аларми та події)
dif.Alg2, dsat.Alg2, fil.Alg2	ведення журналу подій та алармів

Деталізовані схеми частин функціональної структури, до прикладу відносно окремих взаємопов'язаних функцій, які отримують внаслідок декомпозиції загальних функцій, описуються окремо. Деталізована схема розробляється для функцій, котрі пов'язані з координацією роботи відділень, одне з яких являється основним.

### 2.3. Опис функцій, що автоматизуються

Для пояснення схеми функціональної структури для відділення дефекосатурації, необхідно описати автоматизовані функції. В описі вказуються перелік всіх функцій та задач, описуються вимоги до періодичності їх виконання, перелік сигналів та даних, які будуть формувати відповідні інформаційні зв'язки між відповідними складовими технологічного процесу, також вказуються періодичність опитування відповідних функцій.

В даній роботі перелік функцій та(або) задач показуються у табличній формі для дефекосатураційного відділення процесу II сатурації. Функції формуються та означаються на основі технологічних параметрів технологічного процесу II

Таблиця 2.2. Перелік змінних для АСУТП ДСАТ

№ п/п	Найменування змінної	Польові ТЗА ДСАТ		ПЛК ДСАТ		SCADA ДСАТ						
		Dsat.E0	Dsat.V0	Dsat.Y 1	Dsat.C1 6	Dsat.Y2 7	Dsat.I2 8	Dsat.H C2 9	Dsat.Rtr 2 10	Dsat.Rlg 2 11	Dsat.A2 12	Dsat. Alg2 13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	F defeкованого соку дійсне	-50.. 200 <sup>0</sup> C	-	IN	Dif.T1C1	IN	1c	-	10c,1mic	-	<65 <sup>0</sup> C >70 <sup>0</sup> C	1 mic
2.	F defeкованого соку задане											
3.	Temp II сатурації дійсне	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	1c	+	10c,1mic	1 mic	-	-
4.	Temp II сатурації задане	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	1c	+	10c,1mic	1 mic	-	-
5.	Кл подачі пари в підігрівач	-	0-100%	OUT	Dif.T1C1	IN/OUT	1c	+	10c,1mic	-	-	-
6.	Reg Temp p/a	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	змін, 1mic	1mic	-	-
7.	Reg Temp Min	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	10c,1mic	-	-	-
8.	Reg Temp Max	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	10c,1mic	-	-	-
9.	Reg Temp Kp	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	-	-	-	-
10.	Reg Temp Ti	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	-	-	-	-
11.	F вапняного молока дійсне											
12.	F вапняного молока задане											
13.	Кл подачі CaO	-	0-100%	OUT	Dif.T1C1	IN/OUT	1c	+	10c,1mic	-	-	-
14.	Reg F вапн. мол. p/a	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	змін, 1mic	1mic	-	-
15.	Reg F вапн. мол. Min	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	10c,1mic	-	-	-
16.	Reg F вапн. мол.	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	nc	+	10c,1mic	-	-	-

	Max											
17.	Рег F вапн. мол.Кр	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
18.	Рег F вапн. мол. Ті	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
19.	рН I сатурації											
20.	рН II сатурації											
21.	Вміст CO <sub>2</sub>											
22.	P подачі CO <sub>2</sub>											
23.	Кл подачі CO <sub>2</sub>	-	0-100%	OUT	Dif.T1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
24.	Рег P CO <sub>2</sub> р\а	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	змін, 1міс	1міс	-	-
25.	Рег P CO <sub>2</sub> Min	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
26.	Рег P CO <sub>2</sub> ах	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
27.	Рег P CO <sub>2</sub> Кр	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
28.	Рег P CO <sub>2</sub> Ті	-	-	-	Dif.T1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
29.	Рівень в збірнику неф. соку II сатурації											

сатурації та параметрів виконавчих механізмів на різних апаратах. У табл. 2.2. наведені змінні для АСУТП ДСАТ.

Для польових засобів ТЗА процесу II сатурації вказуються межі вимірювання технологічних параметрів датчиків та виконавчих механізмів.

Для ПЛК ДСАТ показано дві функції: функція «Dsat.C1» поєднує у собі всі функції та задачі, які виконуються на ПЛК ДСАТ, а також зазначається місце, де ця змінна використовується, а «Dsat.Y1» відображає напрямок передачі сигналу.

SCADA ДСАТ в якості полів має функції: «dsat.Y2» показує напрямок передачі даних; для «dsat.I2» зазначається періодичність оновлення даних на екрані оператора; для «dsat.HC2» - можливість управління оператором; для «dsat.Rtr2» - задається періодичність, з якою відбувається запис до трендового архіву; для «dsat.Rlog2» - задається глибина архіву важливих повідомлень; для «dsat.A2» - задаються умови спрацювання алармів, тобто критичних параметрів; «dsat.Alog2» - задається глибина архіву повідомлень про аварію. «-» на полях означає відсутність використання функції.

Функції АСУТП виробництва цукру, а саме параметри процесу II сатурації наводяться в контексті важливості для відображення на вузлах ПК ДКС та ТС. Перелік змінних для SCADA ДКС та СУБД ТС наведені у табл. 2.3 та табл. 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3. Перелік змінних для SCADA ДКС

№	Найменування змінної	Джерело	SCADA ДКС			Примітка
			DKS.Y3	DKS.I3	dks.A3	
1.	Витрата диф. соку на 1 сатурацію	dif.Y2	IN	1 с.	<50 м <sup>3</sup> /год	
2.	Тиск CO <sub>2</sub> в колекторі	dsat.Y2	IN	1 с.	<50 кПа	
3.	pH соку 1 сатурації	dsat.Y2	IN	1 с.	<10.9 >11.5	
4.	Витрата вапна на сатурацію	dsat.Y2	IN	1 с.	<20	
5.	Витрата диф.	dsat.Y2	IN	1 с.	<340 с	

	соку на 2 сатурацію					
6.	pH соку 2 сатурації	dsat.Y2	IN	1 с.	<9.1 >9.2	

Таблиця 2.4. Перелік змінних для СУБД ТС

№	Найменування змінної	Джерело	ТС (ts.Rtr3)			Примітка
			період	глибина	формат	
1.	Витрата диф. соку на дефекосатурацію	dif.Y2	1 хв.	1 міс.	0000.0	розр. в dif.Y2
2.	Витрата диф. соку на дефекосатурацію сер. за 1 год.	dif.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
3.	Витрата диф. соку на дефекосатурацію макс. за 1 год.	dif.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
4.	Витрата диф. соку на дефекосатурацію за добу	dif.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
5.	pH після 1 сатуратора	sat.Y2	1 хв.	1 міс.	0000.0	розр. в sat.Y2
6.	pH після 1 сатуратора сер. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
7.	pH після 1 сатуратора мін. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
8.	pH після 1 сатуратора макс. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
9.	Витрата вапна на сатурацію мін. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
10.	Витрата вапна на сатурацію сер. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
11.	Витрата соку на 2 сат. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.

12.	Витрата соку на 2 сат. сер. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
13.	Витрата соку на 2 сат. макс. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
14.	Витрата соку на 2 сат. за зміну	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
15.	Витрата соку на 2 сат. за добу	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
16.	Температура соку перед 2 сат.	dsat.Y2	1 хв.	1 міс.	0000.0	розр. в sat.Y2
17.	Температура соку перед 2 сат. сер. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
18.	Температура соку перед 2 сат. мін. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
19.	Температура соку перед 2 сат. макс. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
20.	pH після 2 сатуратора	dsat.Y2	1 хв.	1 міс.	0000.0	розр. в sat.Y2
21.	pH після 2 сатуратора сер. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
22.	pH після 2 сатуратора мін. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.
23.	pH після 2 сатуратора макс. за 1 год.	dsat.Rtr2	30 хв.	5 років	0000#	розр. SQL проц.

#### 2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) охоплює всі рівні АСУТП, окрім нижнього, тобто польового, рівня, адже він відображений на семі автоматизації. В магістерській роботі, структурна схема КТЗ показується на основі розробленої функціональної структури інтегрованої АСУ суміжного дифузійного відділення та дефекосатураційного.

На структурній схемі КТЗ елементи та засоби автоматизації показуються у вигляді прямокутників із відповідними умовними позначеннями, які описуються у відповідних таблицях. Зв'язок між елементами відбувається за допомогою ліній із відповідним маркуванням.

Структурна схема КТЗ суміжного дифузійного відділення та дефекосатураційного охоплює середній рівень, який представляється програмованими логічними контролерами із відображенням відповідних комунікаційних портів та роз'ємів. Верхній рівень представляється промисловими та персональними комп'ютерами, а зв'язок між рівнями відбувається через локальну промислову мережу [18].

Основним способом зв'язку в сучасних системах управління слугує локальна промислова мережа та засоби управління. Тому, в таких системах використовуються промислові стандарти локальних обчислюваних мереж. Це дозволяє об'єднувати всі засоби управління і організовувати багатосторонній обмін інформацією між ними [18].

При проектуванні систем управління необхідно обрати конкретний стандарт мережі і відповідне йому обладнання для цієї реалізації. Це можуть бути мережеві адаптери, концентратори, комунікаційні процесори тощо.

Структурна схема КТЗ наочно відображає [18]:

- ієрархію системи управління;
- зв'язки засобів управління із самими об'єктом управління;
- зв'язки засобів управління з оперативним персоналом;
- апаратний склад системи.

Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ ТП суміжного відділення дифузії та відділення дефекосатурації показана на рис. 2.5. Специфікація приладів наведена у табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Специфікація мережних засобів та вузлів

№ п/п	Позначення	Найменування	Назва/вироб-ник	К-ть
1	ПК ДКС	Офісний ПК IBM PC сумісний	MD Ryzen 7 7700 (8 (16) ядер по 3.8 - 5.3 GHz) / 32 GB DDR5 /	1 шт

			1000 GB SSD M.2 / nVidia GeForce RTX 4070 SUPER, 12 GB GDDR6X, 192	
2	ПК ДИФ, ПК ДСАТ, ПК ФІЛ	Офісний ПК IBM PC сумісний	AMD Ryzen 5 3600 (6 (12) ядер по 3.6 - 4.2 GHz) / 16 GB DDR4 / 500 GB SSD M.2 + 2000 GB HDD / AMD Radeon RX 6 8 GB GDDR6, 128-bit / 650W	3 шт
3	ТС ВЦ	Офісний ПК IBM PC сумісний	MD Ryzen 7 7700 (8 (16) ядер по 3.8 - 5.3 GHz) / 32 GB DDR5 / 1000 GB SSD M.2 / nVidia GeForce RTX 4070 SUPER, 12 GB GDDR6X, 192	1 шт
4	ПЛК ДИФ, ПЛК ДСАТ, ПЛК ФІЛ	Програмований логічний контролер Modicon M340	TSX P34 2020	3 шт
5	SW1	8-портовий комутатор 10/100M Ethernet	Came Labs Switch	1 шт
6	LAN	Роз'єм для підключення до Ethernet	RJ-45	8 шт.
7	КМ1.1 – КМ1.8	Кабель екранована подвійна вита пара 5-ї категорії з роз'ємами RJ45	IE FC TP кабеля 4x2	120 м
8	M1	Локально обчислювальна мережа лінії виробництва цукру	Ethernet 100Base – TX/ Modbus TCP/IP	-

Безпосереднє управління процесами відбувається за допомогою ПЛК ДИФ та ПЛК ДСАТ, ПЛК ФІЛ, які виконують функції дискретного та програмного управління.

На верхньому рівні розташовані ПК ДИФ, ПК ДСАТ та ПК ФІЛ, які входять до складу автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора технологічного процесу. ЕОМ виконують функції індикації, реєстрації

параметрів процесу, а також операторське управління технічними засобами автоматизації та іншими засобами технологічного устаткування.

Також, верхній рівень представлений ТС ВЦ та ПК ДКС, для забезпечення передачі даних для управління виробництвом в цілому.

Для забезпечення функцій локальної обчислювальної мережі обрано мережу Ethernet, з використанням подвійної екранованої виті пари. Кабель відповідає специфікації 100BASE-TX. Мережа Ethernet має топологію шина та швидкість передачі даних 100 Мбіт/с.

Нижній рівень реалізовано за допомогою контролерів Modicon M340, які мають вбудований порт Ethernet TCP/IP для підключення їх до мережі Ethernet Modbus TCP/IP. Мережа Modbus TCP/IP базується на стеку протоколів TCP/IP і призначена для роботи на базі Ethernet. Modbus TCP/IP описаний у специфікаціях Modbus IDA, в яких комунікаційна система може включати різні типи пристроїв:

- Modbus TCP/IP клієнт-серверні підключення до TCP/IP мережі;
- між мережеві пристрої для з'єднання TCP/IP мережі із послідовними лініями підмереж, що дозволяє обмінюватися даними із Modbus Serial серверними пристроями.

## **2.5. Опис інформаційного забезпечення**

Основним напрямом розвитку та вдосконаленням сучасних систем автоматизації є створення інтегрованої системи управління виробництвом, які б вирішували та покращували інтеграцію традиційних АСУТП та АСУП з метою створення єдиного інтегрованого інформаційного простору підприємства задля забезпечення об'єктивної та оперативної інформації щодо стану підприємства в цілому, оперативного прийняття ефективних рішень. Тому, основною проблемою виступає питання сумісного функціонального забезпечення технічного та програмних рівнів. На сьогоднішній день, цю проблему вирішує використання відкритих технологій. [19-22].

Функціонування системи в цілому залежить, в першу чергу, від правильної побудови та організації ефективного застосування всіх ресурсів та їх складових. Це виступає як допоміжна вимога при проєктуванні комп'ютерно – інтегрованих систем управління (КІСУ), тобто правильний вибір самої структури управління, способу інтеграції тощо [22]. Тому, важливою є проєктна документація, яка стосується безпосередньо процесів обміну інформаційним потоками між елементами інтегрованої системи.

Схема мережних інформаційних потоків виконується на основі схеми з'єднань пристроїв мереж. Основною задачею даної схеми є відображення інформаційних потоків із точки зору програмного забезпечення.

