

**Бакалаврська кваліфікаційна робота
(у формі проєкту) на тему:**

**«ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ»**

Виконав: студент IV курсу, групи АКІТР-23мс,
спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

Микола ГРОМОВИЧ
« 13 » 06 2025 р.

Керівник: к.т.н. проф. кафедри АІТ
Володимир ПАПІНОВ
« 16 » 06 2025 р.

Рецензент: доцент к.т.н. к.т.н.
Валерій ДЕНІСЮК
« 16 » 06 2025 р.

Допущено до захисту:
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО

« 17 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальність 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри АІТ

д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ ” 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Громовичу Миколі Андрійовичу

1. Тема роботи «Інтегрована система автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти»

керівник проекту Папінов Володимир Миколайович, к.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від « 20 » березня 2025 року № 97 .

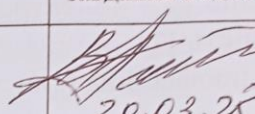
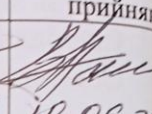
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи При виробництві сірчаної кислоти виконується окислювання діоксиду сірки контактним способом. Концентрації діоксиду сірки в газах перед контактним апаратом 9,0 - 10,0 %. Оптимальна температура технологічного газу на вході контактного апарату 400 - 420 °С. Оптимальна температура технологічного газу в шарі контактного апарату 460 - 480 °С. Оптимальна температура технологічного газу на виході контактного апарату 540 - 580 °С. Витрати газу на вході технологічної установки 31 - 470 м³/ч. Проектування інтегрованої системи управління даним виробництвом здійснювати на основі рекомендацій діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва.

4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту. 2) Проектування технічної частини системи. 3) Проектування програмної частини системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1) Концепція функціональної структури інтегрованої системи автоматизації. Плакат демонстраційний 2) Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема електрична структурна. 3) Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема автоматизації функціональна.

6. Консультанти розділів проєкту

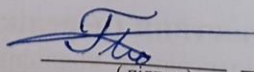
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-3	Папінов В.М., професор кафедри АІТ	 20.03.25	 10.06.25

7. Дата видачі завдання 20.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

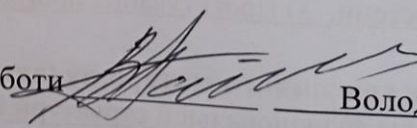
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи (у формі проєкту)	Термін виконання		При
		початок	закінчення	
1	Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту	03.10.2024	09.10.2024	
2	Розробка концепції функціональної структури інтегрованої системи автоматизації	12.03.2025	29.03.2025	
3	Розробка технічного завдання на дипломне проєктування	01.04.2025	26.04.2025	
4	Розробка електричної структурної схеми системи	29.04.2025	10.05.2025	
5	Розробка функціональної схеми автоматизації системи	13.05.2025	24.05.2025	
6	Проектування програмного забезпечення системи	27.05.2025	31.05.2025	
7	Перевірка ПЗ на відповідність вимогам	03.06.2025	07.06.2025	
8	Попередній захист, доопрацювання, та рецензування БКР	10.06.2025	15.06.2025	
9	Захист БКР	16.06.2025	23.06.2025	

Студент


(підпис)

Микола ГРОМОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПІН
(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проекту складається з 69 сторінок формату А4, на яких є 19 рисунків, 3 таблиць, список використаних джерел містить 24 найменувань.

Метою роботи є пошук концептуального рішення інтегрованої системи автоматизації (ІСА) промислового виробництва сірчаної кислоти, побудованої на основі комплексної системи автоматизації його основного технологічного процесу.

У загальній частині роботи проведений аналіз існуючих аналогічних систем автоматизації, обґрунтована концепція більш досконалої інтегрованої системи автоматизації промисловим виробництвом сірчаної кислоти та розроблено технічне завдання на проєктування автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП). В розрахунково-конструкторській частині роботи спроектована технічна частина АСУТП (схема функціональної структури, електрична структурна схема, функціональна схема автоматизації) та програмне забезпечення робочої станції оператора АСУТП (схема даних, загальна архітектура, окремі програмні модулі, графічний ЛМІ).

Ключові слова: інтегрована система автоматизації, автоматизована система управління технологічним процесом, сірчана кислота

Abstract

Bachelor's qualification work in the form of a project consists of 69 pages of A4 format, which contain 19 figures, 3 tables, the list of used sources contains 24 items.

The aim of the work is to find a conceptual solution for an integrated automation system (ISA) for industrial sulfuric acid production, built on the basis of a comprehensive automation system for its main technological process.

In the general part of the work, an analysis of existing similar automation systems was carried out, the concept of a more advanced integrated automation system for industrial sulfuric acid production was substantiated, and a technical task was developed for the design of an automated process control system (APCS). In the design and calculation part of the work, the technical part of the APCS (functional structure diagram, electrical structural diagram, functional automation diagram) and the software of the APCS operator's workstation (data diagram, general architecture, individual program modules, graphical LMI) were designed.

Keywords: integrated automation system, automated process control system, sulfuric acid

Зміст

Вступ.....	3
1 Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту.....	5
1.1 Аналіз технологічного процесу, що підлягає автоматизації	5
1.2 Аналіз існуючих аналогічних АСУ технологічним процесом.....	7
1.3 Вимоги діючих стандартів до проектування ІСА виробництва	12
1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА.....	17
2 Проектування технічної частини системи.....	24
2.1 Деталізація функціональної структури системи	24
2.2 Електрична структурна схема системи	26
2.3 Функціональна схема автоматизації системи	31
3 Проектування програмної частини системи.....	33
3.1 Вибір інструментальної системи проектування	33
3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора	35
3.3 Архітектура програмного забезпечення ПК оператора	37
3.4 Проектування окремих програмних модулів	43
3.5 Проектування графічного ЛМІ оператора	51
Висновки	53
Література	54
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту).....	57
Додаток Б (обов'язковий) Графічна частина.....	63
Концепція функціональної структури інтегрованої системи автоматизації. Плакат демонстраційний	64
Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема електрична структурна	65
Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема автоматизації функціональна	66
Додаток В (довідниковий) Обчислювальна модель процедури “Regulation”	67
Додаток Г (довідковий) – Графічний ЛМІ оператора. Головний екран.....	68
Додаток Д (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи ..	69

					08-31.БКР.006.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Громович М.А.			Інтегрована система автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Папінов В.М.						
Реценз.						ВНТУ, гр. АКІТР-23мс		
Н. контр.		Овчинников К.В.						
Затверд.		Бісікало О.В.						

Вступ

В промисловій автоматизації вже протягом 30 років сформувалася стійка тенденція переходу від автономних розподілених систем управління (PCY) до інтегрованих систем автоматизації (ICA) промисловим виробництвом у цілому в масштабах підприємства, холдингу або об'єднання. Передумовою цього процесу став поточний рівень розвитку усіх апаратно-програмних засобів автоматизації, який досягнутий на основі принципів міжнародної стандартизації та уніфікації [1].

Економічною причиною інтеграції є прагнення керівників підприємств шукати реальні додаткові джерела підвищення економічної ефективності виробничої діяльності підприємства. На кожному підприємстві такі джерела є, треба тільки вміти їх знайти, а для цього необхідно забезпечити збір, обробку і аналіз інформації оперативних даних з усіх технологічних і виробничих ділянок. Саме оперативної, а не в кінці зміни, робочого дня або місяця. Для того, щоб керувати собівартістю продукції треба поряд з інформацією про вартість сировини і робочої сили знати скільки сировини, електроенергії, пари, води і палива пішло на виготовлення кінцевої продукції.

Будь-яке промислове виробництво створюється на конкретному технологічному процесі, завдяки чому він вважається основним. Саме тому створення ICA даним промисловим виробництвом у першу чергу вимагає впровадження комплексної автоматизації його основного технологічного процесу [2]. Така комплексна автоматизація дозволяє значно зменшити вплив людського фактору на якісні показники як управління основним технологічним процесом, так і всім виробничим процесом, побудованим на його основі. В результаті система автоматизація основного технологічного процесу стає надійним фундаментом для подальшої побудови інтегрованої системи управління всім виробництвом, яка об'єднує усі взаємопов'язані процеси виробництва, керуючи ними як єдиним цілим для досягнення поставлених перед виробництвом кількісних та якісних завдань.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту є пошук концептуального рішення інтегрованої системи автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти, побудованої на основі комплексної системи автоматизації його основного технологічного процесу.

Нова інтегрована система автоматизації призначається для роботи у складі інтегрованої системи автоматизованого управління хімічним підприємством.

Об'єктом розробки є процес управління виробничою діяльністю по промислому виробництву сірчаної кислоти на хімічному підприємстві.

Предметом розробки є автоматизація процесу управління виробничою діяльністю хімічного підприємства шляхом застосування інтегрованої системи управління.

Для досягнення мети розробки мають бути вирішені такі задачі:

1. Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту.
2. Розробка концепції інтегрованої системи автоматизації.
3. Розробка технічного завдання на кваліфікаційне проєктування.
4. Розробка електричної структурної схеми системи.
5. Розробка функціональної схеми автоматизації системи.
6. Проєктування програмного забезпечення системи

Інноваційна новизна отриманих результатів полягає в тім, що на відміну від існуючих, нова інтегрована система управління спроектована з урахуванням рекомендацій діючих міжнародних стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва, що дозволило суттєво зменшити її загальну вартість за рахунок раціонального проєктного рішення системи як на рівні управління виробництвом, так і на рівні управління основним технологічним процесом.

Практична цінність отриманих результатів проєктування полягає в тім, що завдяки раціональності проєктних рішень системи, її легко реалізувати на хімічному підприємстві навіть власними силами фахівців ІТ та КВПіА відділків.

Апробація результатів проєктування: концептуальні результати виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту опубліковані в матеріалах LIV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2025) [3].

Розробка інтегрованої системи автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти виконувалась на основі індивідуального завдання, виданого кафедрою АІТ, та складеного технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту (додаток А).

1 Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту

1.1 Аналіз технологічного процесу, що підлягає автоматизації

При виробництві сірчаної кислоти контактним способом окислювання діоксиду сірки SO_2 здійснюється у присутності каталізатора по такій хімічній реакції [4-8]:



Для цього газ приводять у зіткнення з каталізатором, що перебуває в стаціонарному або псевдо рідкому стані. Кількість окисленого SO_2 виражають або в частках загального вмісту діоксиду сірки в газі, або у відсотках до загальної первісної кількості SO_2 у газі. Цю величину називають ступенем перетворення, або ступенем окислювання. Ступінь перетворення SO_2 , що досягається на каталізаторі, залежить від його активності, складу газу, тривалості контакту газу з каталізатором, тиску, температури та ін. Експериментальним шляхом установили, що найкращим каталізатором для цього процесу є оксид ванадію V_2O_5 .

Для газу, що описаний рівнянням (1.1), теоретично можлива (рівноважна) ступінь перетворення (X_p) виражається таким рівнянням:

$$X_p = P_{\text{SO}_3} / (P_{\text{SO}_2} + P_{\text{SO}_3}), \quad (1.2)$$

де P_{SO_3} – рівноважний парціальний тиск SO_3 ;

P_{SO_2} - рівноважний парціальний тиск SO_2 .

Зі збільшенням ступеня перетворення зменшується зміст SO_2 у газах, що відходять. Так, при $X = 0,995$, у газах, що відходять, утримується близько 0,04% SO_2 .

Для здійснення процесу окислювання SO_2 в триоксид сірки SO_3 застосовують різні контактні апарати (реактори). Переважний розвиток одержали багат шарові контактні апарати із проміжним охолодженням (теплообміном), які відрізняються простотою, можливістю використання тепла реакції, малим гідравлічним опором і іншими перевагами.

Теплообмінник розміщується усередині контактного апарата або поза нього. Процес окислювання SO_2 полягає в тому, що газ, підігрітий до температури трохи вище температури запалювання ($400-420^\circ\text{C}$), пропускають через перший шар контактної маси, де відбувається окислювання 60-80% усієї кількості SO_2 . Нагрівання суміші починається вже в теплообміннику, що встановлений перед контактним апаратом. Суміш проходить між трубками теплообмінника й нагрівається від цих трубок. Усередині трубок проходить гарячий SO_3 з контактного апарата. Потрапляючи в контактний апарат, суміш SO_2 і O_2 продовжує нагріватися до

потрібної температури, проходячи між трубками в контактному апараті. Як тільки суміш оксиду сірки й кисню досягне шарів каталізатора, починається процес окислювання SO_2 в SO_3 . Температура 400-500°C у контактному апараті підтримується за рахунок виділення теплоти в реакції перетворення SO_2 в SO_3 .

В ході реакції температура газу може підвищуватися до 550-580°C за рахунок виділення тепла. Тому газ після першого шару охолоджують до 460-480°C або у теплообміннику, або шляхом додавання холодного газу. Після охолодження газ надходить у другий шар контактної маси, де відбувається подальше окислювання SO_2 . При цьому температура знову підвищується і газ знову потрібно охолоджувати й т.д.

Температурні умови процесу тим ближче до оптимальних, чим більше шарів контактної маси. У промисловості використовують контактні апарати, що мають від трьох до п'яти шарів контактної маси.

Один з основних шляхів інтенсифікації виробництва сірчаної кислоти полягає в підвищенні початкової концентрації діоксиду сірки в газах перед контактним апаратом. При концентрації діоксиду сірки близько 10,5% рівновага на виході з першого шару досягається при температурі вище 600°C. Однак при цьому виникає можливість перегріву каталізатора й зниження його активності.

Розглянемо основні фактори, що впливають на режим роботи контактного апарата. Температура в шарі каталізатора залежить від кількості й концентрації діоксиду сірки у випалювальному газі, а також від його температури. Найбільший вплив на температуру в контактному апараті здійснює концентрація діоксиду сірки у випалювальному газі: чим більше виділяється тепла в результаті реакції окислювання діоксиду сірки в триоксид, тим вище температура. Вплив зміни витрати випалювального газу на температуру на виході із шару каталізатора й ступінь конверсії практично непомітний, проте сильно змінюється температура усередині шару (вимірюється на 1/4-1/5 висоти шару).