Схема мережних інформаційних потоків повинна показувати [19]:

- уявлення про обмін даними у мережах різного рівня;
- оптимальну стратегію зв'язку із мінімальними потоками, можливі конфліктні ситуації;
- технічне завдання для програмістів у певних частинах проєкту.

Важливо не насичувати схему мережних інформаційних потоків надлишковою інформацією, а оптимально побудувати процеси обміну інформацією.

Для правильної побудови такої схеми повинно бути розуміння основних принципів роботи мережевого обладнання, протоколів обміну, ПЗ вузлів тощо.

На ній показуються [19]:

- інформаційні потоки з відповідними номерами;
- блоки даних, якими оперує інформаційний потік як на стороні вихідних так і кінцевих даних;
- мережеві сервіси, через які проходять інформаційні потоки;
- комунікаційні логічні канали пристроїв та програмного забезпечення, через які проходять інформаційні потоки: драйвер, логічний канал, адреса, тощо.

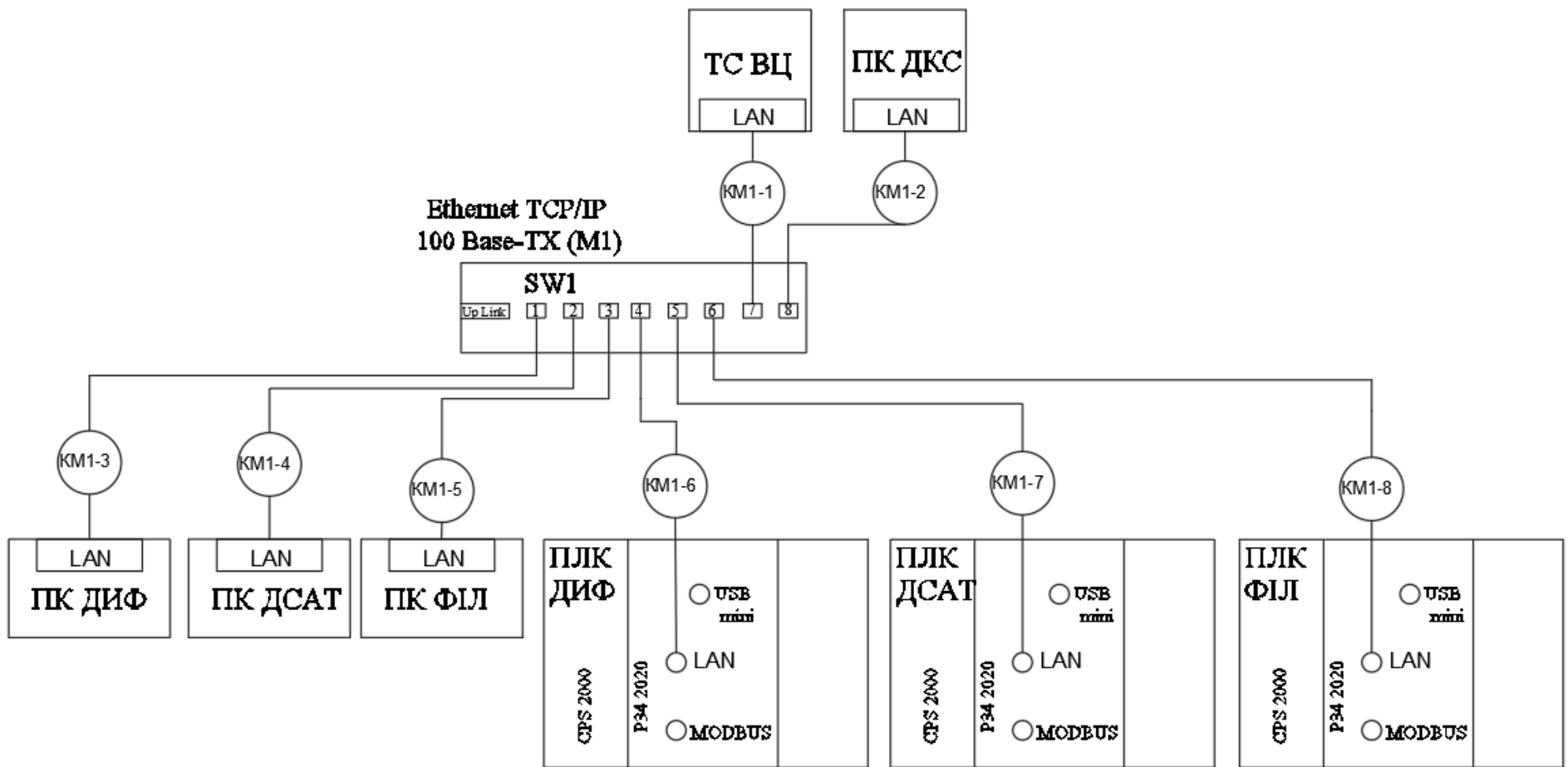


Рис. 2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів АСУ ТП суміжного відділення дифузії та відділення дефекосатурації

- уточнюючі характеристики інформаційних потоків, тобто відображення ініціювання запитів (тип клієнт/сервер) та напрямок передачі інформації, в текстовій частоту появи потоку та його реалізацію.

Представлення інформаційних потоків даних – це аргументи функцій та їх рішення на локальному та віддаленому вузлах. Кожний інформаційний потік починається та закінчується таблицею даних. Даними виступають змінні контролера, змінні SCADA, записи в базах даних тощо, які об'єднані (згруповані) між собою по принципу, що один блок даних спільний для одного інформаційного потоку. Таке об'єднання дозволяє візуально представити весь процес обміну, а інколи допомагає згрупувати змінні для зменшення навантаження на мережу. В блоках даних вказуються назви змінних, або групи змінних, таблиці змінних, таблиці, масиви, тощо.

Схема мережевих інформаційних потоків представлено на рис. 2.6. Технологічні параметри процесів дифузії, дефекосатурації та фільтрації показуються у вигляді масивів даних. Масиви T1, T2 та T7 відображають технологічні параметри процесу дифузії; масиви T3, T4 та T8 відображають технологічні параметри процесу дефекосатурації; масиви T5, T6 та T9 відображають масиви даних процесу фільтрації. Також, масиви даних для ПЛК ДСАТ та ПЛК ФІЛ у своєму складі мають параметри із суміжних відділень для забезпечення координації роботи.

Так, на схемі мережевих інформаційних потоків показано п'ять ПК та три ПЛК, які підключені до мережі Ethernet. Комп'ютери підключаються до мережі за допомогою вбудованих портів на материнській платі, а ПЛК - через інтегровані канали в процесорному модулі. Всі сервіси в даному випадку використовують протоколи TCP/IP, тому до портів прив'язані IP адреси.

Прокоментуємо потоки.

**1-й потік.** SCADA в ПК ДИФ зчитує змінні з ПЛК ДИФ, використовуючи Modbus TCP/IP. Для цього SCADA використовує відповідний драйвер, а ПЛК підтримує його.

**2-й потік.** ПЛК ДСАТ зчитує дані із ПЛК ДИФ для узгодження роботи відділень по мережі Modbus TCP/IP.

**3-й потік.** ПК ДИФ передає дані на ТС сервер ВЦ. Обмін даними відбувається через Devise SQL ODBS Driver for SQL Server з боку ПК ДИФ та СУБД MS SQL Server ТС сервера ВЦ за допомогою SQL - запитів SQL QUERY сервісу мережі Ethernet.

**4-й потік.** Дані з ПК ДИФ передаються до ПК ДКС через OPCServer (Citect.OPCRemote) з боку ПК ДИФ до ПК ДКС через OPC клієнт-серверний інтерфейс.

**5-й потік.** SCADA в ПК ДСАТ зчитує змінні з ПЛК ДСАТ, використовуючи Modbus TCP/IP. Для цього SCADA використовує відповідний драйвер, а ПЛК підтримує його.

**6-й потік.** ПК ДСАТ передає дані на ТС сервер ВЦ. Обмін даними відбувається через Devise SQL ODBS Driver for SQL Server з боку ПК ДСАТ та СУБД MS SQL Server ТС сервера ВЦ за допомогою SQL - запитів SQL QUERY сервісу мережі Ethernet.

**7-й потік.** Дані з ПК ДСАТ передаються до ПК ДКС через OPCServer (Citect.OPCRemote) з боку ПК ДСАТ до ПК ДКС через OPC клієнт-серверний інтерфейс.

**8-й потік.** ПЛК ФІЛ зчитує дані із ПЛК ДСАТ для узгодження роботи відділень по мережі Modbus TCP/IP.

**9-й потік.** SCADA в ПК ФІЛ зчитує змінні з ПЛК ФІЛ, використовуючи Modbus TCP/IP. Для цього SCADA використовує відповідний драйвер, а ПЛК підтримує його.

**10-й потік.** ПК ФІЛ передає дані на ТС сервер ВЦ. Обмін даними відбувається через Devise SQL ODBS Driver for SQL Server з боку ПК ФІЛ та СУБД MS SQL Server ТС сервера ВЦ за допомогою SQL - запитів SQL QUERY сервісу мережі Ethernet.

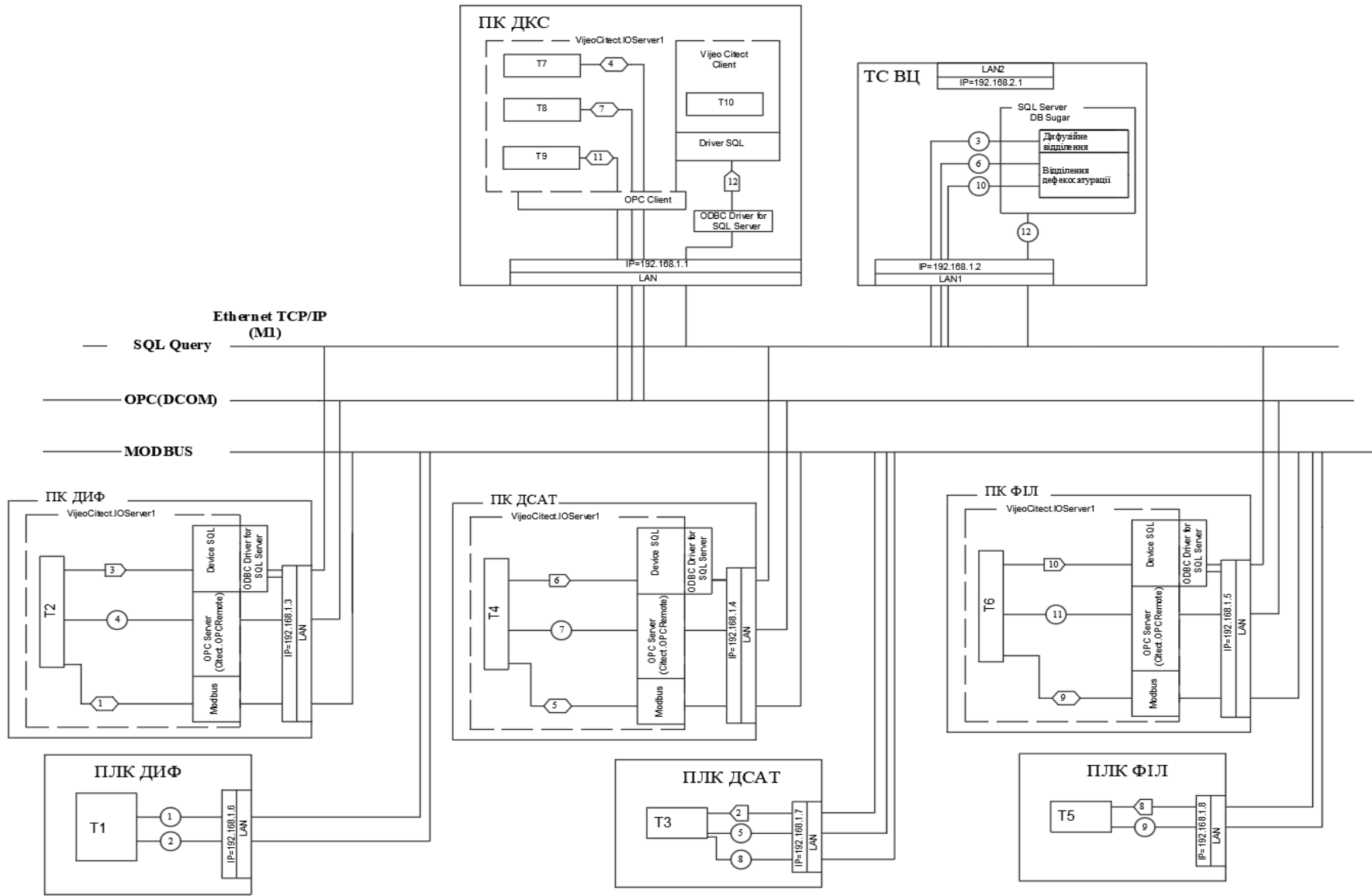


Рис. 2.6. Схема мережних інформаційних потоків для відділення дифузії та дефекосатурації на базі мережі Ethernet

**11-й потік.** Дані з ПК ФІЛ передаються до ПК ДКС через OPCServer (Citect.OPCRemote) з боку ПК ФІЛ до ПК ДКС через OPC клієнт-серверний інтерфейс.

**12-й потік.** Дані з ТС сервера ВЦ передаються до ПК ДКС про основні параметри відділень дифузії, дефекосатурації (процеси дефекосатурації та фільтрації) за допомогою SQL - запитів SQL QUERY сервісу мережі Ethernet.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДДІЛЕННЯМ ДЕФЕКОСАТУРАЦІЇ

#### 3.1. Схема автоматизації. Специфікація приладів та засобів автоматизації

Відповідно до відділення дефекосатурації цукрового заводу, для розробки схеми автоматизації було обрано технологічний процес II сатурації. Для її побудови, був проаналізований процес, вимоги до технологічного регламенту, було визначено контури вимірювання та регулювання. Специфікацію приладів та засобів автоматизації представлено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Специфікація приладів та засобів автоматизації

№ п/п	№ позиції за схемою	Назва і технічна характеристика виробу	Тип, марка	К-ть	Виробник
1	1а, 1б	Масовий витратомір, діапазон темп. продукту -50...+200 °С, діапазон вимір. – до 450 кг/год, матеріал 1.4301 (304), корозійно-стійкий, вих. сигн.: 0-20 мА, 4-20 мА.	Proline Promass 80A	1	Endress+Hauser
2	2а	Термометр опору платиновий 100П з платою перетворення «опір - струм», вих. сигнал 4-20 мА.	ТСПУ 100П	1	Тера
3	3а, 3б	Вихровий витратомір, DN15...300, похибка +/-0.75% за обсягом, +/- 1% за масою, діапазон виміру 0.16...2'360м3/год, вих. сигнал 4-20 мА.	ProlineProWirl 73	1	Endress+Hauser

4	4а	Датчик тиску газу, межі вимір. -0,1-100 МПа, вибухобезпечне виконання Ga/GbExia ПСТ4/Т5/Т6 Х, вих. сигнал 4-20 мА.	РС 28	1	Фірма Aplisens
5	5а, 5б	Комплект з електрода для рН рН в межах 0..14 од., темп. вим. серед-ща -15 .. +130 °С, вих. сигнал 4-20 мА.	CPS11, CPM223 /253	1	Endress+ Hauser
6	6а, 6б	Датчик рівня, межі вимір. -0,1-100 МПа, вибухобезпечне виконання Ga/GbExia ПСТ4/Т5/Т6 Х, вих. сигнал 4-20 мА.	РС 28	1	Фірма Aplisens
7	2б, 3в, 6в	Електро-пнеumo-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, Т=-20С+70С	УТ-1300	3	InterApp
8	2в, 3г, 6г	Дисковий пов. затвор, диск-нерж. сталь, Т до +130С. Затвор в зборі з пневмоприводом подвійної дії Air Torque відповідного типорозміру для Р повітря = 6bar	EPDM	3	InterApp

Схема автоматизації процесу ІІ сатурації показана на рис. 3.1. Відповідно до схеми, передбачено наступні контури.

Витрата фільтрованого соку І сатурації вимірюється за допомогою масового витратоміра Proline Promass 80А (поз. 1а, 1б), який у своєму складі має первинний та вторинний перетворювачі. Вихідний сигнал витратоміра 4-20 мА надходить до ПЛК, де перетворюється в діапазон 0-10000. Перетворений сигнал від ПЛК надходять до SCADA процесу, де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра.

Температура підігрітого соку І сатурації, що надходить на дефекатор ІІ сатурації вимірюється за допомогою платиногового термометра опору ТСПУ 100П (поз. 2а), який у своєму складі має нормуючий перетворювач «опір-струм». Вихідний сигнал номіналом 4-20 мА надходить до ПЛК, який перетворює значення в діапазон 0-10000, також забезпечує функцію

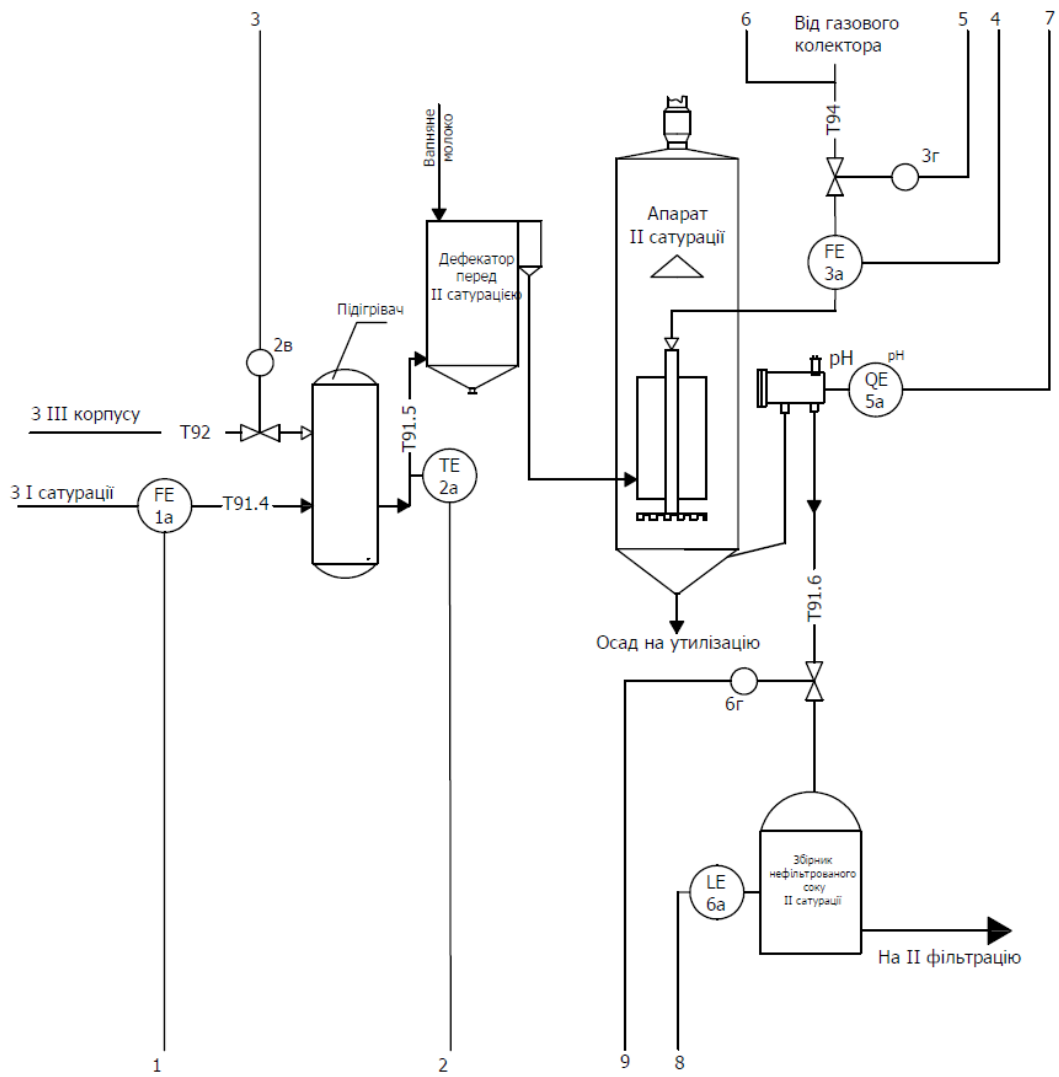
регулювання температури за допомогою ПІД-регулятора. Керуючий сигнал від ПІД-регулятора діапазоном 0-10000 перетворюється у вихідний 4-20 мА, який є входним для електро-пнеumo-позиціонера УТ-1300 (поз. 2б) з подальшим передаванням на дисковий затвор із пневмоприводом EPDM (поз. 2в) для регулювання % відкриття клапану подачі пари із ІІІ корпусу випарної станції. Перетворений сигнал від ПЛК надходять до SCADA процесу, де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра, а також ручне регулювання даного параметра.

Витрата вуглекислого газу до апарату ІІ сатурації вимірюється за допомогою вихрового витратоміра ProlineProWirl 73 (поз. 3а, 3б), який у своєму складі має первинний та вторинний перетворювачі. Вихідний сигнал номіналом 4-20 мА надходить до ПЛК, який перетворює значення в діапазон 0-10000, також забезпечує функцію регулювання витрати вуглекислого газу за допомогою ПІД-регулятора. Керуючий сигнал від ПІД-регулятора діапазоном 0-10000 перетворюється у вихідний 4-20 мА, який є входним для електро-пнеumo-позиціонера УТ-1300 (поз. 3в) з подальшим передаванням на дисковий затвор із пневмоприводом EPDM (поз. 3г) для регулювання % відкриття клапану подачі пари із ІІІ вуглекислого газу від колектору газу. Перетворений сигнал від ПЛК надходять до SCADA процесу, де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра, а також ручне регулювання даного параметра.

Також, передбачено контроль тиску в трубопроводі подачі вуглекислого газу до апарату ІІ сатурації за допомогою датчика тиску газу РС 28 (поз. 4а), який має на виході сигнал номіналом 4-20 мА. Цей сигнал надходить до ПЛК із подальшим його перетворенням у діапазон 0-10000. Перетворений сигнал від ПЛК надходять до SCADA процесу, де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра.

рН процесу ІІ сатурації вимірюється за допомогою датчика CPS11, СРМ223/253 із перетворювачем (поз. 5а, 5б), який має вихідний сигнал 4-20 мА.

Значення параметра рН надходить до ПЛК із подальшим його перетворенням у діапазон 0-10000. Перетворений сигнал від ПЛК надходять до SCADA процесу,



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прилади за місцем	FT 16 310 м3г	TT 2a 90.93 °C	FT 3b 0.100 %	FT 3c 1.9.2.3 м3г	PT 4a 0.100 %	PT 4b 70 мПа	QT 5b pH 9.9.5 одрН	LT 6b 0.100 %	LT 6c 0.100 %
Прилади на щиті		TY 2b EIP			FY 3b EIP				LT 6b EIP
ІНК ДСАТ	Y								
	C								
	S								
	B								
ІНК САТ	I								
	R								
	C								
	S								
	A								

Умовне позначення	
— T92 —	Пара
— T94 —	Вуглекислий газ
— T91.4 —	Сік I сатурації фільтрований
— T91.5 —	Сік I сатурації підігрітий
— T91.6 —	Сік II сатурації

Рис. 3.1. Схема автоматизації процесу II сатурації

де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра.

Рівень у збірнику нефільтрованого соку II сатурації вимірюється за допомогою гідростатичного датчика рівня РС28 (поз. 6а, 6б), який має уніфікований вихідний сигнал по струму 4-20 мА. Вихідний сигнал номіналом 4-20 мА надходить до ПЛК, який перетворює значення в діапазон 0-10000, також забезпечує функцію регулювання рівня за допомогою ПІД-регулятора. Керуючий сигнал від ПІД-регулятора діапазоном 0-10000 перетворюється у вихідний 4-20 мА, який є вхідним для електро-пневмо-позиціонера УТ-1300 (поз. 6в) з подальшим передаванням на дисковий затвор із пневмоприводом EPDM (поз. 6г) для регулювання % відкриття клапану подачі нефільтрованого соку II сатурації до збірника. Перетворений сигнал від ПЛК надходить до SCADA процесу, де передбачено індикацію, реєстрацію та сигналізацію технологічного параметра, а також ручне регулювання даного параметра.

### **3.2. Схема компонування та специфікація ПЛК**

При виборі контролера, варто розуміти, що це мікропроцесорний пристрій, який виконується у єдиному конструктивному виконанні, повинен забезпечуватися джерелом живлення, мати центральний процесор, пам'ять, вбудовані порти для виходу у мережу, фіксоване число каналів аналогового/дискретного входу/виходу, слоти розширення для додаткових модулів тощо.

Модульні ПЛК встановлюються на DIN-рейку, а з'єднання з іншими модулями відбувається за допомогою роз'ємів або «під гвинт». Найбільш поширеними є такі контролери: Simatic S7- 200 і Simatic S7-300С - Siemens (Німеччина), Modicon TSX - Schneider Electric (Франція), FX1S і FX1N - Mitsubishi Electric (Японія).

Крім загальних характеристик всі ПЛК відрізняються набором вбудованих функцій, кількістю базових команд, способом програмування тощо. Модульні

контролери складаються з функціональних модулів, установлених у каркасі (шасі) або монтуються на DIN-рейку, тобто модульні контролери деструктуровані на окремі взаємопов'язані блоки. Дана архітектура дозволяє збільшити гнучкість, швидкість пуско-налагодження, ремонтпридатність контролера.

При виборі контролера основним завданням є найповніше задоволення технічних вимог на розробку автоматичної системи (вимоги до інформаційних, керуючих і допоміжних функцій, а також до технічного, програмного, метрологічного та організаційного забезпечення, до діагностики та технічного обслуговування системи та ін.).

В магістерській роботі для технологічного процесу II сатурації було обрано контролер Modicon M340 фірми Schneider Electric. ПЛК M340 є спадкоємцем традицій та інновацій фірми Modicon, що випустила перший промисловий програмований контролер. За своїми можливостями і продуктивності M340 займає нішу в середині модельного ряду між контролерами Twido і Premium. В цілому архітектура M340 успадковує старші контролери: згаданий Premium і найбільш потужного контролера в лінійці Schneider Electric - Quantum. Більш того, M340 програмується за допомогою того ж програмного пакета, що і старші контролери - системи Unity Pro. Ця програмне середовище підтримує всі стандартні мови MEK 61131-3: список інструкцій (LI), мова сходових діаграм (LD), мову функціональним блок-схем (FBD), мову послідовних функціональних блоків (SFC) і мову структурованого тексту (ST) [23].

Механічною основою системи є монтажна шина (кошик), на яку встановлюються блок живлення, процесорний модуль і модулі розширення. Архітектура дозволяє з'єднувати до чотирьох таких монтажних кошиків в єдину систему з одним головним процесором, а самі кошики можна винести на сумарну довжину до 30 метрів. Таким чином віддалений введення / виведення організовується « всередині » контролера і не потрібно впровадження додаткових польових шин. Крім блоку харчування все модулі мають однакову

ширину, а тому займають лише одне установче місце на кошику. Максимальна місткість кошика - 12 місць, що з урахуванням блоку живлення і процесора дозволяє встановити ще 11 модулів розширення. Така конфігурація займе в шафі не більше 100x500x160 мм (ВxШxГ) [23].

Для контролера M340 доступні наступні комунікаційні протоколи: Modbus RTU/ASCII, Ethernet Modbus TCP / IP, Modbus Plus, CANopen master, Profibus DP, AS-interface V3 master. Для під'єднання панелі оператора типу XBT GT безпосередньо можна використовувати інтерфейс USB, таким чином немає необхідності в додатковому модулі Modbus [23].