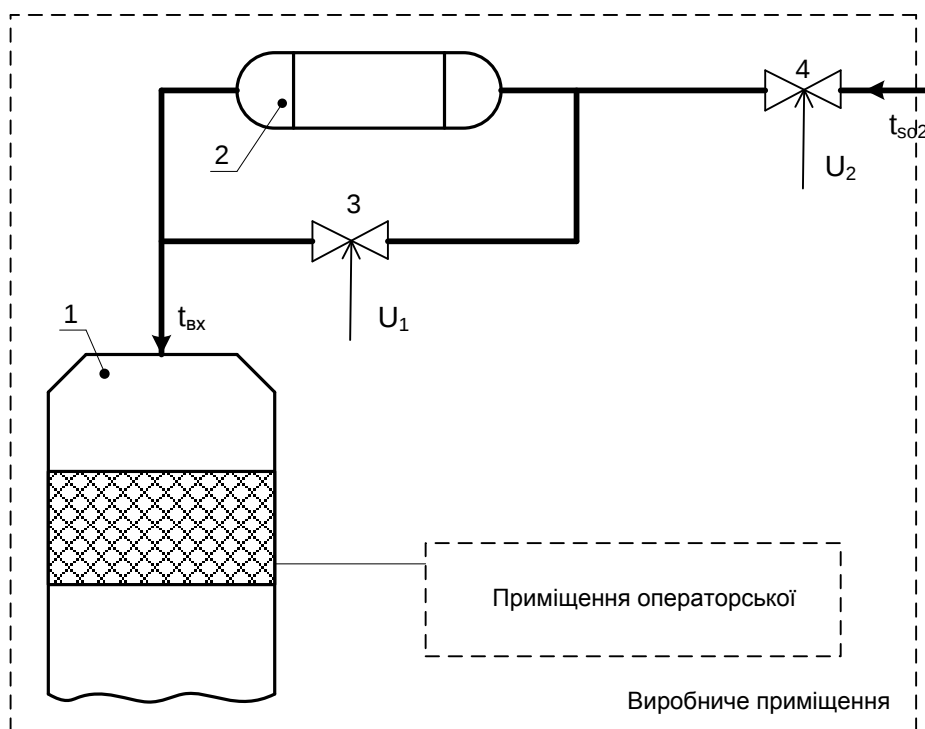
Для того, щоб зменшити втрати сірки, стабілізують ступінь конверсії в перехідних режимах шляхом компенсації збурень, викликаних зміною концентрації діоксиду сірки й витрати газу в контактний апарат.

На рисунку 1.1 представлена технологічна схема процесу контактного окислення діоксиду сірки.

Алгоритм управління процесом оснований на аналізі поточних значень технологічних температур. Вимірювання температур здійснюється у трьох точках контактного апарату: на вході в контактний шар, усередині шару й на виході з нього.

При відхиленні температури усередині контактного шару від заданого значення, викликаного зміною температури газу на вході в контактний шар, вентилем 3 регулюється подача газу до теплообмінника. Також вентилем 4 змінюється витрата холодного газу на вході до технологічного процесу, а,

відповідно, і температура газу на вході в контактний апарат. Це приводить до попередньої компенсації збурювання технологічного процесу.



1 - контактний апарат; 2 - теплообмінник; 3,4 - регулювальні вентиля

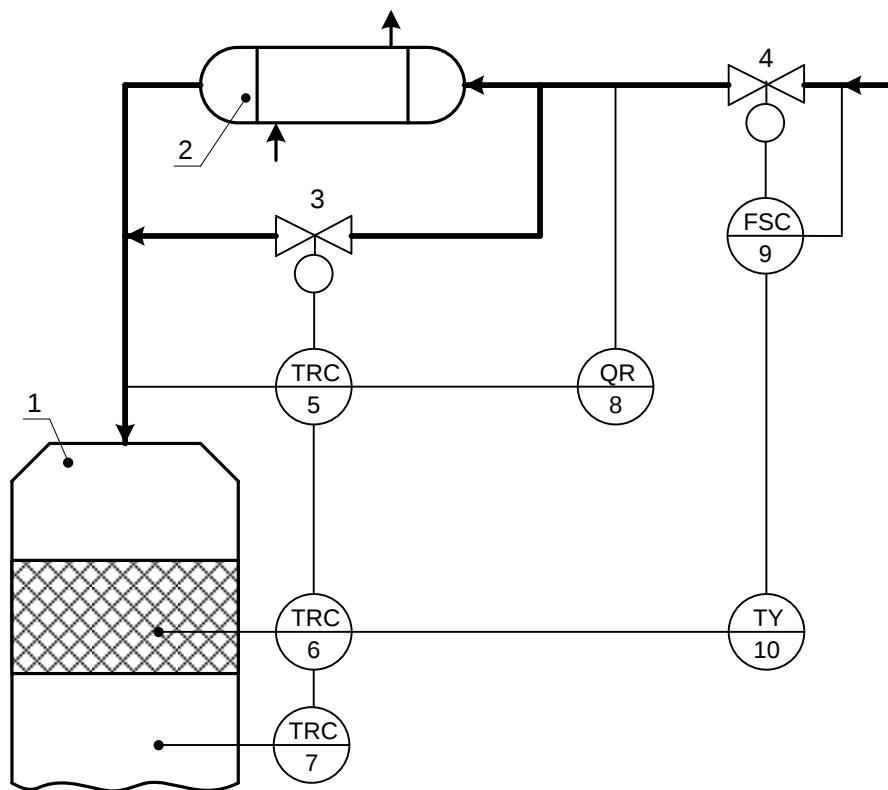
Рисунок 1.1 - Технологічна схема процесу контактного окислення діоксиду сірки

Введення в контур стабілізації температури на вході контактного апарата (через вентиль 3) корекції від концентрації діоксиду сірки у випалювальному газі на вході технологічного процесу дозволяє компенсувати вплив зміни концентрації діоксиду сірки.

Описаний алгоритм управління технологічним процесом окислення діоксиду сірки забезпечує при значних коливаннях складу й навантаження випалювального газу збільшення загального ступеня контактування на 0,1-0,2%. Розглянемо тепер існуючі системи управління процесом, що побудовані на описаному алгоритмі роботи.

1.2 Аналіз існуючих АСУ технологічним процесом

Наприкінці двадцятого сторіччя у вітчизняній практиці широко застосовувалася типова схема автоматизації виробництва сірчаної кислоти за допомогою контактного методу [9]. На рисунку 1.2 наведена функціональна схема автоматизації такої системи.



1 - контактний апарат; 2 - теплообмінник; 3, 4 – регулювальні вентиля;
 5-7 – регулятори температури; 8 – датчик концентрації;
 9 – регулятор витрат; 10 – обчислювальний блок

Рисунок 1.2 – Типова функціональна схема автоматизації технологічного процесу окислення діоксину сірки

Система може працювати в двох режимах. Розрізняють режими швидкого і повільного регулювання. При швидкому регулюванні збільшення (зменшення) подачі газу через клапан 4 призводить до відповідного зменшення (збільшення) концентрації газу SO_2 на вході контактної апаратури. У режимі повільного регулювання виконується контроль температури на вході, в середині і на виході контактної апаратури. За результатами контролю клапаном 3 змінюється об'єм газу, що проходить через теплообмінник.

Аналіз систем управління, що побудовані за описаною схемою, дозволяє виявити цілий ряд їх недоліків:

- похибки вимірювання параметрів технологічного процесу або їх складові (наприклад, ті, що обумовлені передаванням інформації на відстань) не відповідають сучасним вимогам по точності управління;
- моральна та фізична застарілість її засобів автоматизації, їх ремонт або дуже дорогий (виконується власними силами підприємства), або повністю неможливий (запчастини вже не виготовляються);

- низька надійність системи в цілому та окремих її засобів із-за їх застарілості призводить до того, що вони часто виходять з ладу, а це веде до простою технологічного обладнання на час ремонту;

- контрольно-вимірювальні прилади розміщені на спеціальних щитах, вони мають низьку інформативну спроможність, розміщені у цеху в різних місцях, що не дозволяє диспетчеру швидко реагувати на їх сигнали;

- система не захищена від впливу електромагнітних полів технологічного устаткування та температури оточуючого середовища на передавання вимірювальних сигналів, що збільшує похибки вимірювання і керування;

- в системі важко налаштовувати та регулювати апаратуру, бо типова система побудована на засобах з жорсткою логікою дії, а не за програмою, яку можна легко змінити (низька гнучкість системи управління);

- якість регулювання недостатня, бо не можна реалізувати складні алгоритми (нелінійні, адаптивні, статистичні, оптимальні тощо);

- типова система має низьку ефективність засобів комунікації, що не дозволяє відносити контрольно-вимірювальне обладнання на велику відстань (у спеціальну диспетчерську) та легко інтегрувати її в систему управління підприємством;

- вона не відповідає сучасним ергономічним умовам в плані інформативного забезпечення та якісної роботи диспетчера, немає ефективних засобів аварійної сигналізації;

- диспетчер повинен працювати у важких виробничих умовах, а не в окремому приміщенні диспетчерської;

- типова система управління технологічним процесом не формує автоматично документи та звіти за результатами своєї роботи;

- в системі повністю відсутні засоби розрахунку техніко-економічних показників процесу виробництва триоксиду сірки.

На початку двадцять першого сторіччя для усунення зазначених недоліків типової системи управління стали застосовуватися сучасні інформаційні технології та програмно-апаратні засоби автоматизації [10-12].

Так, у 2010 році на одному з підприємств СНД була проведена комплексна модернізація АСУТП з метою рішення наступних задач [10]:

- заміна ненадійних обчислювальних засобів, що відробили свій ресурс, на високонадійну сучасну мікропроцесорну техніку;

- підвищення надійності і якості управління технологічним процесом за рахунок використання сучасних мікропроцесорних контролерів і SCADA-систем;

- зниження експлуатаційних, сировинних і енергетичних витрат на виробництво одиниці продукції;

- одержання інформації про стан оперативного управління в реальному масштабі часу з можливістю архівації даних про хід

технологічного процесу й наступного аналізу.

На сьогоднішній день на підприємстві успішно експлуатується більше двох десятків контролерів МФК і шість ТКМ52 компанії «ТЕКОН», які застосовуються в складі автоматизованих систем управління цехів по виробництву сірчаної кислоти, цехів по виробництву фосфорної кислоти й амофосу.

У цеху по виробництву сірчаної кислоти використовуються установки типу СК-48 і СК-41. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління цим цехом представлена на рисунку 1.3.

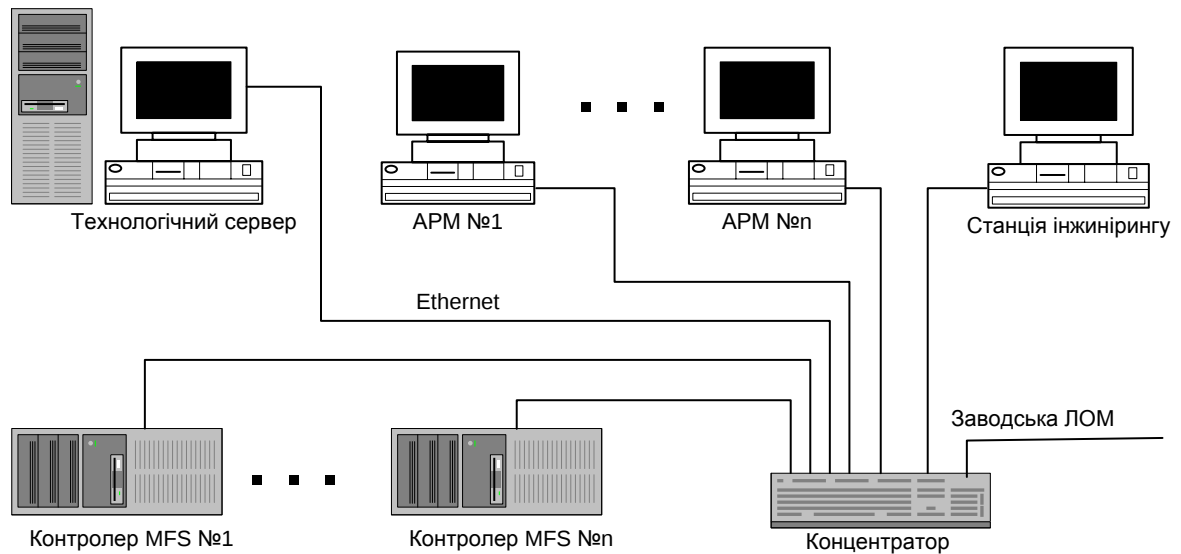


Рисунок 1.3 - Узагальнена структурна схема автоматизованої системи управління сірчанокислим виробництвом

АСУТП цеху виконує інформаційні, керуючі, допоміжні й організаційно-технологічні функції. Інформаційні функції такі:

- вимірювання і контроль технологічних параметрів (витрати, температури, стану обладнання);
- контроль граничних значень параметрів технологічного процесу;
- сигналізація роботи обладнання (робота / резерв);
- виявлення, сигналізація й реєстрація відхилень параметрів від установлених регламентних границь;
- ручне введення даних, у тому числі лабораторних;
- формування й видача оперативних даних;
- архівування передісторії параметрів технологічного процесу на твердому магнітному диску;
- формування друкованих вихідних документів;
- ведення змінного журналу технологічного стану процесу.

Керуючі функції системи такі:

- пряме цифрове управління контурами (параметрами) технологічного процесу;
- реалізація протиаварійних захистів;
- видача керуючих впливів (здійснюється із мнемосхем на дисплеї);
- управління дискретними виконавчими механізмами (здійснюється натисканням кнопок "Відкрити/Включити", "Закрити/Виключити" на мнемосхемі дисплея);
- управління електроустаткуванням: пуск і зупинка.

Допоміжні функції системи такі:

- тестування комплексу технічних засобів ПТК;
- настроювання контурів регулювання за допомогою спеціалізованих інструментальних програм;
- переналагодження системи (зміна конфігурації ПЗ).

Організаційно-технологічні функції системи такі:

- розрахунок споживання й виробітку ТЕР («добовий рапорт») на установці за годину, зміну, добу; з нагромадженням за місяць; розрахунок питомих норм на одиницю випущеної продукції;
- облік часу пробігу (простою) обладнання;
- оцінка діяльності технологічного персоналу;
- розрахунок техніко-економічних показників цеху за зміну, добу.

У цеху встановлено три контролери МФК і шість контролерів ТКМ52. Всі контролери працюють під управлінням спеціального ПЗ TeNIX®. Програмування ведеться в середовищі ISaGRAF. Дане програмне забезпечення дозволило досить швидко реалізувати можливість побудови локальних систем керування на базі типових алгоритмів САУ. Для більш зручної й швидкої розробки користувальницьких додатків застосовувалася бібліотека алгоритмів TIL Std, FBD-блоки якої слугують доповненням до існуючих стандартних функцій і функціональних блоків, інтегрованих у середовище ISaGRAF Workbench.

Верхній рівень АСУТП реалізований на базі SCADA Fix 7.0 і iFix 2.6 фірми GE Fanuc. Загальна кількість робочих місць системи верхнього рівня становить 6 штук, включаючи сервер, інженерну станцію й клієнтів-операторів. Зв'язок контролерів із SCADA-системою здійснюється по OPC-технології з використанням продукту TecnoOPC. SCADA-система працює під управлінням ОС Windows NT і Windows 2000, може використовувати засоби захисту Windows NT, а також підтримує сучасний інтерфейс OPC.

Вузли Fix і iFIX (тобто комп'ютери із встановленим ПЗ Fix і iFIX) об'єднані у локальну обчислювальну мережу Ethernet із протоколом обміну TCP/IP. Основні функції вузлів iFIX - відображення інформації про стан технологічного процесу, обробка тривоги, формування керуючих сигналів відповідно до логіки управління, архівування й перегляд архівів і інші

перераховані вище функції. Мережна архітектура iFIX дозволяє легко масштабувати існуючі системи й поєднувати в загальну мережу підприємства локальні мережі технологічних ділянок.

Крім того, дані з АСУТП передаються в автоматизовану систему оперативного управління виробництвом PI System і в автоматизовану систему керування підприємством СТАРТ 2000.

Реалізована в цей час інтеграція всіх обчислювальних засобів у єдину інформаційну мережу підприємства на базі PI System дозволяє фахівцям, відповідно до посадових повноважень, одержувати оперативну інформацію про параметри технологічного процесу і госпрозрахункових показниках стану технологічного процесу практично на всіх виробництвах підприємства.

Однак технічне рішення системи має ряд суттєвих недоліків, головним з яких є дорожнеча проекту. Це пояснюється тим, що:

- в процесі розробки використовувались дорогі SCADA Fix 7.0 і iFix 2.6 фірми GE Fanuc, що призвело до великих витрат коштів на їх придбання;
- для реалізації системи управління застосовані дорогі промислові контролери МФК і ТКМ52 російської фірми «ТЕКОМ», для яких окремо було придбане спеціальне програмне забезпечення TeNIX® та інструментальна система розробки прикладних програм ISaGRAF;
- система управління пристосована тільки для певного підприємства, а її супроводження здійснюється не персоналом цього підприємства, а організацією-розробником, що різко здорожує супроводження системи в процесі її експлуатації;
- для вимірювання технологічних параметрів процесу використовуються дорогі засоби закордонного виробництва, що теж значно подорожило проект.

У зв'язку з цим однією з задач даного проекту є здешевлення саме системи управління технологічним процесом окислення діоксиду сірки при збереженні високої ефективності процесу управління.

1.3 Вимоги діючих стандартів до проектування ІСА виробництва

Концепція комп'ютерно-інтегрованого виробництва «СІМ» (Computer Integrated Manufacturing) була сформована наприкінці ХХ століття, тоді ж були розроблені перші міжнародні стандарти у цій області [13-15]. Ці стандарти надають конкретні рекомендації як щодо організації самого комп'ютерно-інтегрованого виробництва (неперервного, дискретного, періодичного), так і щодо побудови відповідних інтегрованих систем автоматизації (ІСА) цього виробництва.

Так, в [13] визначена загальна ієрархічна структура ІСА промислового підприємства, яка має такі складові частини (горизонтальні рівні управління) – АСУП або ERP система (рівень управління бізнес процесами), АСУВ або

MES/MOM система (рівень управління виробництвом), АСУТП або SCADA система (рівень управління окремими технологічними процесами та виробничими об'єктами).

В такій ІСА на рівні управління бізнес процесами (АСУП або ERP система) мають виконуватися об'ємне стратегічне й оперативне (місячне) планування, бюджетування, фінансування, логістика та взаємодія з постачальниками й споживачами продукції. На рівні управління виробництвом (АСУВ або MES/MOM система) мають виконуватися контроль, облік, календарне планування й оперативне управління виробництвом і всіма його обслуговуючими службами. На рівні управління окремими технологічними процесами та виробничими об'єктами (АСУТП або SCADA системи) мають виконуватися контроль, облік і оперативне управління виробничими переділами – технологічними агрегатами, транспортними лініями, сховищами (складами, силосами, газгольдерами, парками резервуарів), ділянками компаундування напівфабрикатів, секціями прийому сировинних компонентів і відпуску готової продукції.

Розглянемо більш детально вимоги діючих стандартів щодо побудови ІСА на рівні управління виробництвом, що є темою даного кваліфікаційного проєкту. Так, спеціальна міжнародна асоціація виробників систем управління виробництвом «MESA» зафіксувала в 1994 році типові функції систем рівня АСУВ/MES для підприємств всіх галузей промисловості дискретного, періодичного й безперервного типів [16]. Ця стандартна функціональна структура показана на рисунку 1.4. Ця структура містить такі функції:

1). Контроль стану й розподілу виробничих ресурсів (англ. Resource Allocation and Status, RAS). Поточний аналіз наявних різних виробничих ресурсів, виявлення відсутніх і зайвих ресурсів, які можуть змінити оперативні виробничі плани. Дані вводяться зі складів і з виробничих ділянок.

2). Оперативне (календарне) планування (детальний розклад) всіх виробничих процесів (англ. Operations/Detail Scheduling, ODS). Складання детального графіка роботи всього встаткування на поточний календарний інтервал, спостереження за його виконанням, необхідне коректування. Використовуються дані планового відділу, виробничі дані, дані складського обліку.

3). Диспетчеризація виробництва (англ. Dispatching Production Units, DPU). Забезпечення поточного контролю за ходом всіх виробничих процесів, за різними порушеннями в протіканні процесів і вироблення рекомендацій з їхнього усунення.

4). Управління документацією (англ. Document Control, DOC). Введення, зберігання й видача документів планового й звітного типів, конструкторського й технологічного змісту, повідомлень про технічні зміни й т.д. Формування загальних оперативних зведень про хід виробництва, необхідних для прийняття рішень у фінансово-господарських підрозділах

підприємства.

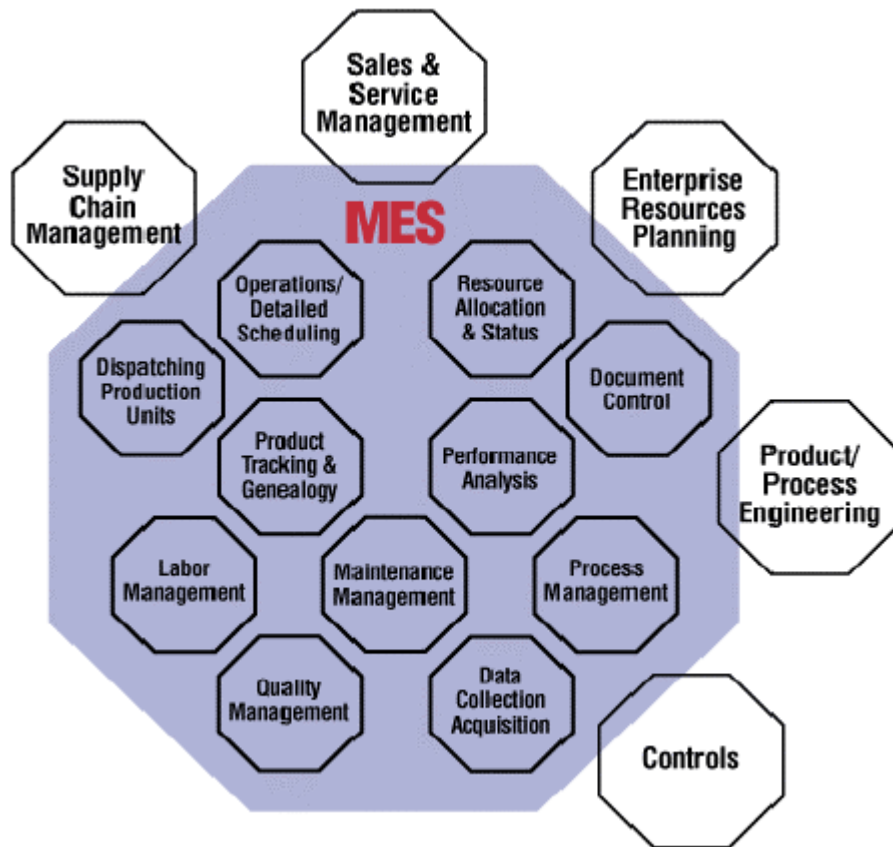


Рисунок 1.4 – Стандартна функціональна структура ІСА на рівні АСУВ/MES

5). Збір інформації про хід виробництва й зберігання даних (англ. Data Collection/Acquisition, DCA). Інформаційна взаємодія різних виробничих систем для одержання, нагромадження, передачі всіх даних, що циркулюють у виробничому середовищі підприємства.

6). Управління персоналом у режимі реального часу (англ. Labor Management, LM). Узгодження графіка роботи виробництва з розподілом робочої сили.

7). Аналіз і управління якістю продукції (англ. Quality Management, QM). Збір інформації про якість сировини, напівфабрикатів, готової продукції й виявлення відхилень якості від заданих норм, які вимагають втручання керуючого персоналу.

8). Управління виробничими процесами і їхнім коректуванням (англ. Process Management, PM). Відстеження ходу виробничих процесів і їхніх режимів, виявлення відхилень і видача рекомендацій для їхньої компенсації.

9). Управління ремонтами встаткування (англ. Maintenance Management, MM). Моніторинг технічного стану встаткування, планування й оперативне управління ремонтами, контроль проведення робіт з

обслуговування й по ремонтах.

10). Спостереження за місцем і часом виконання робіт з кожного виробу (англ. Product Tracking and Genealogy, PTG). Забезпечення керівництва підприємства всіма оперативними даними про хід виробничих процесів.

11). Аналіз продуктивності – порівняння планової й фактичної продуктивності (англ. Performance Analysis, PA). Формування звітів про продуктивність окремих ділянок виробництва, цехів, виробництва в цілому за різні інтервали часу. Зіставлення їх із плановими показниками, з попередніми результатами й вироблення рекомендацій.

В 2004-ом році із цього складу типових функцій MESA виключила три функції:

- «Оперативне планування», через наявність на ринку окремого класу систем досконалого планування - APS (Advanced Planning & Scheduling);
- «Управління документацією», через появу окремого класу систем електронного документообігу Docflow;
- «Управління ремонтами встаткування», через широке поширення окремого класу систем управління основними фондами підприємства - EAM (Enterprise Asset Management).

Комітет з розробки стандартів інтеграції керуючої й технологічної інформації міжнародної організації по стандартизації - ISA в 2000 р. випустив спеціальний стандарт - ISA-95 "Enterprise Control System Integration", що визначає основні положення розробки MES для будь-яких виробництв і підприємств всіх галузей промисловості [17]. Стандарт складається з п'яти частин, у яких формулюється термінологія, варіанти використовуваних моделей, їхніх характеристик, взаємозв'язків виробничих процесів з бізнес процесами. Головні розглянуті в стандарті області: виробнича діяльність, технічне обслуговування, підтримка якості й операції із запасами. Стандарт визначає форми опису:

- виробництва, устаткування, матеріалів, персоналу;
- інформації про виробничі процеси, продукти, графіки роботи, параметри устаткування;
- функцій управління виробництвом, обслуговування встаткування, обліку запасів, оцінки якості продукції.

Стандарт також фіксує структури повідомлень між різними інформаційними системами підприємств (між автоматизованими функціями) та типові зв'язки між двома рівнями ICA – рівнем «АСУВ/MES системи» і рівнем «АСУП/ERP системи».

Таким чином, стандартний функціонал ICA на рівні «АСУВ/MES системи» повинен містити автоматизацію функцій контролю, обліку, календарного планування й оперативного управління виробництвом, які виходять за рамки окремих виробничих об'єктів і охоплюють все виробниче середовище або його досить самостійні окремі виробничі служби. З

урахуванням цього весь функціонал даного рівня ІСА можна розділити на дві такі досить самостійні частини:

- базовий компонент, що є фундаментом для виконання будь-яких завдань управління виробництвом і без якого не може функціонувати будь-який інший компонент даного рівня ІСА. Таким базовим компонентом є інформаційна платформа, тобто, система контролю й обліку роботи виробництва і його окремих служб, яка виконує функції збору даних про поточний стан виробництва; їх математичної й логічної обробки й розрахунку необхідних для управління матеріальних, енергетичних, якісних, екологічних показників; зберігання й документування даних і показників; оперативного зв'язку з персоналом підприємства, зі спеціалізованими компонентами даного рівня ІСА, з АСУП/ERP системою і її бізнес процесами;

- спеціалізовані компоненти автоматизації різних служб виробництва, що опираються у своїй роботі на базовий компонент і автоматизують задачі контролю, обліку й управління, що реалізовані в різних виробничих службах. Спеціалізованими компонентами є системи автоматизації, що виконують функції зведення матеріального балансу по виробництву, календарного планування й оперативного управління виробництвом. До них належать також системи, що автоматизують роботу основних підрозділів виробництва: ремонтних служб виробничого встаткування різних класів і типів, виробничих лабораторій, служб електроенергетики і теплоенергетики.