Процесорні модулі діляться на дві групи: до першої належить процесор BMX P34 1000 з вбудованим портом RS-485 Modbus RTU. До другої відносяться чотири більш продуктивних процесора BMX P34 2xxx, які відрізняються між собою типом вбудованих інтерфейсів - це може бути CANopen master, Ethernet TCP / IP або Modbus RTU, при цьому один процесор може містити до двох перерахованих портів. Кожен процесор комплектується Flash-картою пам'яті типу SD (Secure Digital), яка використовується для резервного копіювання двох областей пам'яті контролера: області програм, символів, коментарів і область констант. У контролерів з вбудованим Modbus TCP / IP може бути встановлена карта пам'яті, що зберігає Web-сервіси, зокрема Web-сервер [23].

Типова продуктивність для контролера P34 1000 - 5400 булевих інструкцій за мілісекунду, для контролерів P34 2xxx - 8100 булевих інструкцій за мілісекунду. Модулі дискретного введення / виведення можуть мати до 64 каналів. Для введення можна використовувати сигнали 24, 48, 110 В як постійного, так і змінного струму, а також 220 В змін. струму. Для модулів виводу доступні як транзисторні виходи 24 В пост. струму, так і релейні виходи 220 В змін. струму. Модулі аналогового вводу підтримують стандартні уніфіковані діапазони (4-20 мА, 0-10 В в різних варіаціях), а також всі види датчиків температури. Модулі аналогового виводу доступні щільністю до 8 каналів з вихідним сигналом 4-20 мА. Розрядність АЦП модулів аналогового

вводу-виводу – 16 біт, або 15 біт плюс знак. До спеціалізованих каналах відносяться рахункові модулі, що підтримують підключення енкодерів з push-pull виходом, модулі підключення SSI-енкодера і модулі контролю руху з PTO-виходом для управління сервоприводами [23].

Процесорні модулі, блоки живлення і основні типи модулів розширення можуть бути виготовлені з поліуретановим покриттям електронних плат для роботи в умовах агресивного навколишнього середовища. Крім того, в такому виконанні розширено діапазон робочих температур, з 0 ... + 60 С для стандартного виконання до -25 ... + 70 С для покритого поліуретаном [23].

Компонування промислового логічного контролера для технологічного процесу II сатурації показано на рис. 3.2.

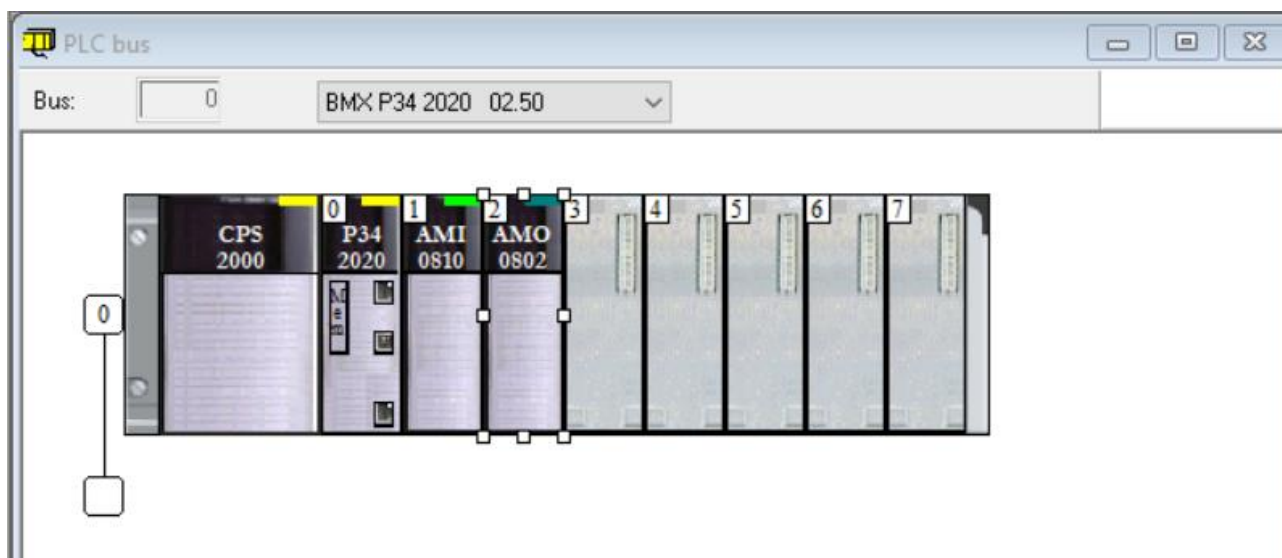


Рис. 3.2. Проектне компонування контролера для процесу II сатурації  
Специфікація комплексних засобів автоматизації наведена у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Специфікація комплексних засобів автоматизації

№	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	Кількість
Програмований логічний контролер Modicon M340						
1	Модуль живлення 100...240 VAC, 20 Вт BMX CPS 2000	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1

2	Процесорний модуль ВМХ Р34 2020	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
3	Модуль аналогових входів ВМХ АМІ 0810	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		2
4	Модуль аналогових виходів ВМХ АМО 0802	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
5	20 контактна знімна колодка з гвинтовими зажимами ВМХ FTB 2010	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
6	28 контактна знімна клемна колодка ВМХ FTB 2820	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1

### 3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління та сигналізації

Принципові схеми контурів вимірювання, управління та сигналізації розроблені для процесу II сатурації. Принципові схеми мають у своєму складі вхідні та вихідні модулі мікропроцесорного контролера Modicon M340. На них показують датчики та виконавчі елементи і як саме вони підключаються до контролера, відповідно до електричних схем підключення кожного датчика та виконавчого механізму.

Принципові електричні схеми підключення показані на рис. 3.3-3.4. Підключення аналогових вхідних сигналів відбувається двох модулів ВМХ АМІ 0810. Датчики додатково живляться +24 V від блоку живлення 220VAC/24VDC через запобіжники FU1-FU4. Для витратоміра використовується запобіжник номіналом 0.5 A, а для термометра опору та датчика рівня по номіналу 0.1 A. Нумерація ліній живлення 802-808, лінії сигналів датчиків мають нумерацію 100-116. Виконавчі механізми

підключаються до модуля аналогових виходів ВМХ АМО 0802. Лінії підключення електро-пневно-позиціонерів мають нумерацію 200-205.

Перелік апаратури до схем підключення, що показані на рис. 3.3-3.4 наведено у табл. 3.3-3.4.

Таблиця 3.3. Перелік апаратури до принципової схеми підключення (рис. 3.3)

Позиція, позначення	Найменування	Кількість	Примітка
	За місцем		
1	2	3	4
1а-1б	Масовий витратомір Proline Promass 80А	1	вих. сиг. 4-20 мА
2а	Термометр опору ТСПУ 100П	1	вих. сиг. 4-20 мА
3а, 3б	Вихровий витратомір ProlineProWirl 73	1	вих.. сиг. 4-20 мА
4а	Датчик тиску РС28	1	вих.. сиг. 4-20 мА
5а, 5б	Промисловий рН метр СРС11, СРСМ223/253	1	вих.. сиг. 4-20 мА
6а, 6б	Датчик рівня РС28	1	вих.. сиг. 4-20 мА
FU1, FU3	Запобіжник з плавковою вставкою 0,5 А	2	
FU2, FU4	Запобіжник з плавковою вставкою 0,1 А	2	
	Щит перетворювачів		
ВМХ АМІ 0810	Модуль на 8 аналогових виходів	1	

Таблиця 3.4. Перелік апаратури до принципової схеми підключення (рис. 3.4)

Позиція, позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	2	3	4
	За місцем		
2б, 3в, 6в	Електро-пневно-позиціонер	3	вх. сиг. 4-20мА, вих. сигн. 20-100 кПа
2в, 3г, 6г	Дисковий поворотний затвор	3	
	Щит перетворювачів		
ВМХ АМО	Модуль на 8 аналогових виходів	1	

0802			
BMX FTB 2010	20 контактна з'ємна клемна колодка з гвинтовими зажимами	1	

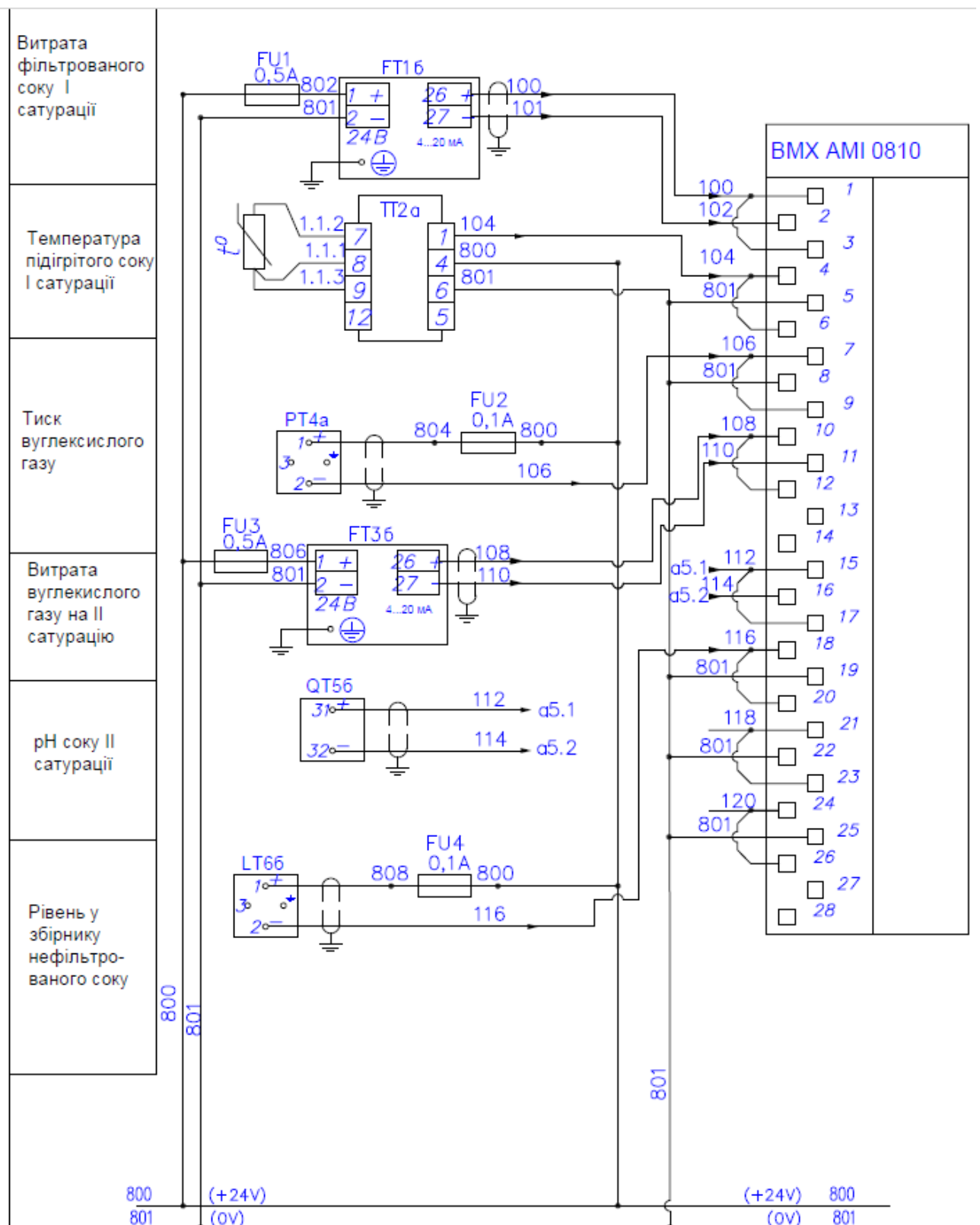


Рис. 3.3. Схема підключення аналогових входів до модуля BMX AMI 0810

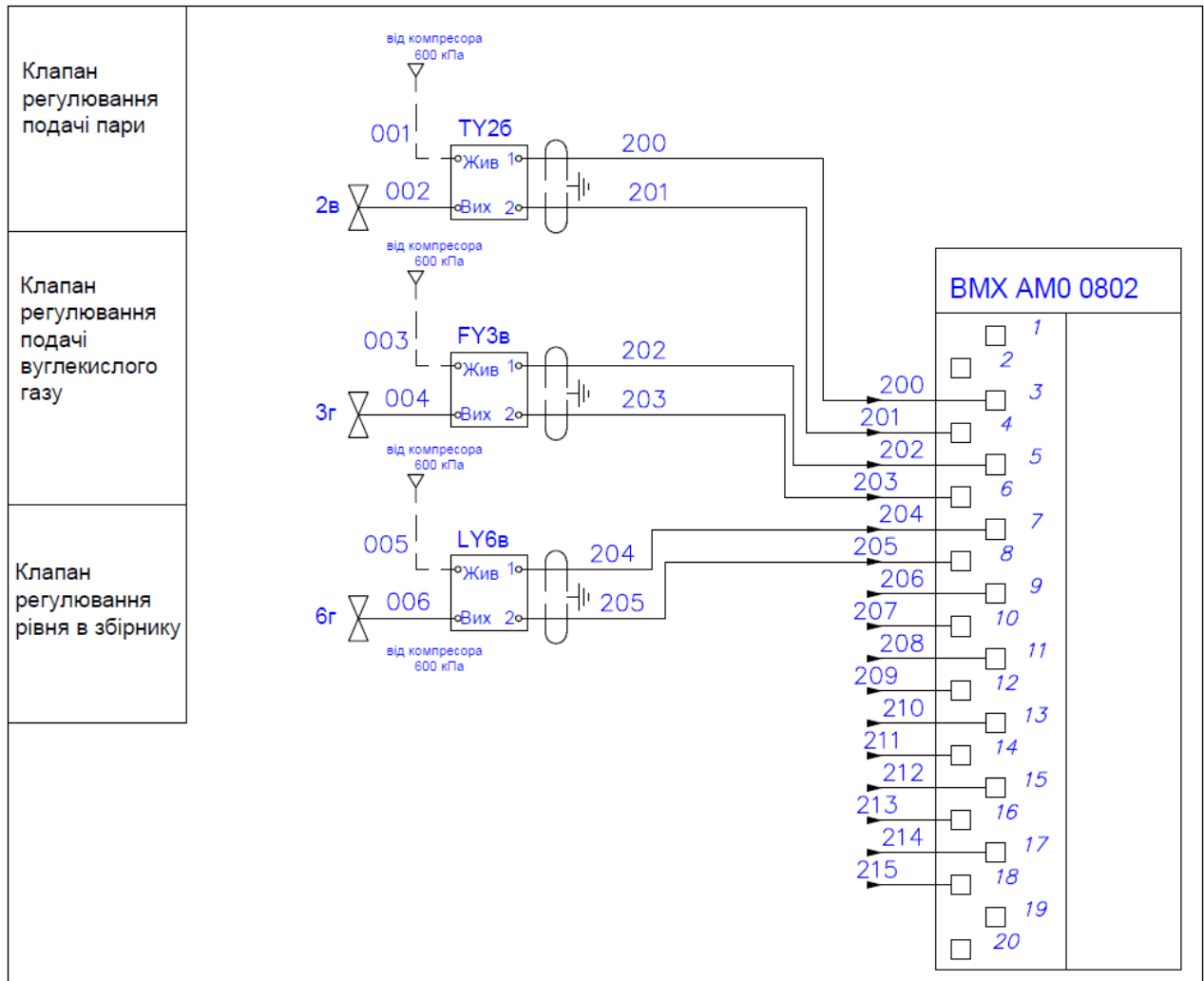


Рис. 3.4. Схема підключення аналогових виходів до модуля BMX AMO 0802

### 3.4. Дисплейна схема управління процесом II сатурації

Для візуалізації та керування технологічними процесами використовують SCADA – програми. Найбільше поширення має SCADA - програма Vijeo Citect, яка є частиною програмного забезпечення Collaborative, також є частиною нової архітектури автоматизації процесів Schneider Electric, PlantStruxure, для створення систем диспетчеризації.