Світова практика впровадження систем рівня «АСУВ/MES» дозволяє виділити такі основні особливості їх побудови:

- процес проєктування й впровадження всіх окремих компонентів, що входять у комплекс під назвою «АСУВ/MES», при умовах достатнього й безперервного фінансування робіт і послідовного впровадження окремих компонентів є досить витратним і тривалим у часі (не менше 3-5-ти років);

- окремі компоненти комплексу «АСУВ/MES» можуть розроблятися (і в переважній більшості випадків розробляються) різними організаціями на базі програмних і технічних засобів різних виробників, але з передбачуваною відкритістю використовуваних засобів автоматизації для досить вільної їх взаємодії один з одним;

- підприємства-замовники комплексу «АСУВ/MES», у переважній більшості, досить слабо представляють сучасні можливості автоматизації виробництва і його служб і не можуть самі скласти необхідні, досить повні й конкретні вимоги на компоненти даного комплексу і, відповідно, не можуть оцінити якість їхньої побудови.

Тепер на основі проведених вище аналізів вимог діючих стандартів до побудови ІСА виробництвом на рівні «АСУВ/MES» та існуючих аналогічних АСУТП можна сформулювати напрямки подальшого проєктування ІСА за темою кваліфікаційного проєкту та розробити її концептуальне рішення

(концепцію), яка означить загальне бачення проєкту системи.

1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА

Враховуючи рекомендації діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва нову ІСА промислового виробництва сірчаної кислоти доцільно будувати за ієрархічним принципом, згідно з яким вона повинна включати два обов'язкових рівня управління – «АСУТП/SCADA система» та «АСУВ/MES система», які за допомогою інформаційних потоків об'єднуються у єдину цілісну систему. Світовий досвід застосування такого концептуального рішення ІСА показує, що воно зазвичай дає такі якісні результати:

- підвищення продуктивності виробничого процесу;
- стабілізація якості готової продукції виробництва;
- значне скорочення енерговитрати на виробництво;
- зниження витрати на обслуговування й ремонт устаткування;
- збільшення економічної ефективності виробництва;
- підвищення культури управління виробництвом.

Саме тому цю концепцію ми і застосуємо при побудові нової ІСА.

Вище було також відмічено, що рівень управління «АСУВ/MES система» в такій ІСА доцільно поділяти на дві досить самостійні частини:

- базовий компонент у вигляді інформаційної платформи;
- спеціалізовані компоненти автоматизації різних служб виробництва.

По своїй суті інформаційна платформа рівня «АСУВ/MES система» являє собою систему контролю й обліку роботи виробництва, саме тому її ще йменують як «Manufacturing Information System» (MIS), тобто інформаційна виробнича система [17, 18]. В її функції входять збір, обробка, зберігання й видача користувачам оперативної, ретроспективної й нормативної інформації про різні аспекти роботи окремих переділів виробництва й про поточний стан виробництва. У цій системі також виконується збереження інформаційної моделі виробництва та узагальнюються усі дані про хід виробництва. Завдяки наявності цієї системи значно спрощується реалізація взаємозв'язків різних користувачів з будь-якою виробничою інформацією, виключається як будь-яке дублювання даних в окремих системах автоматизації виробництва, так і необхідність складного пошуку інформації про хід виробництва в ряді систем і засобів автоматизації окремих переділів виробництва.

Функціональний склад інформаційної платформи для рівня «АСУВ/MES система» можна розділити на такі групи: збір вихідних даних, їх математична й логічна обробка, видача оброблених даних і розрахованих показників для різних груп користувачів, довгострокове зберігання

інформації про роботу виробництва.

Розглянемо детальніше існуючі рекомендації щодо реалізації в інформаційній платформі групи функцій «Збір вихідних даних». В [18] зазначається, що надходження цих даних до інформаційної платформи може здійснюватися як автоматично через реалізацію інформаційних зв'язків із системами й засобами автоматизації нижнього рівня управління (наприклад окремих технологічних процесів чи виробничих об'єктів, ділянок, служб), так і вручну через спеціальні комп'ютерні термінали, що установлені на робочих місцях оперативного персоналу (наприклад операторів технологічних процесів). При автоматичному збиранні даних відповідний інформаційний зв'язок може встановлюватися або з окремим локальним сервером конкретної системи нижнього рівня управління, або безпосередньо з програмою класу «АСУТП/SCADA», що виконується на робочій станції (комп'ютері) оперативного персоналу такої системи.

Крім того, для забезпечення надійної роботи інформаційної платформи (інформаційної виробничої системи), зменшення сторонніх перешкод, обмеження навантажень на її мережу й сервер, а також для спрощення її обслуговування, доцільно дотримуватися визначених правил при її реалізації в ІСА [18]. Ці правила можна конкретизувати у вигляді таких практичних рекомендацій:

- інформаційна платформа (інформаційна виробнича система) повинна замикатися лише на одному ієрархічному рівні управління - рівні управління виробництвом «АСУВ/MES»; це означає, що вона не повинна поєднуватися за технічною структурою й функціональним складом ні з будь-якою системою нижнього рівня (наприклад з АСУТП/SCADA системою), ні з будь-якою системою верхнього рівня (наприклад з АСУП/ERP системою);

- інформаційна платформа (інформаційна виробнича система) повинна збирати, виробляти й видавати необхідну інформацію для керівництва підприємства, виробничих служб чи бізнес відділів, але вона не повинна замінити ці спеціалізовані системи автоматизації і зливатися з ними; це означає, що вона повинна тільки здійснювати взаємний обмін необхідною інформацією зі спеціалізованими системами автоматизації верхніх рівнів.

Враховуючи усі наведені вище рекомендації щодо побудови та реалізації ІСА виробництвом, можна запропонувати відповідну раціональну загальну архітектуру нової ІСА, яка показана на рисунку 1.5 та в додатку Б..

Як видно з рисунку, нова ІСА промисловим виробництвом сірчаної кислоти складається з двох ієрархічних рівнів управління – «АСУТП/SCADA» (автоматизовані системи управління, вимірювання та контролю технологічного процесу) та «АСУВ/MES» (автоматизована система управління виробничим процесом). Нижній рівень системи утворюється двома автоматизованими системами – АСУТП виробництва сірчаної кислоти та спеціалізованою автоматизованою системою (САС) вимірювання/контролю додаткових технологічних параметрів. Верхній

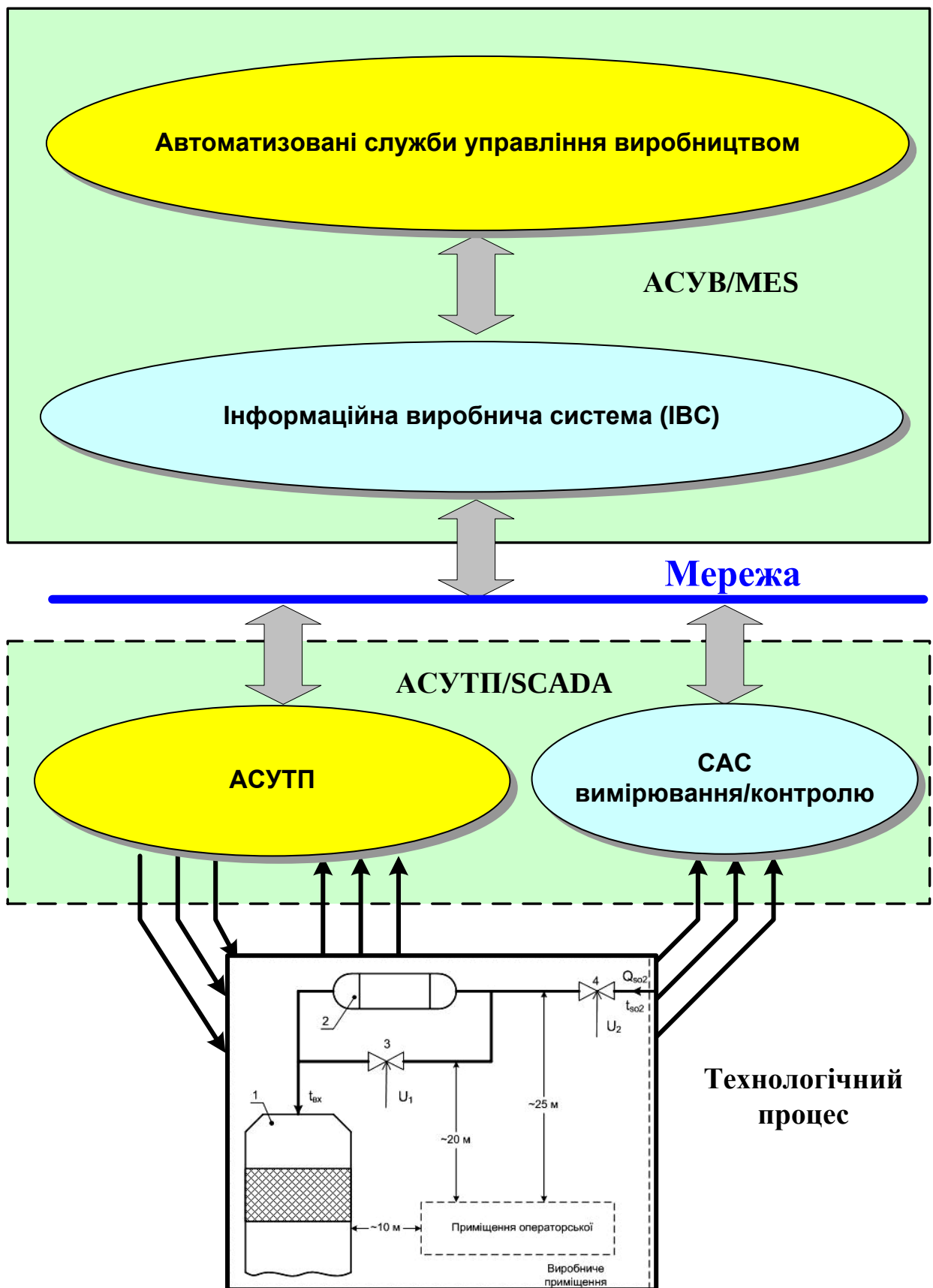


Рисунок 1.5 – Загальна архітектура нової ІСА

рівень системи утворюється також двома автоматизованими системами – інформаційною виробничою системою (ІВС) та системою автоматизованих служб управління виробництвом. Перша система служить інформаційною платформою для реалізації функцій другої автоматизованої системи.

АСУТП здійснює усі функції щодо управління технологічним процесом в режимі реального часу, наприклад, збирає та зберігає відповідні цифрові дані про поточний стан та хід технологічного процесу. Усі ці дані повинні зберігатися на локальному сервері даної системи, а частина з них

через цифрову мережу підприємства повинна передаватися до глобального сервера ІВС. До цього ж сервера через ту ж саму мережу підприємства передаються і усі додаткові цифрові дані про стан та хід технологічного процесу, які збирає САС вимірювання/контролю. Введення САС до складу ІСА пояснюється тим, що для реалізації тих чи інших управлінських функцій відповідними виробничими службами, як правило, недостатньо лише тих даних про ТП, які надає АСУТП.

В ІВС здійснюється збирання, збереження та оброблення тих цифрових даних про стан та хід виробничого процесу, які потрібні для автоматизованих служб управління виробництвом. Передавання цифрових даних з глобального сервера ІВС до автоматизованих служб здійснюватися або через загальну мережу підприємства, або, у окремих випадках, через інші канали передавання даних, наприклад, стільниковий зв'язок.

Підводячи підсумок розгляду даної архітектури, можна зазначити, що в ній враховані усі наведені вище рекомендації щодо її раціональної будови, наприклад, ІВС нової ІСА не поєднується за своєю технічною структурою й функціональним складом з будь-якою автоматизованою системою нижнього рівня управління (АСУТП або САС).

Сформуємо тепер напрями подальшого проектування кожної зі складових частин розробленої архітектури нової ІСА, зокрема, визначимо основні вимоги до їх проектування.

Розглянемо складову частину архітектури «АСУТП». По-перше, поставимо задачу спроектувати її більш дешевою ніж існуючі аналогічні системи, що розглядались вище. Це може бути досягнуто завдяки використанню автоматизованого середовища (інструментальних засобів) проектування цієї системи, що не вимагатиме залучення праці висококваліфікованих програмістів, крім того, таке автоматизоване проектування різко скоротить і загальний термін розробки, що, як наслідок, теж сприятиме здешевленню отриманого проєкту даної системи.

По-друге, при проектуванні АСУТП доцільно застосувати не менш ефективні, але більш дешеві, програмно-апаратні засоби автоматизації виробництва таких країн, як Корея, Тайвань і т.д., що, без сумніву, не тільки знизить вартість реалізації системи, але і дозволить зменшити вартість та витрати часу на її ремонт, підвищить надійність системи в цілому та окремих

її складових частин, покращить якість управління процесом завдяки більш ефективному аналізу інформації з технологічних датчиків.

По-третє, застосування в складі даної системи сучасних датчиків та цифрових алгоритмів обробки їх сигналів дозволить різко підвищити точність управління всім технологічним процесом промислового виробництва сірчаної кислоти.

По-четверте, структура нової АСУТП повинна бути відкритою, що дозволить у разі зміни параметрів технологічного процесу або алгоритмів управління ним значно спростити нарощування чи переналагоджування системи, так як її складові взаємодіятимуть за стандартними уніфікованими сигналами та стандартними протоколами передачі даних.

По-п'яте, нова АСУТП повинна мати високу якість інформативного забезпечення операторів, щоб дозволити оператору на декількох екранах спостерігати результати управління/вимірювання/контролю задіяних параметрів технологічного процесу у відповідності з сучасними ергономічними вимогам.

По-шосте, нова АСУТП повинна дозволити повністю автоматизувати документування результатів своєї роботи та генерування різноманітних звітів для верхніх рівнів управління виробництвом та підприємством.