Vijeo Citect виступає високопродуктивною, надійною та гнучкою системою, яка розроблена з метою для використання у різних сферах промислової автоматизації з метою диспетчерського керування та збору даних.

Потужні інструменти та функції візуалізації допомагають створити зручну систему диспетчеризації, яка дає операторам-технологам повний контроль над технологічними процесами і дозволяє їм швидко реагувати на відхилення в процесі, зрештою підвищуючи ефективність.

До складу SCADA - програми інструменти входять різноманітні конфігурації та потужні функції, котрі дозволяють швидко та легко розробляти та розгортати рішення для систем диспетчеризації будь-якої складності та розміру.

Для процесу II сатурації відповідно до розробленої схеми автоматизації, було розроблено мнемосхему головного вікна, яке показано на рис. 3.5.

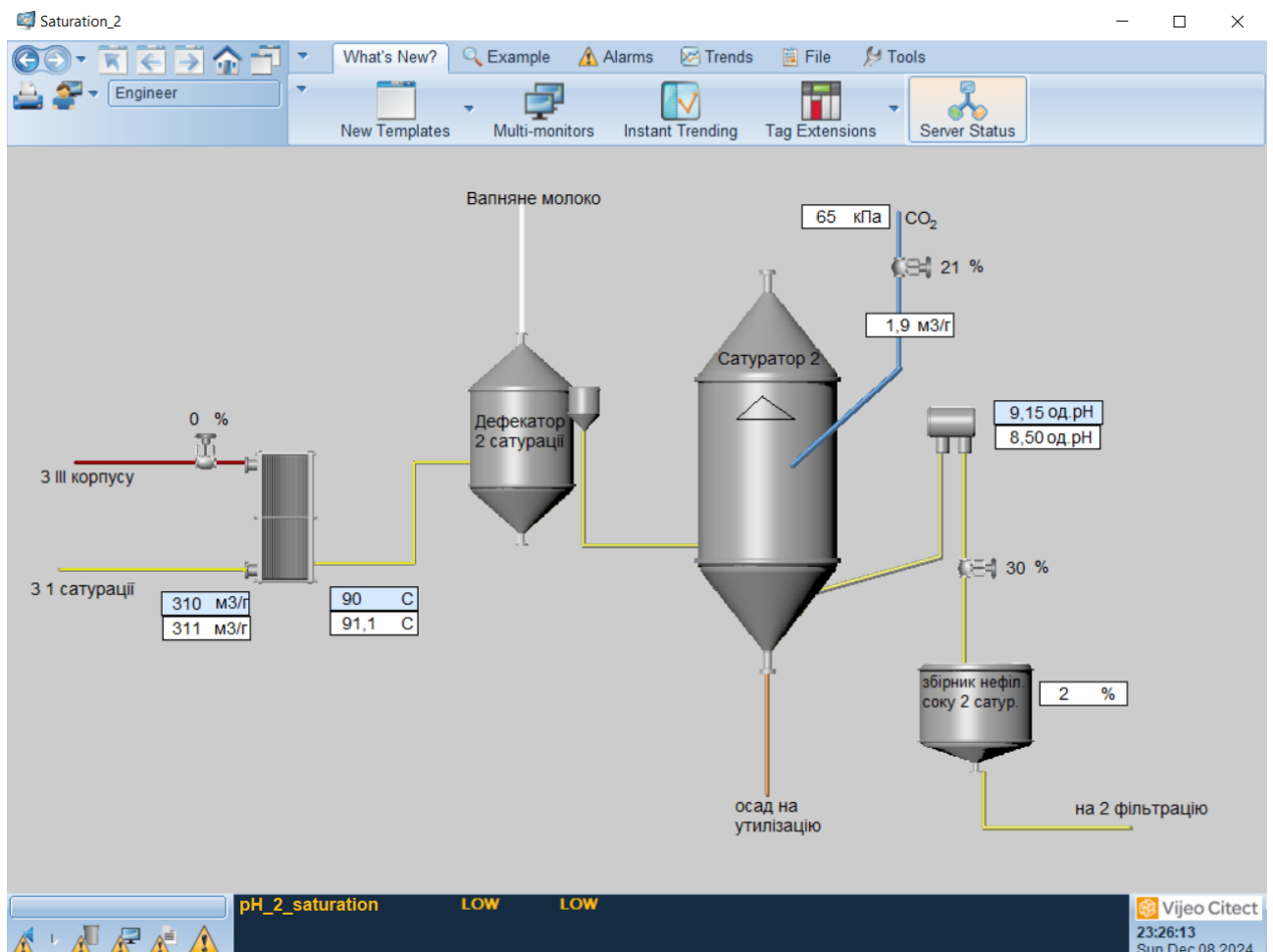


Рис. 3.5. Головне вікно процесу II сатурації

Схема візуалізації містить сам процес II сатурації із відповідними технологічними параметрами процесу. На мнемосхемі передбачено задання уставок для витрати дифузійного соку I сатурації, температури процесу II

сатурації та значення рН. На мнемосхемі також показано цифрову індикацію % відкриття клапанів управління параметрами. Внизу екрану знаходиться вікно алармів технологічних апарметрів. Так, з рис. 3,5 видно, що значення параметра рН II сатурації LOW.

Вікно тренду зміни температури II сатурації показано на рис. 3.6, яке дозволяє відслідковувати зміну параметра за часом протікання технологічного процесу.

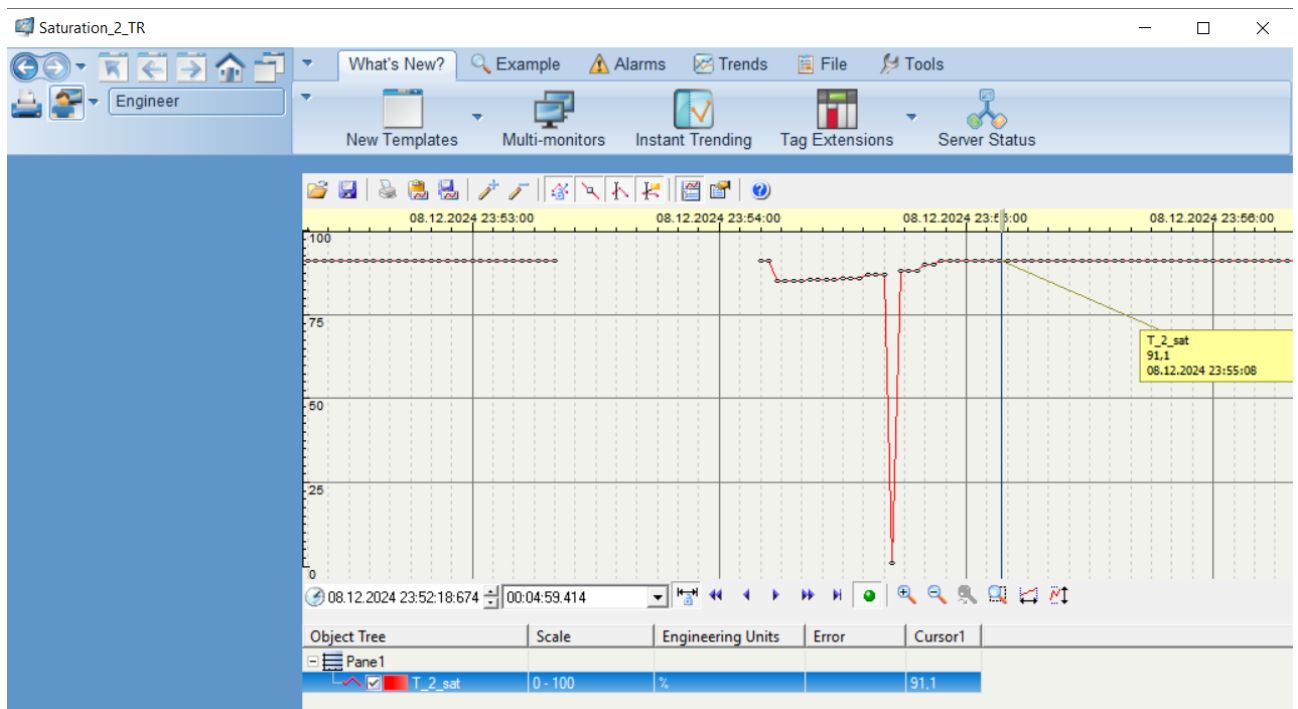


Рис. 3.6. Вікно тренду зміни температури II сатурації SCADA – програми

## РОЗДІЛ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

### 4.1. Дослідження якості сокоочистки у цукровому виробництві

Метою процесу дефекосатурації є максимальне видалення нецукрів із дифузійного соку. Якщо ми говоримо за процес II сатурації, то його задачею є зниження лужності соку і відповідно вмісту солей кальцію. Відповідно, під час процесу сатурації вміст солей кальцію повинен бути мінімальним, тому досить важливо підтримувати визначене значення рН соку, на яке впливає склад нецукрів, що залишаються в соку. Контроль процесу II сатурації відбувається за показником рН, відповідною зміною температури, рівня та забезпеченні оптимальних параметрів процесу [24].

Відповідно до мети процесу очищення, виникають задачі контролю та керування параметрами стадій для забезпечення [24]:

- Дозована подача вапняного молока до кількості соку з оптимальною концентрацією СаО, що складає 0,25 – 0,3 % до маси буряків. Непрямим показником даної концентрації виступає концентрація іонів водню рН<sub>20</sub> в межах 10,8 – 11,6 од. рН.
- Дозована подача вапняного молока до кількості соку з оптимальною концентрацією СаО, що складає 2,0 – 2,5 % до маси буряків.
- Дозована подача сатураційного газу сумішю 30-40 % діоксиду вуглецю СО<sub>2</sub>, для перетворення нерозчинного вапна у карбонат кальцію. Прямим показником даної стадії процесу є зниження лужності до 0,09 – 0,11 % СаО, а непрямым виступає рН<sub>20</sub> соку в межах 10,8 – 11,2 од. рН.

Проаналізувавши задачі, можна зробити наступний висновок, що для забезпечення оптимального протікання процесу очищення дифузійного соку, необхідно: підтримувати задану концентрацію вапна в розчині дифузійного соку, підтримувати задану концентрацію лужності у вихідному соку [24].

Температура проведення I та II сатурації значно впливає і на значення рН соку і на якість соку, який буде безпосередньо надходити на випарну станцію.

Якщо говорити про процес I сатурації, то оптимальна залежність рН процесу від температури показано на рис. 4.1.

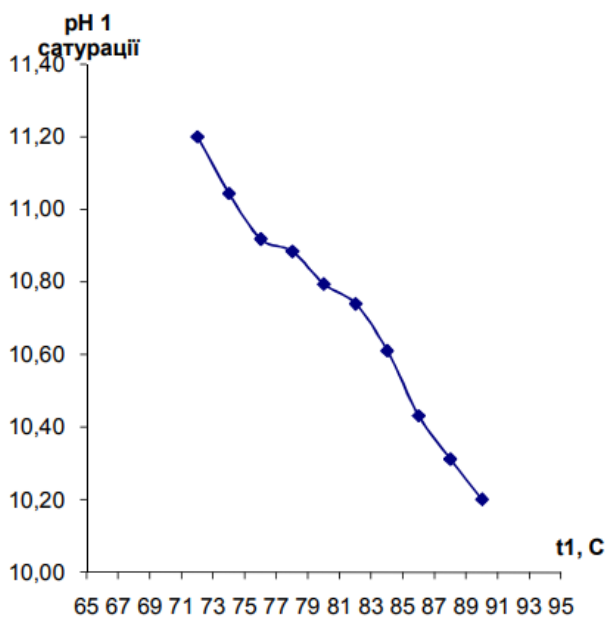


Рис. 4.1. Оптимальна залежність значення рН соку 1-ї сатурації від температури

На рис. 4.2 показана залежність оптимального значення рН процесу II сатурації від температури, що дозволяє проводити процес очистки дифузійного соку максимально ефективним.