Тепер щодо умов експлуатації нової АСУТП: частина обладнання буде встановлена у виробничому приміщенні, а друга частина – в приміщенні операторської. Ці приміщення опалюються. Тому для них встановленні такі умови:

- температура навколишнього середовища: $+10^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря $\leq 88\%$ (при $t = +25^{\circ}\text{C}$);
- ударні навантаження – немає;
- вібрація підлоги:
 - частота $10 \div 30$ Гц;
 - віброприскорення $\leq 19,6$ м/с²;
 - лінійне прискорення – немає;
- понижений атмосферний тиск, не більше 61 кПа.

Для нової АСУТП визначимо основні кількісні характеристики роботи цієї системи.

Вихідними змінними об'єкту управління, що підлягають регулюванню, є температура $t_{\text{ка}}$ газу в шарі контактного апарату, вхідна та вихідна температура і концентрація газу.

Номінальне значення температури шару в контактному апараті $t_{\text{ка.0}}=560^{\circ}\text{C}$, а допустимі границі зміни температури $t_{\text{ка.min}}=540^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ка.max}}=580^{\circ}\text{C}$.

Номінальне значення вхідної температури газу: $t_{\text{вх}}=400^{\circ}\text{C}$, а допустимі границі зміни температури $t_{\text{вх.min}}=380^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вх.max}}=420^{\circ}\text{C}$.

Номінальні значення концентрації газу: $Q_{\text{SO2.0}}=9,5\%$, а допустимі границі зміни концентрації $Q_{\text{SO2.min}}=9\%$, $Q_{\text{SO2.max}}=10\%$.

Номінальне значення вихідної температури газу: $t_{\text{вих}}=580^{\circ}\text{C}$, а

допустимі границі зміни температури $t_{\text{вх. min}} = 560^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вх. max}} = 600^{\circ}\text{C}$.

Змінними збуреннями, що впливають на якість регулювання є витрати газу SO_2 у вхідному трубопроводі F_{SO_2} . Саме цей параметр необхідно виміряти та контролювати для його зменшення.

Регулювання температури в шарі контактного апарату $t_{\text{ка}}$ здійснюється за допомогою вентилів 3 і 4 з електричними виконавчими механізмами шляхом подачі на них управляючих діянь U_1 і U_2 від відповідних регуляторів.

З опису технологічного процесу відомо, що клапан 3 на $t_{\text{ка}}$ впливає в вузькому діапазоні. В номінальному режимі управляюче діяння $U_{1.0}=20\%\text{XPO}$ (хід регулюючого органу). У процесі регулювання можлива плавна зміна U_1 у діапазоні від $U_{1.\text{min}}=0\%\text{X.P.O.}$ до $U_{1.\text{max}}=100\%\text{X.P.O.}$

Аналогічно на $t_{\text{ка}}$ впливає управляюче діяння U_2 , що подається на виконавчий механізм клапана 4, яке регулюється в широкому діапазоні. Параметри цього сигналу: $U_{2.0}=50\%\text{X.P.O.}$, а границі його зміни від $U_{2.\text{min}}=0\%\text{X.P.O.}$ до $U_{2.\text{max}}=100\%\text{X.P.O.}$

Дії оператора у разі виникнення аварійних ситуацій повинні бути такими:

- у разі виходу концентрації Q_{SO_2} за встановлені границі оператор повинен шляхом формування «вручну» сигналу управління встановити параметр $U_{2.\text{min}}$, тобто закрити клапан 4;

- при виході температури газу в шарі контактного апарату $t_{\text{ка}}$ за границі норми оператор повинен: «вручну» встановити сигнал управління на відкриття клапана 3 та зупинити роботу контактного апарату.

З ергономічної точки зору графічний ЛМІ оператора повинен складатися з одного основного екрану та кількох додаткових.

На основному екрані відображується мнемосхема технологічного процесу та засоби сигналізації про аварійні події.

На першому додатковому екрані виводяться результати регулювання температури газу в шарі контактного апарату $t_{\text{ка}}$, зокрема, тренди зміни у часі температури газу в шарі $t_{\text{ка}}$, концентрації Q_{SO_2} , та температури газу SO_2 t_{SO_2} .

На другому додатковому екрані виводяться тренди зміни в часі температури вхідної суміші до контактної апарату $t_{\text{вх}}$, температури вихідної суміші із контактної апарату $t_{\text{вих}}$ та поточні стани вентилів 3 та 4.

Система повинна автоматично формувати звіт про роботу технологічного процесу окислення діоксиду сірки в контактному апараті на протязі доби (з 0 до 24 години).

До звіту вносяться такі дані:

- температуру газу в шарі контактної апарату;
- концентрацію газу SO_2 ;
- температуру вихідної суміші із контактної апарату;
- температуру вхідної суміші в контактний апарат;
- загальні витрати газу на вході технологічного процесу

Розглянемо тепер таку складову частину архітектури ІСА як «САС вимірювання/контролю». Як було зазначено вище, ця спеціалізована автоматизована система нижнього рівня призначена для збирання даних про додаткові параметри ТП промислового виробництва сірчаної кислоти, які потрібні для ефективного виконання автоматизованих функцій системами рівня «АСУВ/MES». Тому вимоги до даної складової частини означимо лише тоді, коли будуть остаточно сформовані напрями проєктування та вимоги до відповідних систем рівня «АСУВ/MES», що за нашим проєктом будуть входити до складу нової ІСА.

Це виробництво відноситься до неперервного або технологічного типу [13]. Тому функції автоматизованих служб управління ним мають певну специфіку реалізації у порівнянні з обов'язковими управлінськими функціями, що описані, наприклад, в стандарті «MESA-11» [16]. Тобто, на конкретному підприємстві вказані обов'язкові стандартні функції розподіляються між тими виробничими службами, які вже існують в організаційній структурі даного підприємства. Наприклад, стандартна функція «Контроль стану й розподілу виробничих ресурсів» на реальному підприємстві може бути розподілена між такими автоматизованими службами як виробнича, технологічна, економічна, головного механіка, головного енергетика та іншими.

Для подальшого проєктування ІСА промислового виробництва сірчаної кислоти виберемо одну із складових частин архітектури нової ІСА (див. рисунок 1.5), наприклад «АСУТП», і вже для неї розробимо детальне технічне завдання на бакалаврське кваліфікаційне проєктування. Це технічне завдання, оформлене за вимогами стандартів у вигляді окремого документу, наведено у додатку А.

2 Проєктування технічної частини системи

2.1 Деталізація функціональної структури системи

На основі вимог технічного завдання, що розроблене у попередньому розділі, деталізуємо функціональну структуру АСУТП промислового виробництва сірчаної кислоти. Відобразимо цю структуру у вигляді схеми, де будуть показані усі основні дані та процедури, що мають виконуватися програмно-апаратними засобами проєктованої системи (рисунок 2.1).

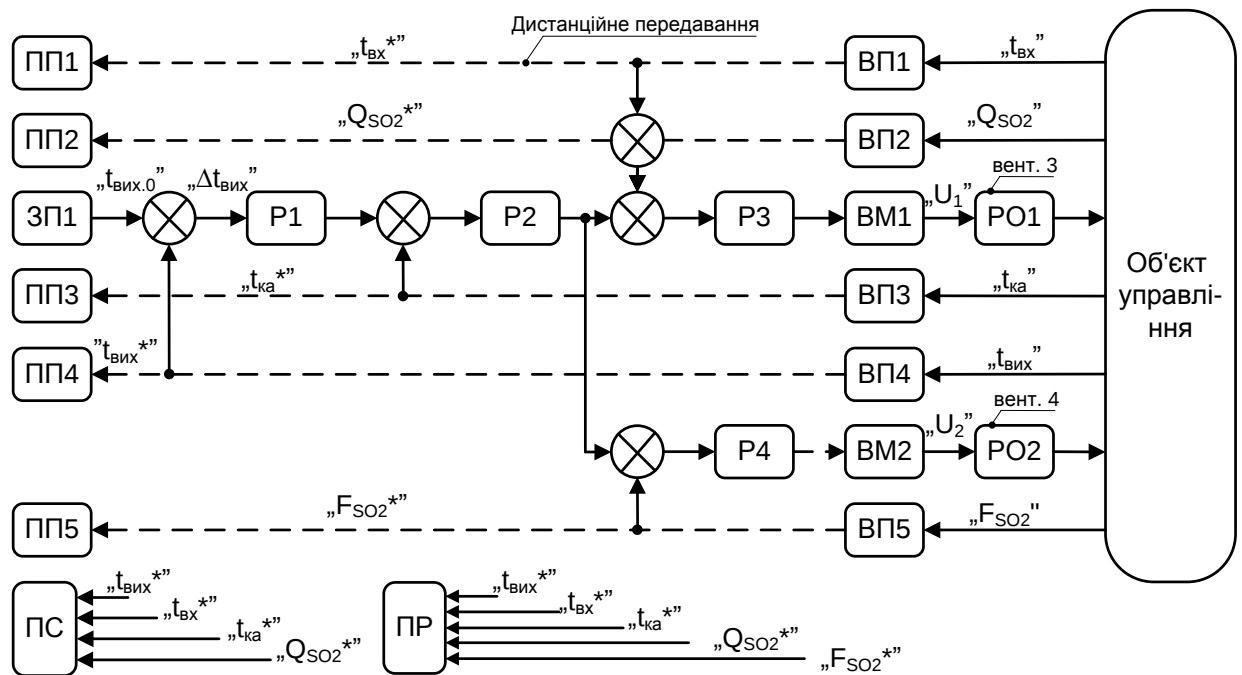


Рисунок 2.1 – Схема функціональної структури АСУТП

На схемі використовуються такі позначення:

- "ПП1" – пристрій, що показує температуру $t_{вх}$ вхідного газу в контактний апарат;
- "ВП1" – вимірювальний пристрій температури $t_{вх}$ вхідного газу в контактному апараті;
- "ПП2" – пристрій, що показує концентрацію Q_{SO_2} газу SO_2 на вході технологічного процесу;
- "ВП2" – вимірювальний пристрій концентрації Q_{SO_2} газу SO_2 на вході технологічного процесу;
- "ЗП1" – пристрій, що задає номінальне значення температури $t_{вих}$ газу на виході з контактного апарату;
- "P1" – регулятор температури $t_{вих}$ газу на виході з контактного апарату;
- "P2" – регулятор температури $t_{ка}$ в шарі контактного апарату;

- "P3" – регулятор температури $t_{\text{вх}}$ газу на вході контактного апарату;
- "BM1" – виконавчий механізм регулюючого органу (вентиль 3);
- "PO1" – регулюючий орган (вентиль 3);
- "ПП3" – пристрій, що показує температуру $t_{\text{ка}}$ газу в шарі контактного апарату;
- "ВП3" – вимірювальний пристрій температури $t_{\text{ка}}$ газу в шарі контактного апарату;
- "ПП4" – пристрій, що показує температуру $t_{\text{вих}}$ газу на виході контактного апарату;
- "ВП4" – вимірювальний пристрій температури $t_{\text{вих}}$ газу на виході контактного апарату;
- "P4" – регулятор витрат F_{SO_2} газу SO_2 на вході технологічного процесу;
- "BM2" – виконавчий механізм регулюючого органу витрат газу SO_2 (вентиля 4);
- "PO2" – регулюючий орган витрат газу SO_2 (вентиль 4);
- "ПП5" – пристрій, що показує витрати F_{SO_2} газу SO_2 на вході технологічного процесу;
- "ВП5" – вимірювальний пристрій витрати F_{SO_2} газу SO_2 на вході технологічного процесу;
- "ПС" – пристрій сигналізації;
- "ПР" – пристрій реєстрації.

Загальний алгоритм роботи системи управління такий. Оператором задається номінальне значення температури $t_{\text{вих},0}$ газу на виході контактного апарату. Воно порівнюється з реальним значенням цієї температури $t_{\text{вих}}$, що вимірюється датчиком температури ВП4. Похибка регулювання $\Delta t_{\text{вих}}$ подається на вхід регулювального пристрою P1. Вихідний сигнал P1 враховується регулювальним пристроєм P2, який обробляє похибку регулювання температури в шарі контактного апарата $\Delta t_{\text{ка}}$. Вихідний сигнал P2 на відповідні входи адаптації регулювальних пристроїв P3 та P4. Регулювальний пристрій P4 здійснює швидкий режим регулювання температури газу в шарі контактного апарату шляхом відповідних змін витрат газу на вході технологічного процесу (через вентиль 4), що викликає відповідні зміни концентрації SO_2 у вхідній суміші. Регулювальний пристрій P3 здійснює повільний режим регулювання температури газу на вході контактного апарату шляхом зміни пропорції між гарячим газом (проходить через теплообмінник) і холодним газом (проходить через вентиль 3) на вході контактного апарату..

Регулювальний пристрій P3 враховує також сигнал Q_{SO_2} з датчика концентрації SO_2 на вході технологічного процесу (після вентиля 4). Обрахувавши всі вхідні дані, P3 видає сигнал управління для зміни температури газу на вході контактного апарату. Цей сигнал подається на виконавчий механізм BM1. Його вихідний сигнал є керуючим сигналом U_1 на

регулюючий орган PO1 (вентиль 3).

Регулювальний пристрій Р4 враховує вихідний сигнал з регулювального пристрою Р2 та сигнал з датчика витрат F_{SO_2} газу на вході технологічного процесу. Вихідний сигнал Р4 подається на виконавчий механізм ВМ2. Вихідним сигналом ВМ2 є керуючий сигнал U_2 на регулюючий орган PO2 (вентиль 4).

Всі значення температур (вхідної $t_{вх}$, вихідної $t_{вих}$ та в шарі контактного апарату $t_{ка}$), концентрації Q_{SO_2} і витрат F_{SO_2} вимірюються відповідними вимірювальними пристроями (ВП1, ВП4, ВП3, ВП2 та ВП5). Сигнали з цих пристроїв подаються на відповідні регулювальні пристрої (Р1-Р4), а також на пристрої, що відображають ці значення (ПП1, ПП4, ПП3, ПП2 та ПП5).