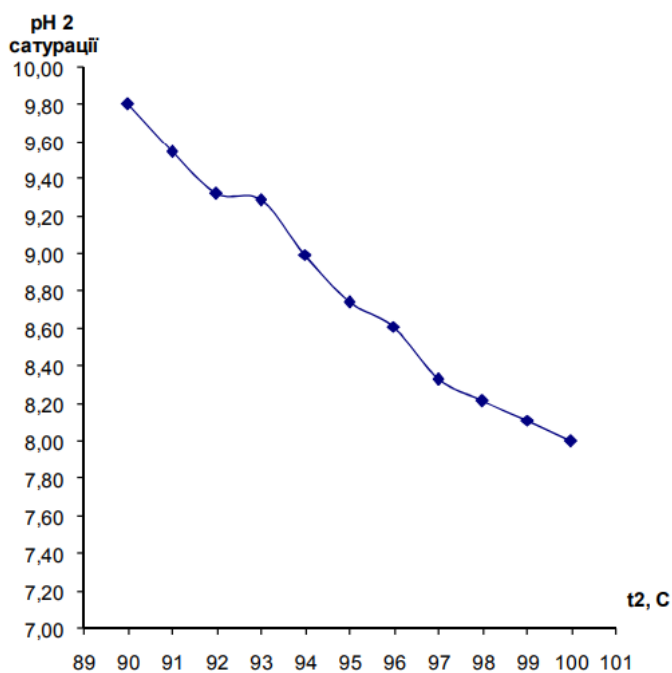


Рис. 4.2. Оптимальна залежність значення рН соку 2-ї сатурації від температури

Відповідно до технологічного процесу очищення дифузійного соку, на якість соку II сатурації досить сильно впливають значення рН попередньої дефекації, I та II сатурацій, температури процесів у відповідних апаратах. Зміна одного із показників відіграє велику роль в подальшому проходженні технологічного процесу, а передбачити наперед майбутні оптимальні значення досить складно, оскільки якість буряку, що надходить на виробництво відрізняється [24].

Тому, постає питання у створенні такої системи підтримки прийняття рішень на основі інтелектуальних технологій, які дозволяють на основі накопичених даних створити таку систему, яка б дозволила наперед визначати оптимальні параметри процесу дефекосатурації, тим самим підвищуючи якість готового продукту. Для вирішення даної задачі обрано нейро-нечіткі мережі, які дозволяють побудувати відображення вихідного параметру від вхідних даних на процесу очищення дифузійного соку.

#### **4.2. Нейро-нечітке моделювання показників якості процесу дефекостаурації**

Процес очищення дифузійного соку - це складний фізико – хімічний процес, який характеризується сильною нелінійністю, змінними параметрами в часі та багатопараметричністю. Оскільки, це процес із нелінійними характеристиками та збуреннями, звичайні методи керування можуть неповністю задовольняти вимоги щодо якості цукру.

Прогнозне керування виступає новим класом комп'ютеризованих алгоритмів управління які широко використовуються в різних сферах харчової промисловості, що засновані на децентралізованому нечіткому логічному висновку для вирішення проблем сильної не лінійності, невизначеності в процесі керування значенням рН процесу дефекосатурації.

Одним із ефективних методів для систем прогнозування є мережі типу ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), які поєднують у собі методи нечіткого логічного висновку та системи штучних нейронних мереж. Системи нечіткого логічного висновку мають ряд переваг, таку як моделювання якісних аспектів знань про технологічні параметри процесу. Система нечіткого логічного висновку приймає рішення на основі правил *IF – THEN* [25, 26]. Штучні нейронні мережі мають ряд переваг, таких як вирішувати складні задачі класифікації, прогнозування на основі машинного навчання. ANFIS має всі переваги систем нечіткого висновку та штучних нейронних мереж.

Структура ANFIS використовує систему нечіткого висновку Sugeno. Припустимо, що система нечіткого логічного висновку має  $p$  входів  $x_1, x_2, \dots, x_p$  та має один вихід  $z$ , тоді моделі нечіткого логічного висновку Sugeno 0-го порядку з  $m$  правилами *IF – THEN* такі [27-29]:

для  $j$ -го правила:

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2j} \text{ and } \dots x_p \text{ is } A_{pj}, \text{ then } f_j = \theta_{j,0} + \sum_{k=1}^p \theta_{j,k} x_k \quad (4.1)$$

і моделі системи нечіткого логічного висновку Sugeno 1-го порядку з  $m$  правилами *IF – THEN* виглядає наступним чином для  $j$ -го правила:

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2j} \text{ and } \dots x_p \text{ is } A_{pj}, \text{ then } f_j = \theta_{j,0} \quad (4.2)$$

Структура ANFIS складається із п'яти шарів. Відповідно, характеристика кожного шару полягає у наступному [28]:

**1-й шар (Fuzzification).** Використовується для процесу фазифікації. Кожен вузол на цьому шарі є адаптивним із такими функціями вузла:

$$\mu_{A_{kj}}(x_k) \quad z \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (4.3)$$

де  $\mu_{A_{kj}}(x_k)$  є ступенем приналежності  $k$ -го входу та  $j$ -го правила, а  $p$  є кількістю входів.

Ступінь належності отримується шляхом введення значення вхідної змінної у функцію належності. В дослідженнях можуть використовуватися наступні типи функції належності [14]:

1. Трикутна функція належності (trimf)

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \cup x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)}, & b < x < c \end{cases} \quad (4.4)$$

2. Трапецієподібна функція належності (trapezmf)

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \cup x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c < x < d \end{cases} \quad (4.5)$$

3. Функція належності Гауса (gaussmf)

$$\mu[x] = e^{-\frac{(x-c)^2}{2a^2}} \quad (4.6)$$

**2-й шар (Product).** Даний шар використовується для визначення значимості кожного правила. Кожен вузол у цьому шарі є неадаптивним і позначається літерою  $P$ . Виходом 2-го шару є добуток ступеня належності кожного входу. Рівняння добутку ступеня належності кожного входу має вигляд:

$$w_j = \prod_{k=1}^p \mu_{A_{kj}}(x_k) \quad \text{з } j = 1, 2, \dots, m \quad (4.7)$$

де  $w_j$  це коефіцієнти значимості  $j$ -го правила,  $p$  це кількість вхідних даних, а  $m$  це кількість правил.

**3-й шар (Normalization).** На цьому шарі відбувається визначення нормалізованої значимості правил. Кожен вузол у цьому шарі є неадаптивним і позначений символом  $N$ . Рівняння для розрахунку нормалізованої значимості виглядає наступним чином:

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{w_1 + w_2 + \dots + w_m} \quad \text{з } j = 1, 2, \dots, m \quad (4.8)$$

де  $w_j$  це нормалізовані коефіцієнти значимості  $j$ -го правила, а  $m$  це кількість правил.

**4-й шар (Defuzzification).** Використовується для процесу дефазифікації. Результатом цього шару є добуток  $\bar{w}_j$  та відповідних параметрів кожного правила. Кожен вузол на 4-му рівні є адаптивним для результату, який можна виразити наступним рівнянням:

$$\bar{w}_j f_j = \bar{w}_j (\theta_{j,1} x_1 + \theta_{j,2} x_2 + \dots + \theta_{j,p} x_p + \theta_{j,0}) \quad z \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

де  $m$  це кількість правил. У системі нечіткого висновку Sugeno 0-го порядку значення  $\theta_{j,1}, \theta_{j,2}, \dots, \theta_{j,3} = 0$ , так що  $f_j = \theta_{j,0}$ .

**5-й рівень (Total Output).** На цьому рівні ANFIS використовується для процесу розрахунку загального виходу. Кожен вузол у цьому шарі є неадаптивним і позначається символом  $\Sigma$ . Вихід цього рівня – це один нейрон, який є сумою всіх виходів четвертого рівня і може бути виражений наступним рівнянням:

$$f = \sum_{j=1}^m \bar{w}_j f_j = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{w}_j f_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad z \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.10)$$

де  $m$  це кількість правил.

Процес прогнозування з використанням адаптивної нейро-нечіткої системи логічного висновку ANFIS можна представити у вигляді наступної блок-схеми:

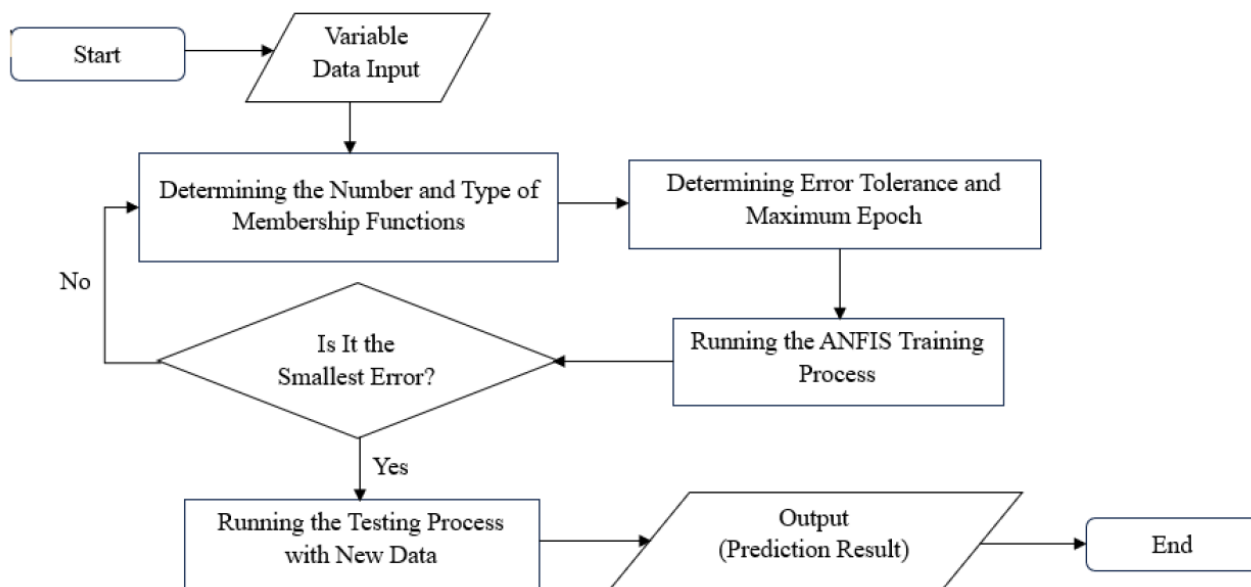


Рис. 4.3. Процес прогнозування методом ANFIS

В магістерській роботі використовуються кількісні дані по впливу процесу пересатурування соку I сатурації на показники соку II сатурації, які були

отримані з цукрового заводу, адже пересатування соку I сатурації покращує седиментаційні якості соку I сатурації, але погіршує якість соку II сатурації. В роботі використовуються набори наступних технологічних даних:  $pH_{20}$  I сатурації, лужність у % CaO I сатурації, лужність у % CaO II сатурації, солі Ca у % CaO II сатурації. Вихідними параметрами виступають: вміст сухих речовин CP у % та чистота соку Ч у % [24].

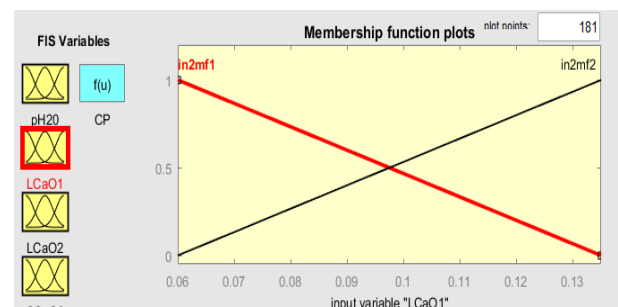
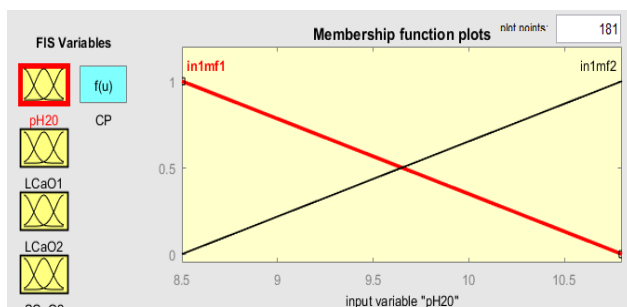
Створення нейро-нечіткої системи логічного висновку ANFIS відбувається за допомогою одного із наборів інструментів програмного забезпечення MATLAB. В якості методу навчання було обрано гібридний метод. Результати моделювання для технологічних параметрів якості очищеного соку вмісту сухих речовин CP у % та чистоти соку Ч у % наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Результати моделювання ANFIS мережі

Вихідний параметр	Membership Function Type	Number of Membership Function	Output Membership Function	Epoch	Похибка
CP, %	trimf	2 2 2 2	Constant	20	0,002
Ч, %	trimf	2 2 2 2	Constant	15	0,0064

На рис. 4.4 показано графіки функцій належності для кожного вхідного параметру процесу, що мають трикутну функцію належності із двома термами.

Структура згенерованої нейро-нечіткої системи логічного висновку ANFIS показано на рис. 4.5. Модель ANFIS складається з чотирьох змінних (1-й шар), кожна з яких має дві функції належності (2-й шар), з трикутними типами функцій належності, які мають по два терми. У структурі є 16 правил (3-й рівень і 4-й рівень). Існує одна вихідна змінна (5-й рівень) із постійним типом виводу.