В схемі застосовується також пристрій сигналізації ПС, який формує звуковий вихід (наприклад, речові повідомлення) у разі виходу значень технологічних параметрів за встановлені границі їх контролю.

Пристрій реєстрації ПР використовується для запам'ятовування всіх поточних даних про значення технологічних параметрів у історичних архівах для їх подальшого представлення в звітах, аналізу і обробки (наприклад, уразі аварійних подій).

2.2 Електрична структурна схема системи

Згідно з розробленою вище схемою функціональної структури виберемо необхідні для її реалізації засоби вимірювання. Для цього складемо таблицю усіх фізичних величин (технологічних параметрів), що підлягають вимірюванню чи контролю в проектованій системі управління (таблиця 2.1).

З відповідних Інтернет - джерел вибираємо засоби вимірювання, які відповідають вимогам цієї таблиці, а також мають уніфіковані вихідні сигнали, що узгоджені з сучасними пристроями введення сигналів.

Для вимірювання температури на вході, виході і в шарі контактного апарату вибираємо термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом ТХАУ 0104 (ХА(К)), який може бути використаний в теплоенергетиці, хімічній, металургійній і іншій галузях промисловості [19]. Призначений для перетворення різних температур, у тому числі й у агресивних середовищах в уніфікований струмовий сигнал 4.-20 мА.

По типу обробки сигналу термоперетворювач відноситься до аналогового вимірювального пристрою з можливістю настройки на різні діапазони вхідних температур.

Він має такі метрологічні та технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температури, °С.....від 0 до плюс 700;
- похибка вимірювання.....плюс /мінус 0,5;
- діапазон робочих температур, °С.....від мінус 10 до плюс 70;

- вихідний уніфікований сигнал струму, мА.....від 4 до 20;
- живлення постійною напругою, В.....від 12 до 36.

Таблиця 2.1 - Перелік фізичних величин, що підлягають вимірюванню та контролю в проектованій системі

Фізична величина	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювання	Особливі вимоги
температура технологічного газу на вході контактного апарату	400 - 420 °C	-	монтується на трубопроводі
температура технологічного газу в шарі контактного апарату	460 - 480 °C	-	монтується на контактному апараті
температура технологічного газу на виході контактного апарату	540 - 580 °C	-	монтується на контактному апараті
концентрація газу SO ₂ у вхідному трубопроводі	9,0 - 10,0 %	-	монтується на трубопроводі
витрати газу на вході	31 - 470 м ³ /ч	-	монтується на трубопроводі

До складу термоперетворювача ТХАУ 0104 входять: клемна голівка (корпус), вимірювальний перетворювач, що вбудовується в клемну голівку, термозонд, що вкручується в клемну голівку. У зібраному стані перетворювач кріпиться на технологічному об'єкті.

Для вимірювання концентрації газу SO₂ вибираємо газоаналізатор типу С-105А [19], який являє собою стаціонарний, автоматичний, прилад безперервної дії, що показує, призначений для виміру концентрації діоксиду сірки в атмосферному повітрі й технологічних газових сумішах. Може застосовуватися в пересувних і стаціонарних лабораторіях та в технічних процесах. Принцип дії - оптичний (флуоресцентний).

Він має такі метрологічні та технічні характеристики:

- діапазон вимірювання концентрації, мкг/м³.....від 0 до плюс 5000;
- похибка вимірювання, %.....плюс /мінус 25;
- вихідний уніфікований сигнал струму, мА.....від 4 до 20
чи від 0 до 5;
- живлення змінною напругою, В.....220;
- діапазон робочих температур, °C.....від плюс 10 до плюс 35;
- діапазон робочого атмосферного тиску, мм рт.ст.....від плюс 630

до плюс 800;

- робоча вологість, %.....до плюс 95.

Для вимірювання витрат газу у вхідному трубопроводі технологічного процесу використовуємо вихровий витратомір газу й пари типу ЭМИС-ВИХРЬ 200 [19], призначений для виміру об'ємної витрати рідин, газу й пари в широкому діапазоні зміни витрати, тиски й температури вимірюваного середовища. Вихрові витратоміри відрізняються високою надійністю й невибагливістю, тому широко застосовуються для виміру витрати технологічних газів і рідин.

Він має такі метрологічні та технічні характеристики:

- діапазон вимірювання витрат, м³/ч.....від 31 до плюс 470;
- похибка вимірювання, %.....плюс/мінус 1;
- динамічний діапазон.....до 50:1;
- вихідний уніфікований сигнал струму, мА.....від 4 до 20
чи від 0 до 5;
- діапазон робочого тиску, МПа.....від 0 до плюс 6,3;
- діапазон температур вимірюваного

середовища, °С.....від мінус 40 до плюс 460;

- діапазон робочих температур, °С.....від мінус 40 до плюс 70.

Приєднання до труби буде відбуватися за допомогою фланцю.

Для вибору вихідних механізмів проектованої системи необхідно визначити основні характеристики регулюючих органів (вентилів), які приводяться до дії цими виконавчими механізмами.

В нашому технічному процесі такими регулюючими органами є вентилі 3 та 4 (див. рисунок 1.2). Складемо таблицю технічних характеристик цих регулюючих органів (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики регулюючих органів системи

Регулюючий орган (РО)	Необхідний діапазон ходу РО, % Х.Р.О.	Необхідний діапазон переміщень вхідного валу РО, град.	Момент опору обертанню вхідного валу РО, Н·м
вентиль 3	0 - 100	0 - 90 ⁰	15
вентиль 4	0 - 100	0 - 180 ⁰	25

З каталогу електричних виконавчих механізмів [19] вибираємо ті, що задовольняють вимогам таблиці 2.2.

По-перше, усі виконавчі механізми повинні бути однооборотними. Тому вибираємо механізми типу МЕО (механізми електричні однооборотні). Момент, що розвиває цей механізм має бути більшим, ніж момент опору регулюючого органу.

Для вентиля 3 вибираємо МЕО-16 (де 16 – максимальний вихідний обертовий момент). Для нього існують такі діапазони повороту робочого важеля: 0,25 повного обороту (0 - 90°) та 0,63 повного обороту (0 - 226,8°).

Тому вибираємо для вентиля 3 виконавчий механізм типу МЕО 16-0,25. Для вентиля 4 вибираємо виконавчий механізм типу МЕО-40-0,63.

Керування цими механізмами виконується за допомогою контактних реверсивних пускачів типу ПБР – 2М [19]. Його спрощена електрична функціональна схема зовнішніх кіл наведена на рисунку 2.2.

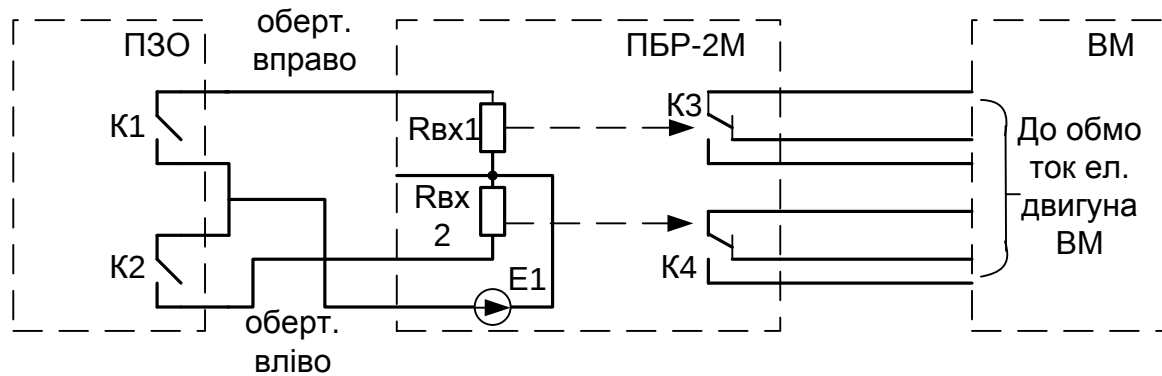


Рисунок 2.2 – Електрична функціональна схема зовнішніх кіл пускача ПБР-2М

Пускач керується зовнішніми контактами K1 та K2 пристрою зв'язку з об'єктом (наприклад, модуля дискретного виведення). В пускачі вбудоване джерело напруги E1 (24В постійного струму). Вихідні контакти K3 та K4 можуть бути реалізовані або у вигляді контактів реле або у вигляді тиристорів. Ці контакти змінюють підключення двох фаз обмоток електродвигуна виконавчого механізму ВМ до джерела живлення. При цьому змінюється напрямок його обертання (вліво або вправо, закрити вентиль або відкрити).

У вибраних виконавчих механізмах типу МЕО обов'язково встановлюється датчик зворотного зв'язку, який вимірює положення вихідного важеля механізму, що діє на вхідний вал вентиля.

Існують два типи датчиків: БСПІ-10 (з індуктивним датчиком положення) і БСПР-10 (з реостатним датчиком положення) [19].

Датчик БСПІ-10 має такі характеристики:

- робочий кут повороту, град0-90, 0-225;
- вихідний сигнал постійної напруги, мВ не більше.....625;
- нелінійні характеристики вх/вих., % не більше.....2,5;
- живлення змінною напругою, В.....12,0.

Датчик БСПР-10 має такі характеристики:

- кут повороту, град.....0-90 або 0-240;
- повний опір реостату, Ом.....120;

- не лінійність, % не більше.....1,2;
- живлення напругою постійного струму, В не більше.....12.

Для нашої системи вибираємо датчик типу БСПР-10, який живиться напругою постійного струму 10 В.

Тепер можна вибрати типи пристроїв віддаленого введення/виведення сигналів. Їх кількість буде визначатись не тільки кількістю сигналів, але і просторовим розміщенням об'єкту управління.

До проєктованої системи входять такі сигнали:

- аналоговий сигнал з датчика температури $t_{\text{вх}}$ на вході в контактного апарату (від плюс 4 до плюс 20 мА);
- аналоговий сигнал з датчика температури $t_{\text{вх}}$ в шарі контактного апарату (від плюс 4 до плюс 20 мА);
- аналоговий сигнал з датчика температури $t_{\text{вих}}$ на виході з контактного апарату (від плюс 4 до плюс 20 мА);
- аналоговий сигнал з датчика концентрації Q_{SO_2} (від плюс 4 до плюс 20 мА);
- аналоговий сигнал з датчика витрат F_{SO_2} (від плюс 4 до плюс 20 мА);
- аналоговий сигнал з датчика положення вентиля 3 (від 0 до 10В);
- аналоговий сигнал з датчика положення вентиля 4 (від 0 до 10В);

З системи виводяться такі сигнали:

- дискретний сигнал відкриття вентиля 3 (плюс 24 В);
- дискретний сигнал закриття вентиля 3 (плюс 24 В);
- дискретний сигнал відкриття вентиля 4 (плюс 24 В);
- дискретний сигнал закриття вентиля 4 (плюс 24 В).

З каталогу фірми ADVANTECH [20] вибираємо модулі введення/виведення. Для введення семи аналогових сигналів вибираємо модуль ADAM-4017, який має 8 диференційних аналогових входів, кожен з яких можна налагодити на наступні діапазони: ± 150 мВ, ± 500 мВ, ± 1 В, ± 5 В, ± 10 В, 0-20 мА. На виході модуля буде формуватися 16-розрядний двійковий код, що відповідає вхідному аналоговому сигналу.

Для виведення дискретних сигналів для управління колами комутації обмоток електродвигунів виконавчих механізмів використовуємо модуль релейної комутації ADAM-4060, який має 4 вихідні канали. Навантажувальна спроможність цих каналів не перевищує 30 В постійної напруги зі струмом від 0 до 0,5 А.

Для узгодження передавання інформації між модулями ADAM та портом COM1 комп'ютера оператора вибираємо перетворювач інтерфейсів RS485/RS232. типу ADAM-4520. В якості основного комп'ютера оператора в проєктованій системі вибираємо також продукцію фірми ADVANTECH – промислову 1U – консоль оператора RMD-1150KM/F-8 [20], яка виконана у вигляді комп'ютера типу “ноутбук”.

На основі визначеної загальної конфігурації системи та вибраних засобів автоматизації (датчиків, виконавчих механізмів та пристроїв зв'язку з

об'єктом) була розроблена електрична структурна схема автоматизованої системи управління (додаток В).

Блоки 1-8 утворюють підсистему введення ІСА процесу окислення діоксиду сірки при виробництві сірчаної кислоти. З них датчиками відповідних технологічних параметрів є блоки 1-5, датчиками положення вихідного важеля відповідного виконавчого механізму є блоки 6 і 7, а пристроєм віддаленого введення сигналів датчиків є блок 8.

Блоки 9-13 утворюють підсистему виведення комп'ютеризованої системи управління. З них пристроєм віддаленого виведення дискретних сигналів управління є блок 9, електромагнітними пусками, що керують електричними виконавчими механізмами, є блоки 10-13. Усі пристрої віддаленого введення та виведення сигналів (8 і 9) через промислову цифрову мережу RS-485 і перетворювач інтерфейсів (блок 14) зв'язані з комп'ютером оператора 15.

2.3 Функціональна схема автоматизації системи

На основі технічного завдання на кваліфікаційне проєктування (див. додаток А) та електричної структурної схеми інтегрованої системи (див. додаток Б) була розроблена її функціональна схема автоматизації, яка також наведена в додатку Б.

На функціональній схемі автоматизації показані спрощені зображення технологічного обладнання для окислення діоксиду сірки при промисловому виробництві сірчаної кислоти, а також усі апаратні та програмні засоби автоматизації, що реалізують автоматизовану систему управління цим технологічним процесом.

На функціональній схемі автоматизації зручно виділити три групи засобів автоматизації:

- прилади, що встановлюються на технологічному обладнанні;
- прилади, що встановлюються по місцю (на виробничій ділянці);
- прилади, що встановлюються на пульті оператора в окремому приміщенні.