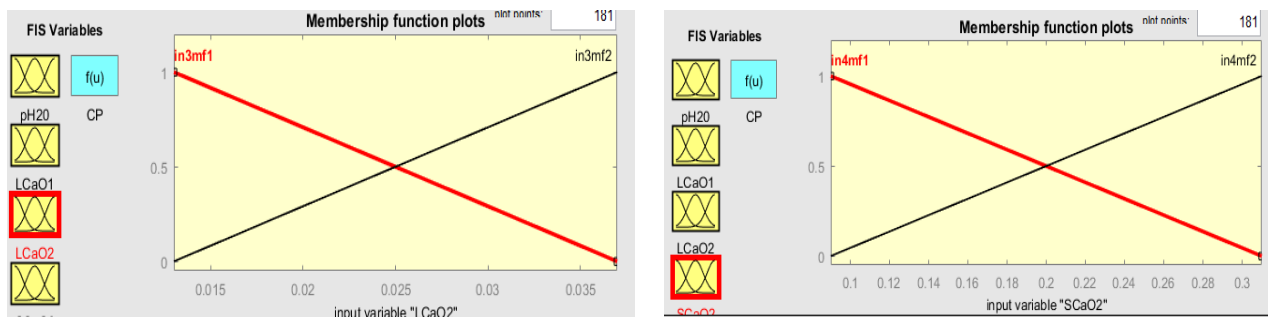


Рис. 4.4. Функції належності вхідних параметрів мережі

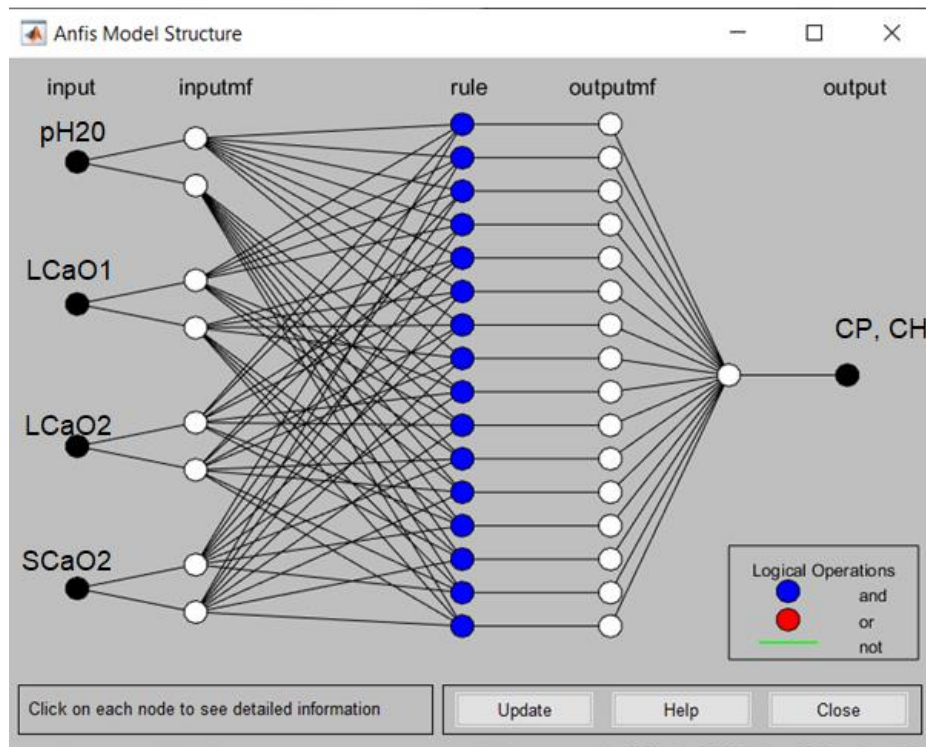


Рис. 4.5. Структура мережі ANFIS системи прогнозування якості соку II сатурації

Кількість правил виходить із комбінації кількості функцій належності для кожної вхідної змінної. Кількість правил для двох отриманих моделей по параметрам вмісту сухих речовин CP у % та чистоти соку Ч у % складає 16 правил. Сформовані правила показані на рис. 4.6 та рис. 4.7.

```

1. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf1) (1)
2. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf2) (1)
3. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf3) (1)
4. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf4) (1)
5. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf5) (1)
6. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf6) (1)
7. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf7) (1)
8. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf8) (1)
9. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf9) (1)
10. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf10) (1)
11. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf11) (1)
12. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf12) (1)
13. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf13) (1)
14. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf14) (1)
15. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CP is out1mf15) (1)
16. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CP is out1mf16) (1)

```

Рис. 4.6. Вікно згенерованих правил для параметра вмісту сухих речовин  
CP, %

```

1. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf1) (1)
2. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf2) (1)
3. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf3) (1)
4. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf4) (1)
5. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf5) (1)
6. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf6) (1)
7. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf7) (1)
8. If (pH20 is in1mf1) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf8) (1)
9. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf9) (1)
10. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf10) (1)
11. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf11) (1)
12. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf1) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf12) (1)
13. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf13) (1)
14. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf1) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf14) (1)
15. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf1) then (CH is out1mf15) (1)
16. If (pH20 is in1mf2) and (LCaO1 is in2mf2) and (LCaO2 is in3mf2) and (SCaO2 is in4mf2) then (CH is out1mf16) (1)

```

Рис. 4.7. Вікно згенерованих правил для параметра чистоти соку Ч, %

Згенеровані правила також можна переглядати у графічному інтерфейсу, які показані на рис. 4.8 та рис. 4.9.

З рис. 4.8 при значенні рН 9,65 од. рН за температури 20 °С I сатурації, лужності СаО I сатурації 0,0975 %, лужності СаО II сатурації 0,025 %, вмісту солей СаО 0,2 % II сатурації - вміст сухих речовин у соці становить 10,9 %.

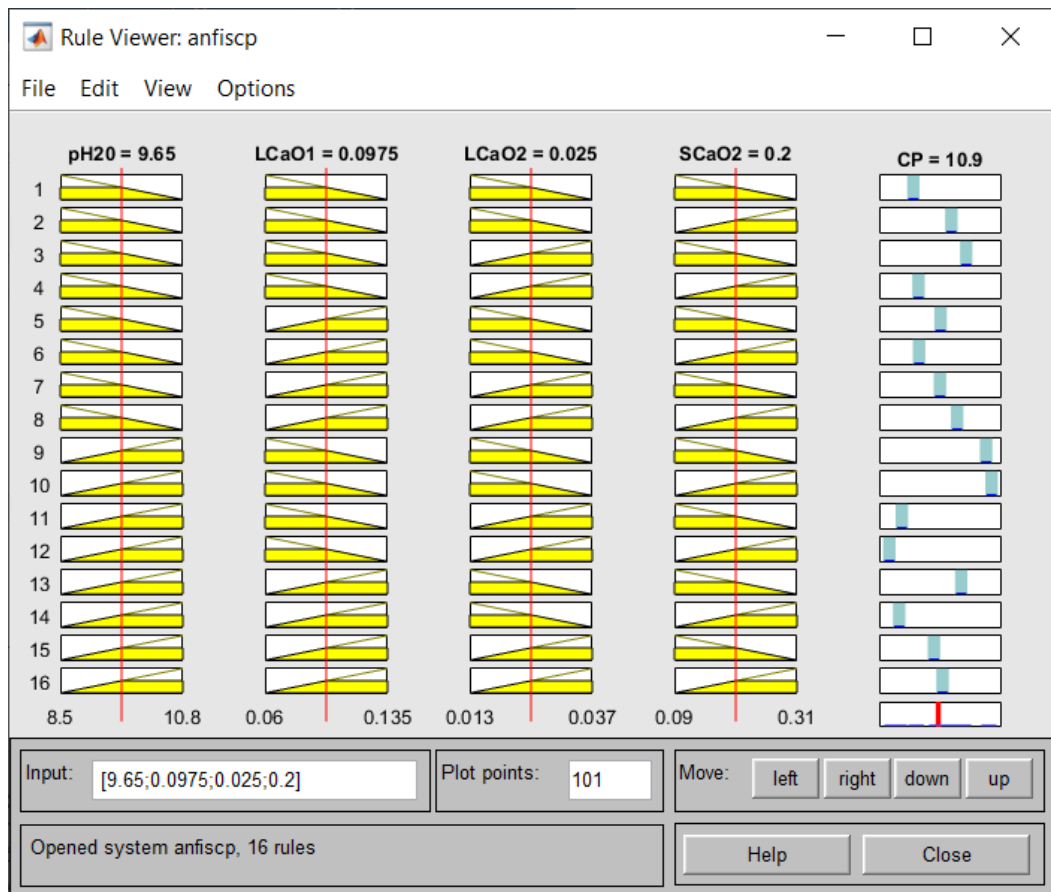


Рис. 4.8. Графічний інтерфейс згенерованих правил для параметра вмісту сухих речовин CP, %

З рис. 4.9 при значенні рН 10,1 од. рН за температури 20 °С I сатурації, лужності СаО I сатурації 0,127 %, лужності СаО II сатурації 0,0336 %, вмісту солей СаО 0,268 % II сатурації - чистота соку становить 92,2 %.

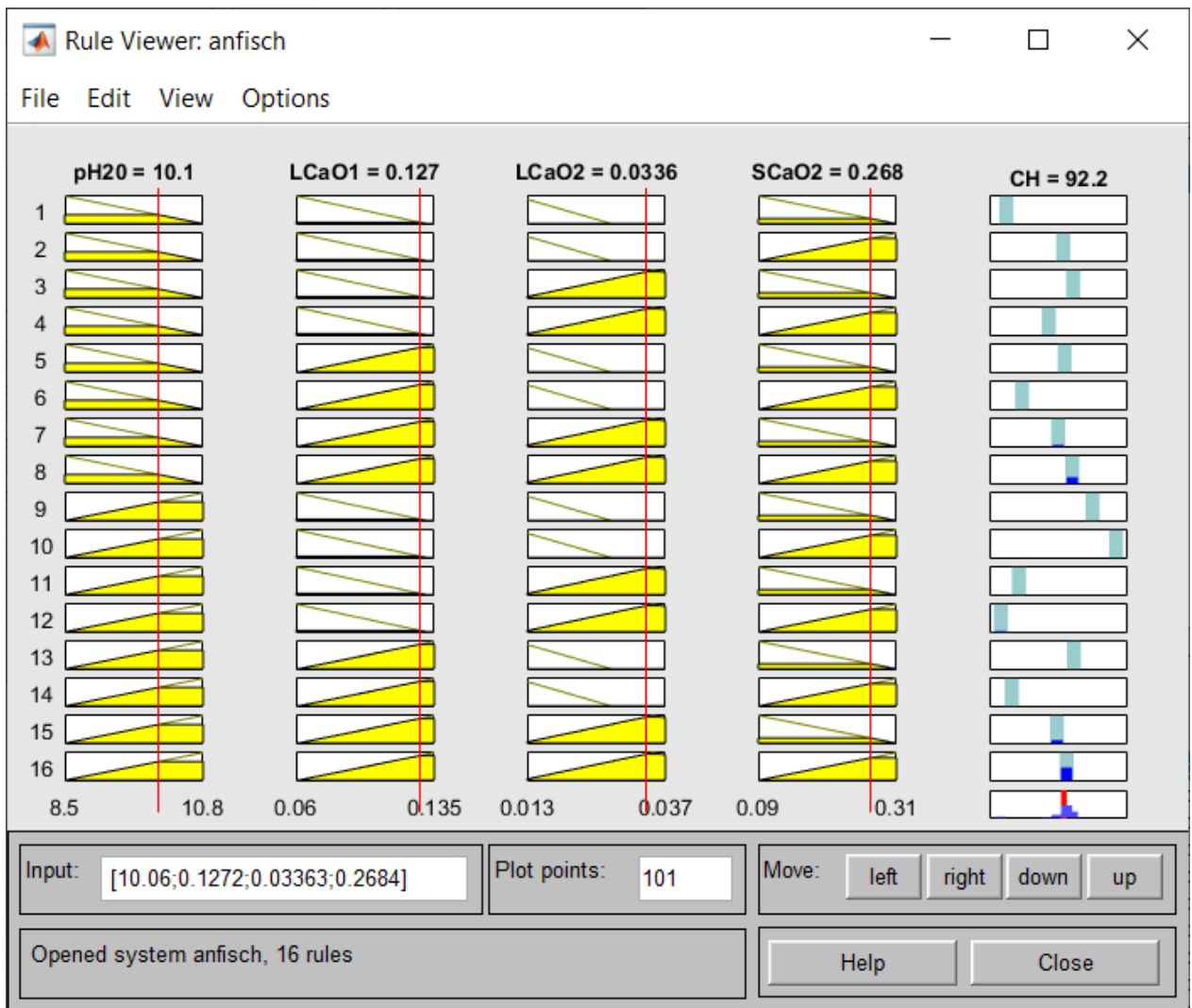


Рис. 4.9. Графічний інтерфейс згенерованих правил для параметра чистоти соку  
Ч, %

Також, були згенеровані поверхні відгуку залежностей вихідних параметрів від вхідних, які показані на рис. 4.10 – 4.13. Як видно із рисунків, всі поверхні відгуків мають нестандартну форму, за якою можна прослідкувати зміну параметрів та визначати оптимальні діапазони змін.

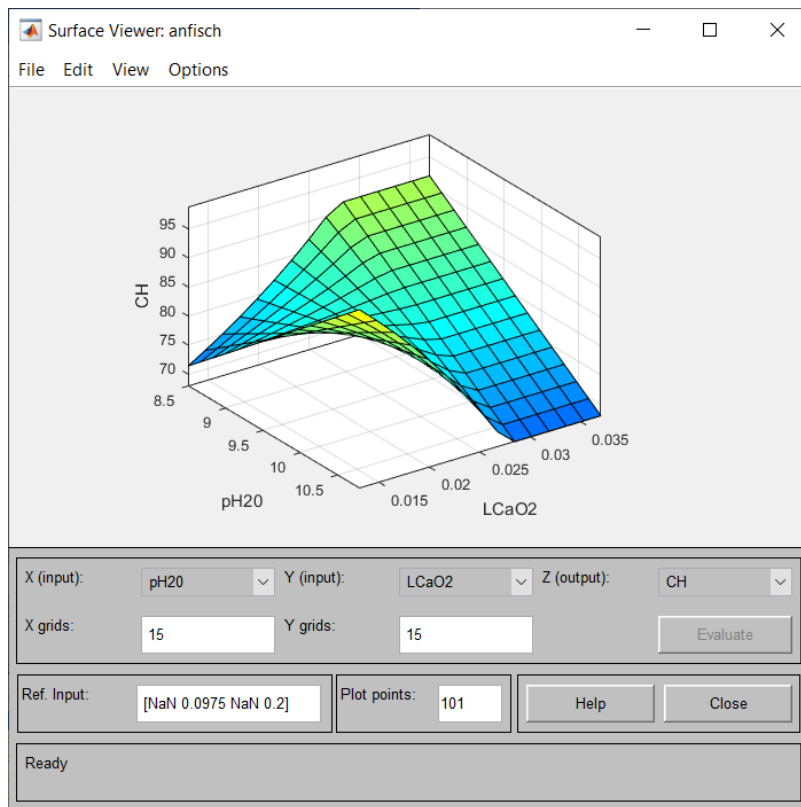


Рис. 4.10. Графік поверхні відгуку залежності чистоти соку від рН та лужності CaO II сатурації

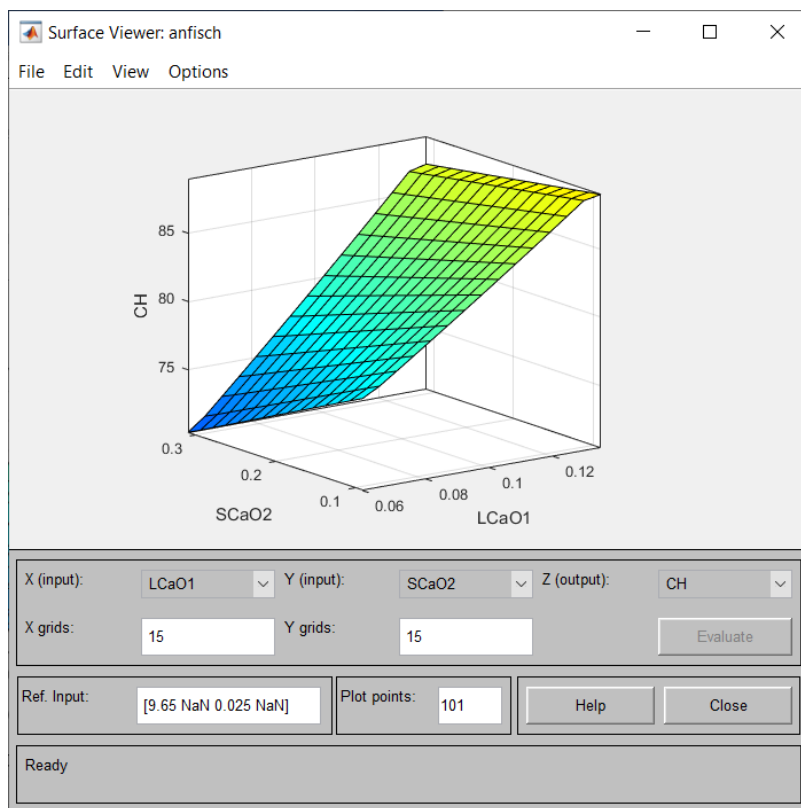


Рис. 4.11. Графік поверхні відгуку залежності чистоти соку від лужності CaO I сатурації та лужності CaO II сатурації

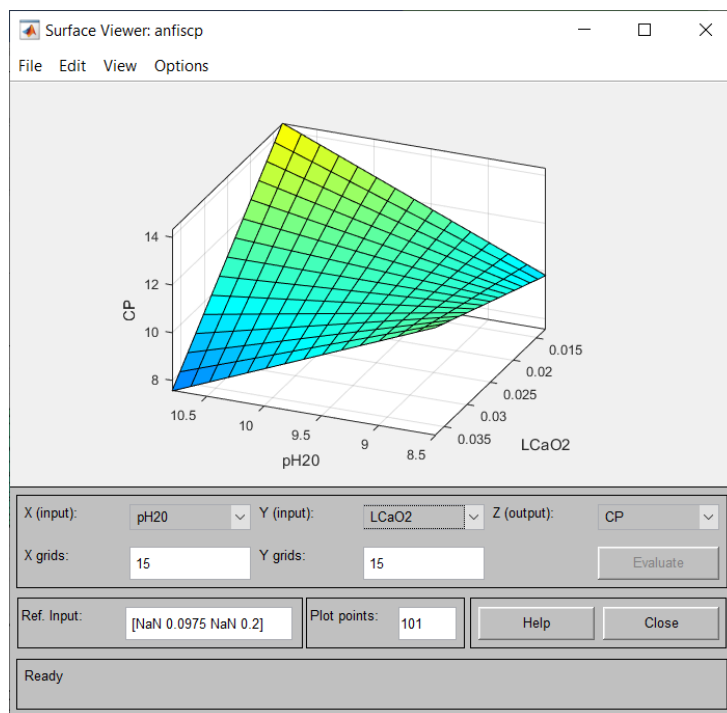


Рис. 4.12. Графік поверхні відгуку залежності вмісту сухих речовин у соці від рН та лужності СаО II сатурації

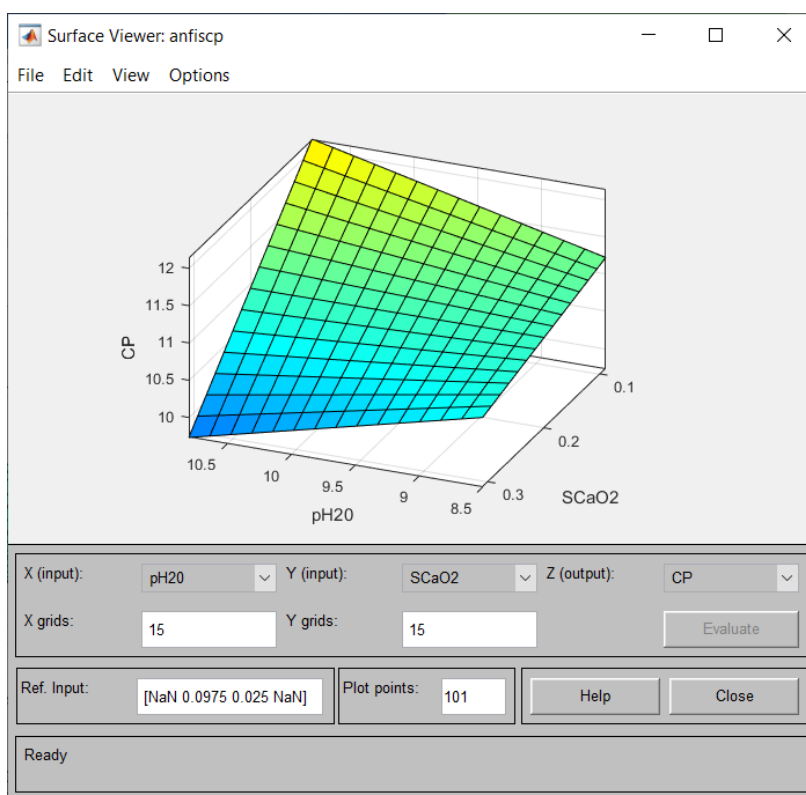


Рис. 4.13. Графік поверхні відгуку залежності вмісту сухих речовин у соці від рН та солей СаО II сатурації

Отже, використання адаптивної нейро - нечіткої мережі ANFIS може бути використаним для прогнозування процесу пересатурування соку. Потрібно пам'ятати, що даний процес може покращувати якість соку після сатурації за умов встановлення оптимальних параметрів для I та II сатурації, і побудована ANFIS модель дозволяє прослідковувати вплив вхідних параметрів, таких як:  $pH_{20}$  I сатурації, лужність у % CaO I сатурації, лужність у % CaO II сатурації, солі Ca у % CaO II сатурації на вихідні параметрами вмісту сухих речовин CP у % та чистоти соку Ч у %.

Побудована ANFIS мережа має 4 входи із двома функціями належності типу *trimf* для кожного вхідного параметра. Вихідний тип функцій належності є постійним. Похибка для двох мереж складає відповідно 0,002 % та 0,0064 %. Отримане значення є малим, що свідчить про адекватність розробленої моделі та точності відтворення параметрів процесу.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи були отримані наступні результати:

- проаналізовано загальну характеристику процесів автоматизації цукрового виробництва, технологічного процесу дефекосатурації, існуючі системи автоматизації відділення дефекосатурації;
- розроблено модель ієрархії обладнання для верхнього та нижнього рівнів цукрового заводу; схему функціональної структури АСУ відділення дефекосатурації;
- розроблено структурну схему комплексу технічних засобів для технологічного процесу II сатурації на базі мережі Ethernet TCP/IP; схему мережеских інформаційних потоків, яка показує обмін даними між різними пристроями на різних рівнях;
- розроблено схему автоматизації процесу II сатурації цукрового заводу; скомпоновано контролер Modicon M340; розроблені електричні принципові схеми контурів вимірювання, управління та сигналізації; розроблено дисплейну мнемосхему управління процесом II сатурації на базі SCADA – програми Vijeo Citect;
- проаналізовано вплив технологічних параметрів процесу дефекосатурації на якість очищення дифузійного соку; розроблено ANFIS мережу прогнозування вмісту сухих речовин та чистоти соку після сатурації, модель має 4 входи із двома функціями належності типу  $\text{trimf}$  для кожного вхідного параметра, похибка для двох мереж складає відповідно 0,002 % та 0,0064 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ладнюк А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія / А. П. Ладнюк, Н. А. Заєць, Л.О. Власенко. – К.: Видавництво Ліра-К. - 2016. – 312 с.
2. Ляшенко С. О. Впровадження АСУТП цукрового виробництва в Україні: екологічні аспекти. Інженерія природокористування. / С. О. Ляшенко, А. М. Фесенко, О. С. Ляшенко, В. В. Юрченко. - 2018. - № 2 (10). - С. 49-58.
3. Як процеси автоматизації вирішують проблеми цукрового виробництва? Режим доступу: <http://www.ukrsugar.com/uk/post/ak-procesi-avtomatizacii-virisuut-problemi-cukrovogo-virobnictva>
4. Походенко А.О. Удосконалення елементів GMP системи управління безпечністю на етапі очищення дифузійного соку для оператора ринку ПрАТ «Саливоньківський цукровий завод». Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4e379cb8-372e-49f8-91f7-401ec6d70a4d/content>
5. Автоматизація виробництва цукру. Режим доступу: <https://innovinnprom.com/en/galuzevi-rishennya/automation-sugar-production>
6. Система автоматизації станції дефекосатурації. Режим доступу: <https://sahavtomat.kiev.ua/satur.html>
7. Система автоматизації станції дефекосатурації. Режим доступу: [https://magma.com.ua/projects/vol/vol\\_defeco.php](https://magma.com.ua/projects/vol/vol_defeco.php)
8. Система автоматизації станції сатурації. Режим доступу: [https://magma.com.ua/projects/gnidava/gnidava\\_satur.php](https://magma.com.ua/projects/gnidava/gnidava_satur.php)
9. Пупена О.М. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва / О.М. Пупена, І.В. Ельперіню // Автоматизація технологічних і бізнес – процесів. – 2016. - Vol. 8. – Issue 3/2016. – с. 63-74.
10. Пупена О.М. Інтеграція систем управління / О.М. Пупена, І.В. Ельперін // Харчова і переробна промисловість. – 2005. - № 1. – с. 9-11.

11. Manufacturing Execution Systems – MES [J. Kletti, B. Berres, O. Brauckmann та інш.]. – New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. – 276 с.
12. Meyer H. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment / H. Meyer, F. Fuchs, K. Thiel., 2009. – 248 с.
13. MESA International [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.mesa.org](http://www.mesa.org).
14. International Society of Automation [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.isa.org](http://www.isa.org).
15. Enterprise/Control System Integration. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA -95.00.01-2010. - [Чинний від 2010–01–01]. – USA: International Society of Automation.
16. Enterprise/Control System Integration. Part 2: Object Model Attributes: ANSI/ISA -95.00.02-2010. - [Чинний від 2010– 01–01]. – USA: International Society of Automation.
17. Enterprise/Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management: ANSI/ISA95.00.03-2013. - [Чинний від 2013–01–01]. – USA: International Society of Automation.
18. «Проектування систем автоматизації» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/18240/1/04-03-281.pdf>
19. Пупена О.М. Особливості проектування комп'ютерно – інтегрованих систем управління [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/47958459-71ca-4c92-b288-73aca3c497fe/content>
20. Пупена О.М. Інтеграція систем управління. / О.М. Пупена, І.В. Ельперін // Харчова і переробна промисловість. - 2005. - №1ю - с.9-11.
21. Пупена О.М. Використання концепції ОРС в сучасних системах автоматизації / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, А.П. Ладанюк // Автоматизація виробничих процесів. – 2003. - №1. - с.65-70.
22. Трегуб В.Г. Структуризація системи управління при проектуванні сучасних систем автоматизації цукрових виробництв / В.Г. Трегуб, А.П. Ладанюк // Цукор України. - 2005 . - №4 . - с.34-36.

23. Промисловий контролер автоматизації Modicon M340 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.electrocentr.com.ua/ua/products/products/plc/m340.html>
24. Чернявський М.М. Дослідження якості сокоочистки у цукровому виробництві. / М.М. Чернявський // Збірник наукових праць. – 2010. - №5. – с. 90-97. Режим доступу: <http://repository.vsau.org/getfile.php/3484.pdf>
25. A. Kamsyakawuni, W. Sholihah, and A. Riski, “PREDICTION SYSTEM FOR THE AMOUNT OF SUGAR PRODUCTION USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM”, *BAREKENG: J. Math. & App.*, vol. 18, no. 4, pp. 2597-2610, Oct. 2024.
26. A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali: Jayapangus Press, 2018.
27. A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. Patra Media Grafindo, 2019.
28. Tarno, A. Rusgiyono, and Sugito, “Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) approach for modeling paddy production data in Central Java,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1217, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1217/1/012083.
29. B. Santoso, A. I. . Azis, and Zohrahayaty, *Machine Learning & Reasoning Fuzzy Logic Algorithm, Manual, & Rapid Miner*. Yogyakarta: Deepublish, 2020.