На схемі показані такі засоби автоматизації: датчики технологічних параметрів (температури 1-1, 1-2, 1-3; концентрації 1-4, 1-5; витрат 1-9, 1-10) та стану регулюючих органів (для вентилів 3 це 1-8, для вентилів 4 це 1-13), електричні виконавчі механізми регулюючих органів 1-7 та 1-12 з їх пусками 1-6 і 1-11, модулі віддаленого введення (1-14) та виведення (1-15) фізичних сигналів, а також обладнання операторської (перетворювач інтерфейсів 2 та комп'ютер оператора 3).

Усі перераховані засоби автоматизації з'єднані так, щоб реалізувати алгоритм дії типової схеми автоматизації технологічного процесу, що наведена в додатку А. Сигнали оброблюються програмною системою класу

SCADA, яка встановлена на промисловому комп'ютері оператора, в результаті чого формуються сигнали управління технологічним процесом та інформаційно підтримується графічний інтерфейс оператора, а також реалізуються функції сигналізації та реєстрації даних (див. рисунок 2.1).

3 Проєктування програмної частини системи

3.1 Вибір інструментальної системи проєктування

Інструментальні системи, що використовуються при проєктуванні програмного забезпечення АСУТП, поділяються на:

- системи SCADA;
- засоби баз даних;
- універсальні системи програмування.

Системи SCADA дозволяють виконувати весь комплекс проєктних робіт в єдиному інструментальному середовищі, в результаті чого можна не тільки швидко розробити проєкт програмного забезпечення системи, але і провести в режимі емуляції його тестування та настройку, використовуючи при цьому програмні моделі об'єктів управління [20-24].

Головний недолік такої технології проєктування є зворотним боком його переваг. Швидкість проєктування і якість розроблювального ПЗ (ясність, стійкість, надійність, простота модифікації і налагодження) різко падають при спробі вийти за рамки стандартного набору функцій, здійснюваних засобами системи SCADA. Реалізація же нестандартних функцій зазвичай вимагатиме використання і додаткових ІЗ, і знання внутрішніх інтерфейсів і форматів даних (найчастіше незадокументованих). У результаті цього виявляється, що при реалізації будь-якої, навіть простої, нестандартної функції розробнику треба витратити більше зусиль, ніж при створенні решти ПЗ системи. Часто буває, що на якомусь етапі проєктування ПЗ або його модернізації раптом проявляється недостяга функціональність штатних засобів конкретної системи SCADA.

На відміну від систем SCADA, засоби баз даних, зазвичай, застосовуються для проєктування і реалізації АСУ виробництвом або підприємством, тобто верхніх рівнів ІСА. Тому ми не будемо розглядати їх детальніше для вибору інструментальної системи проєктування ПЗ АСУТП.

Третій клас інструментальних систем, які широко застосовуються в області промислової автоматизації, є інструментальні системи на основі розповсюджених універсальних мов програмування. Такі інструментальні системи, без сумніву, дають проєктувальнику найбільшу свободу дії. Застосовуючи ці сучасні інструментальні системи, можна, без сумніву, вирішити будь-яку проєктну задачу в області автоматизації. Проте, така свобода дій потребує і відповідної високої кваліфікації самого проєктувальника, в результаті чого, проєкт ПЗ, розроблений ним, буде вже набагато дорожчим, ніж при використанні систем SCADA. Крім того, такий програмний продукт важко буде супроводжувати і модифікувати, особливо якщо в цьому не може взяти участь сам проєктувальник.

Таким чином, виходячи з поставленої мети – зробити більш дешевий проєкт ІСА, а зачіть і АСУТП, вибираємо в якості інструментальної системи

проектування ПЗ системи управління технологічним процесом промислового виробництва соляної кислоти саме систему SCADA.

У таблиці 3.1 перераховані за критеріями вибору найбільш популярні системи SCADA, що широко використовуються у світовій практиці.

Таблиця 3.1 – Показники систем SCADA за критеріями вибору

SCADA-системи	Технічна підтримка	Наявність розробників в Україні	Наявність у ВНТУ	Ціна, умов. од.
Delta (США)	–	+	–	9 328,00
Genesis (США)	+	+	–	9 985,20
Genie (Тайвань)	+	+	+	954,00
Festo (США)	–	–	–	8 421,70
InTouch 5.0 (США)	+	+	–	13 472,60
Monitor Pro (Німеччина – США)	+	+	–	3 763,00
RSView (США)	–	–	–	7 425,30
Sitex (Велика Британія)	+	+	–	6 545,50
Trace Mode (Росія)	+	+	+	3 127,00
WinCC (Німеччина)	+	+	+	2 449,70
Citect 6 (Австрія)	+	+	+	700,00

Треба відмітити, що аналіз ринку таких систем SCADA виявляє сталий процес вирівнювання їх функціональних можливостей, а також розширення їх відкритості до програмних та технічних засобів автоматизації від різних виробників. Тому вибір системи SCADA з наведеного переліку

можна зробити за умови її мінімальної вартості, розуміючи, що основні функціональні можливості цих систем приблизно однакові.

Як видно з таблиці 3.1, найдешевшими системами SCADA є «Genie» виробництва «ADVANTECH» [20], «WinCC» виробництва «Siemens» [23] та «Citect 6» виробництва «Citect Pty. Ltd» [24].

Враховуючи те, що інструментальну систему «WinCC» ми вивчали на практиці у дисципліні «Проектування систем автоматизації», то вибираємо саме цю систему для подальшого проектування ПЗ АСУТП промислового виробництва сірчаної кислоти.

3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора

Перед тим, як приступити до проектування за допомогою SCADA-системи «WinCC» програмного забезпечення автоматизованої системи управління технологічним процесом окислення діоксиду сірки при промисловому виробництві сірчаної кислоти, необхідно обумовити основні процедури та їх послідовності для обробки даних, що буде виконувати це програмне забезпечення у проєктованій системі.

На рисунку 3.1 наведена розроблена схема даних проєктованої комп'ютеризованої системи управління, яка показує джерела даних, їх місця розміщення у пам'яті комп'ютера оператора системи, а також процедури та результати обробки цих даних. Згідно до цієї схеми початкові дані надходять до програми через послідовний порт COM1 з модуля введення фізичних сигналів відповідними датчиків технологічних параметрів та станів вентилів. Ці дані являють собою певні пакети, які необхідно попередньо обробити програмним шляхом, наприклад, визначити дійсні значення вимірюваних величин по їх вхідним апаратним кодам.

Окремі дані передбачені для формування звіту (наприклад, температура газу в шарі контактного апарату, концентрація діоксиду сірки у вхідній газовій суміші, витрати вхідної газової суміші та інші). Виконується встановлена часова вибірка цих даних та їх зберігання у локальному історичному архіві. При необхідності оператор зможе сформулювати запит на огляд цього архіву у вигляді звіту на моніторі, або на виведення цього звіту на друк.

Основне призначення системи – контроль основних технологічних параметрів та управління технологічним процесом. Тому для цих параметрів оператор через клавіатуру встановлює границі їх контролю (мінімальна та максимальна). Над отриманими даними виконується програмна процедура перевірки на їх вихід за встановлені границі (наявність аварії). Будь-який факт аварії записується до файлу журналу аварій, який теж є локальним архівом. Крім запису до файлу кожна аварійна подія, що визначена системою, відображається на екрані монітору у вигляді технічної анімації, а

також супроводжується виведенням на екран інформації про цю аварію з звуковим дублюванням.

Оператор через клавіатуру може викликати журнал аварій для огляду на моніторі, а також вносити корективи до роботи програмного забезпечення (встановлювати нові границі контролю, корегувати значення уставки та параметрів регуляторів). Система може виконувати і інші функції – розрахунки додаткових величин, статистичну обробку даних, підтримку зв'язку з системою управління верхнього рівня. Після виконання основних задач регулювання виконується процедура виведення сигналів управління через модуль виведення ADAM-4060 на виконавчі механізми системи. На цьому закінчується поточний цикл програмної обробки даних в системі.

Після витримки встановленого часового періоду роботи системи запускається наступний цикл програмної обробки даних - формується запит нових даних з модуля введення системи і виконується описаний вище процес їх оброблення.

3.3 Архітектура програмного забезпечення ПК оператора

Розробка архітектури програмного забезпечення (ПЗ) в середовищі SCADA «WinCC» (TM) передбачає визначення:

- складу вузлів (nodes) системи управління, на яких буде виконуватися це програмне забезпечення;
- структури об'єктів (objects) кожного вузла, яка є способом структурування бази каналів як самого вузла, так і системи управління в цілому;
- переліку каналів обробки інформації, що входять до складу кожного з визначених об'єктів ПЗ;
- переліку усіх необхідних FBD-програм обробки інформації, що вбудовуються в ці канали.

Згідно до розробленої вище функціональної схеми автоматизації технологічного процесу структура проектованої системи будується на основі однієї операторської станції та групи модулів віддаленого введення/виведення сигналів серії ADAM-4000. З цих пристроїв тільки операторська станція може програмуватися засобами SCADA-системи WinCC (TM). Модулі ADAM-4000 програмуються тільки через додаткові програми-утиліти, які постачаються разом з ними. Тому склад вузлів системи управління в редакторі бази каналів TM буде представлений тільки одним вузлом типу «великий MPB», що є операторською станцією з встановленим на ній монітором реального часу (MPB) системи TM. Назвемо цей вузол «ДС», тобто «диспетчерська станція».

На рисунку 3.2 показаний вигляд вікна вузлів редактора бази каналів

ТМ з піктограмою цього вузла.

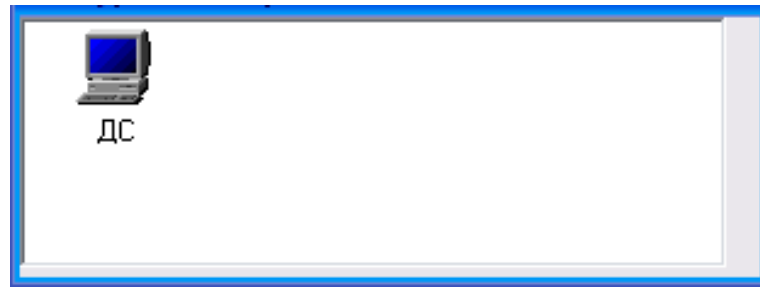


Рисунок 3.2 - Вікно вузлів редактора бази каналів WinCC (ТМ)
з піктограмою вузла “ДС”

Тепер можна представити архітектуру ПЗ вузла “ДС” у вигляді структури його об’єктів, які, згідно до загального підходу до програмування, можна вважати програмними модулями. В системі ТМ об’єкти будуть охоплювати усі створені канали та FBD-програми, які необхідні для виконання функцій системи управління. Таке структурування ПЗ полегшує як процес поступової його розробки, так і подальший процес його налаштування.

У вікні об’єктів редактора бази каналів ТМ створимо головний об’єкт «КА» (контактний апарат), який буде містити, відповідно, ПЗ для регулювання вхідної температури в контактний апарат. Крім того, створюємо об’єкт «Звітність», який буде містити ПЗ для обробки інформації, яка призначена для формування звіту про роботу системи.

В проєктованій системі введення та виведення сигналів здійснюється через групу модулів типу ADAM-4000. В плані розробки ПЗ вони являються або джерелами, або приймачами даних (інформації). Тому їх теж необхідно відобразити у вигляді відповідних об’єктів проєктованого ПЗ. Це робиться через механізми настройки параметрів послідовних портів вузла “ДС” та установки зв’язку через його послідовний інтерфейс. Таким шляхом можна підключити через послідовний порт до вузла “ДС” модуль аналогового введення типу ADAM-4017 та модуль виведення дискретних сигналів комутації типу ADAM-4060.

Після підключення модулів піктограми їх об’єктів з’являються у вікні об’єктів ТМ. Назвемо ці об’єкти так: “ADAM-4017” і “ADAM-4060”.

В результаті усіх цих дій отримаємо для вузла “ДС” структуру об’єктів проєктованого ПЗ, яка наведена на рисунку 3.3.

Після розробки структури об’єктів ПЗ можна визначитися з переліком усіх необхідних каналів та FBD - програм обробки інформації, які повинні входити до складу цих об’єктів.

Попередній перелік необхідних каналів (бази каналів) можна визначити за допомогою простого графічного способу, який показаний на

рисунку 3.4. На ньому показані основні канали введення та виведення інформації, а також основні процедури її програмної обробки.

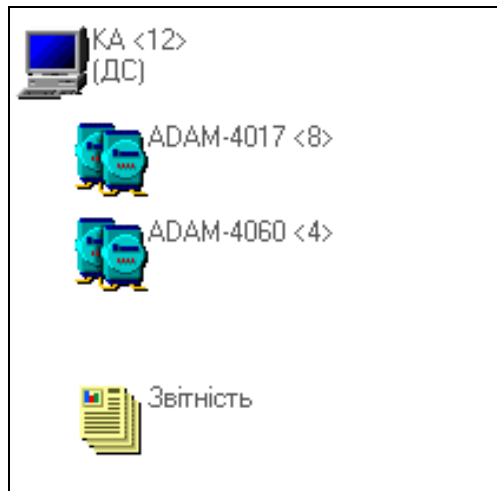


Рисунок 3.3 – Об’єкти проєктованого ПЗ в редакторі бази каналів ТМ

На рисунку у вигляді стрілок показані основні канали передавання та обробки інформації, а у вигляді прямокутників – основні процедури ПЗ.

На стрілках, які відображають канали апаратного введення чи виведення сигналів, показані характеристики цих сигналів (форма сигналу та його діапазон):

- «Концентрація Q (аналог., 4..20mA)»;
- «Температура $t_{\text{вх}}$ (аналог., 4..20mA)»;
- «Положення вентиля 1 (аналог., 0..10V)»;
- «Положення вентиля 2 (аналог., 0..10V)»;
- «Температура $t_{\text{вих}}$ (аналог., 4..20mA)»;
- «Температура $t_{\text{ка}}$ (аналог., 4..20mA)»;
- «Витрати F (аналог., 4..20mA)».

На стрілках, які відображають канали програмного введення чи виведення інформації, також показана форма її представлення (дискретна чи безперервна), наприклад, «Відкриття вентиля 1 (дискр., 1 розряд)» або «Закриття вентиля 2 (дискр., 1 розряд)».

Крім загальних процедур, таких як

- «Регулювання»,
- «Графічний інтерфейс»,
- «Розрахунок узагальнених показників для звіту»,

на стрілках каналів показані необхідні проміжні програмні процедури:

- перевірка встановлених границь контролю (ГК) у конкретному каналі апаратного введення
- трансляція (Т) апаратного значення цього каналу у реальне його значення.

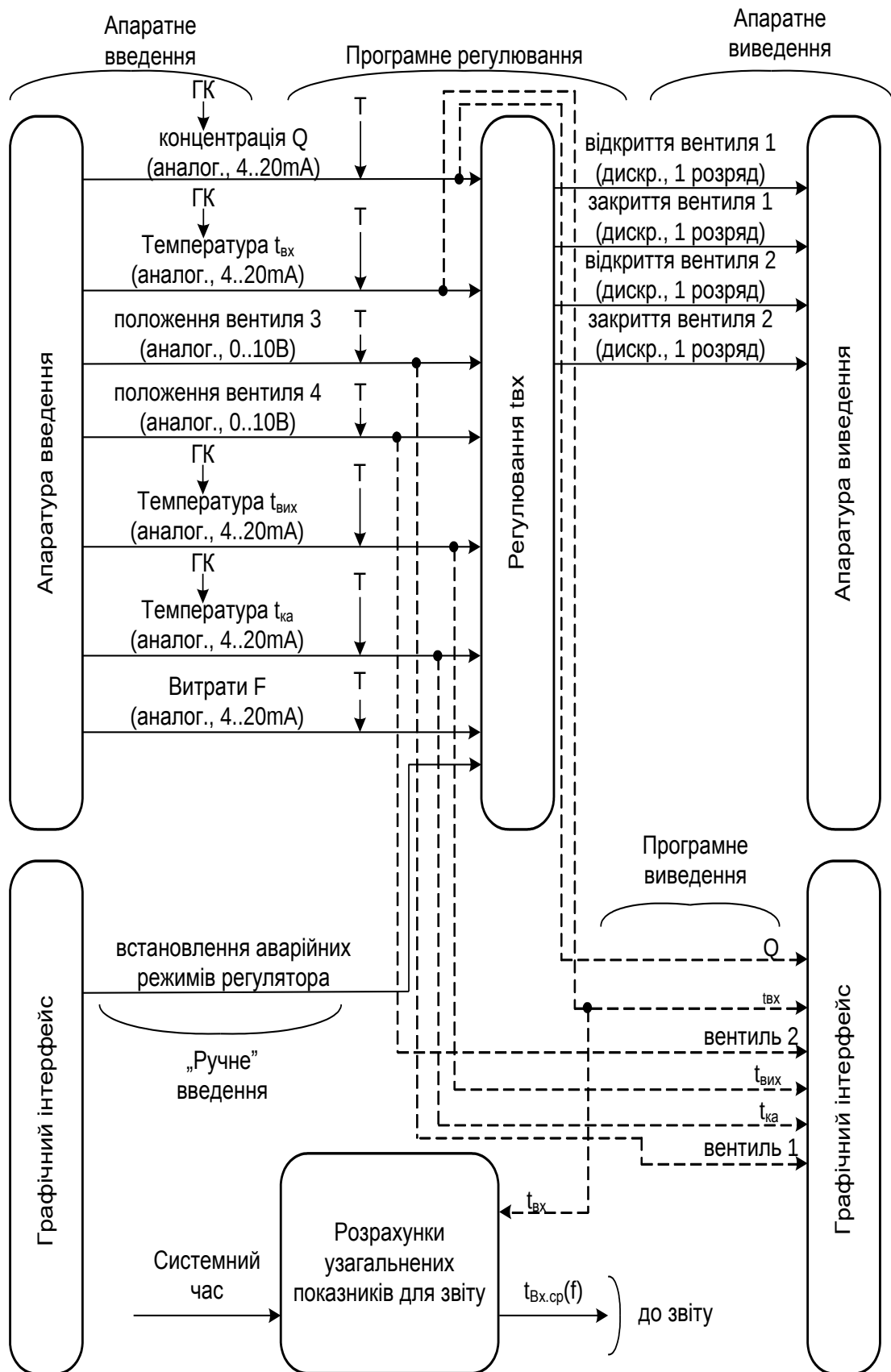


Рисунок 3.4 – Узагальнене графічне представлення бази каналів та процедур проєктованого ПЗ

Подальша розробка архітектури ПЗ полягає в більш детальному представленні структури кожного каналу ТМ за способом, що показаний на рисунку 3.5.

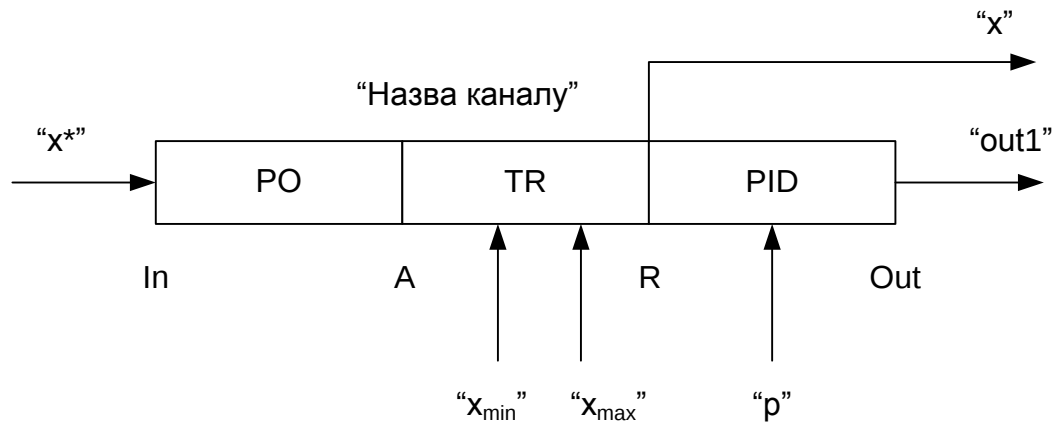


Рисунок 3.5 – Спосіб детального представлення структури каналу ТМ

На рисунку 3.5 введені такі позначення:

- “In” – вхідне значення каналу;
- “A” – апаратне значення каналу;
- “R” – реальне значення каналу;
- “Out” – вихідне значення каналу;
- “PO” – процедура первинної обробки в каналі (фільтрація, згладжування, відкидання аномального результату чи накладання маски тощо);
- “TR” – ім’я необхідної процедури трансляції, вбудованої в цьому каналі;
- “PID” – ім’я необхідної процедури управління, вбудованої в цьому каналі;
- “x*” – вхідний кодовий сигнал з апаратури введення, що відповідає виміряній величині;
- “x” – розраховане процедурою трансляції “TR” реальне значення величини x;
- “x_{min}” – значення мінімальної встановленої границі контролю величини x;
- “x_{max}” – значення максимальної встановленої границі контролю величини x;
- “Out1” – значення нової величини, розрахованої процедурою управління “PID” на основі реального значення величини “x” та додаткової величини “p”, яка передається з іншого каналу.

Розіб’ємо ПЗ на дві основні програмні процедури. Назвемо їх так:

“Regulation” - процедура регулювання температури, “Report” – процедура розрахунку узагальнених даних для звіту.

На основі рисунку 3.4 створимо в об’єкті “ADAM-4017” такі канали введення аналогових сигналів датчиків і опишемо їх структуру:

- “T_{вх}” – канал типу INPUT, формату F, підтипу ANALOG, атрибут - “ADAM 4017”; в канал вбудована процедура трансляції “TR_T” для розрахунку реального значення величини $t_{вх}$, а також процедура управління “PID” для реалізації ПІД-закону регулювання цієї температури;

- “ T_{вих} ” – канал типу INPUT, формату F, підтипу ANALOG, атрибут - “ADAM 4017”; в канал вбудована процедура трансляції “TR_T” для розрахунку реального значення величини температури $t_{вих}$;

- “ T_{ка} ” – канал типу INPUT, формату F, підтипу ANALOG, атрибут - “ADAM 4017”; в канал вбудована процедура трансляції “TR_T” для розрахунку реального значення величини температури $t_{ка}$;

- “ Q ” – канал типу INPUT, формату F, підтипу ANALOG, атрибут - “ADAM 4017”; в канал вбудована процедура трансляції “TR_Q” для розрахунку реального значення концентрації діоксиду сірки Q_{SO_2} у вхідній газовій суміші;

- “ F ” – канал типу INPUT, формату F, підтипу ANALOG, атрибут - “ADAM 4017”; в канал вбудована процедура трансляції “TR_F” для розрахунку реального значення величини витрат F_{SO_2} вхідної газової суміші;

- “Status_V3” – для введення сигналу з датчика положення виконавчого механізму вентиля 3: тип INPUT, формат F, підтип ANALOG, атрибут – “ADAM 4017”; процедура трансляції “TR_V”;

- “Status_V4” – для введення сигналу з датчика положення виконавчого механізму вентиля 4: тип INPUT, формат F, підтип ANALOG, атрибут – “ADAM 4017”; процедура трансляції “TR_V”.

В об’єкті “ADAM-4060” створюємо чотири канали дискретного виведення сигналів управління виконавчими механізмами вентилів 3 та 4:

- “V3_ON” - канал для виведення сигналу відкривання вентиля 3: тип OUTPUT, формат H, підтип DIGITAL, атрибут – “ADAM-4060”, накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться;

- “V3_OFF” - канал для виведення сигналу закривання вентиля 3: тип OUTPUT, формат H, підтип DIGITAL, атрибут – “ADAM-4060”, накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться;

- “V4_ON” - канал для виведення сигналу відкривання вентиля 4: тип OUTPUT, формат H, підтип DIGITAL, атрибут – “ADAM-4060”, накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться;

- “V4_OFF” - канал для виведення сигналу закривання вентиля 4: тип OUTPUT, формат H, підтип DIGITAL, атрибут – “ADAM-4060”, накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться.

Крім того, в об’єкті «КА» створюємо два внутрішніх канали, не

зв'язаних з апаратурою введення/виведення, для отримання інформації з графічного інтерфейсу:

- " GRN_Tmin " – канал для виведення команди з графічного інтерфейсу на переведення процедури "Regulation" у аварійний режим роботи при мінімальному значенні температури: тип OUTPUT, формат H, підтип VALID; накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться;

- "GRN_Tmax" – канал для виведення команди з графічного інтерфейсу на переведення процедури "Regulation" у аварійний режим роботи при максимальному значенні температури: тип OUTPUT, формат H, підтип VALID; накладання маски на 1-й розряд коду, що виводиться.

Після визначення загальної структури об'єктів та необхідного складу їх каналів можна виконувати більш детальну розробку окремих програмних модулів (програмних процедур).

3.4 Проектування окремих програмних модулів

Програмні модулі (програмні процедури) будемо розробляти за допомогою вбудованої в систему ТМ мови програмування FBD.

Розробимо процедуру трансляції "TR_T" апаратного значення каналів "T_vx", "T_vих" і "T_ка" у реальні значення температури t_{vx} , $t_{вих}$ і $t_{ка}$. Вона буде полягати у множенні десяткового значення вхідного коду з модуля аналогового введення t_{vx}^* , $t_{вих}^*$ і $t_{ка}^*$ на постійний коефіцієнт трансляції $k_{транс}$. Виконаємо розрахунок цього коефіцієнту.

Вихідний код АЦП модуля ADAM-4017 має 16 розрядів. При цьому старший розряд використовується для відображення знаку вхідної напруги. Тоді максимальне десяткове значення коду буде дорівнювати $N_{max} = 2^{15}$.

Сигнал датчиків температури (t_{vx} , $t_{вих}$ і $t_{ка}$) змінюються від 4 до 20 мА при вимірюванні температури для t_{vx} від 380 до 420 °С, для $t_{вих}$ від 560 до 600 °С і для $t_{ка}$ від 540 до 580 °С. Так як різниця значень всіх температур дорівнює 40 °С то їх можна прирівняти:

$$\Delta t_{vx} = \Delta t_{вих} = \Delta t_{ка} \cdot [\text{град.}], \quad (3.1)$$

$$\Delta t_{vx} = 420 - 380 = \Delta t_{вих} = 600 - 560 = \Delta t_{ка} = 580 - 540 = 40 \text{ (град.)}.$$

Таким чином, коефіцієнт перетворення датчиків дорівнює:

$$K_{n_T} = \frac{20 - 4}{40} = 0,4 \left[\frac{\text{mA}}{^\circ\text{C}} \right]. \quad (3.2)$$

Задаємо за допомогою відповідного 16-річного коду для каналу

модуля ADAM-4017, через який буде вводиться сигнали температури ($t_{вх}$, $t_{вих}$ і $t_{ка}$), діапазон вхідного сигналу 4-20 мА.

Тоді реальні значення температури по вхідному коду $t_{вх}^*$, $t_{вих}^*$ і $t_{ка}^*$ будуть розраховуватися так:

$$t = \frac{40}{N_{max}} \cdot t^* = \frac{40}{2^{15}} \cdot t^* = \frac{40}{32768} \cdot t^* = 0,00122 \cdot t^*, \quad (3.3)$$

тобто,

$$\begin{cases} t_{вх} = 0,00122 \cdot t_{вх}^* ; \\ t_{вих} = 0,00122 \cdot t_{вих}^* ; \\ t_{ка} = 0,00122 \cdot t_{ка}^* ; \end{cases} \quad (3.4)$$

отже коефіцієнт трансляції $k_{транс} = 0,00122$.

Обчислювальна модель процедури “TR_T” зображена на рисунку 3.6.

З рисунку видно, що апаратні значення каналів “Т_вх”, “Т_вих” і “Т_ка” спочатку потрібно помножити на визначений коефіцієнт $k_{транс}$, а потім до отриманого результату додати зону нечутливості датчика температури (0,15). В результаті отримаємо реальні значення температури $t_{вх}$, $t_{вих}$ і $t_{ка}$, які автоматично запишуться у реальні значення цього каналу.

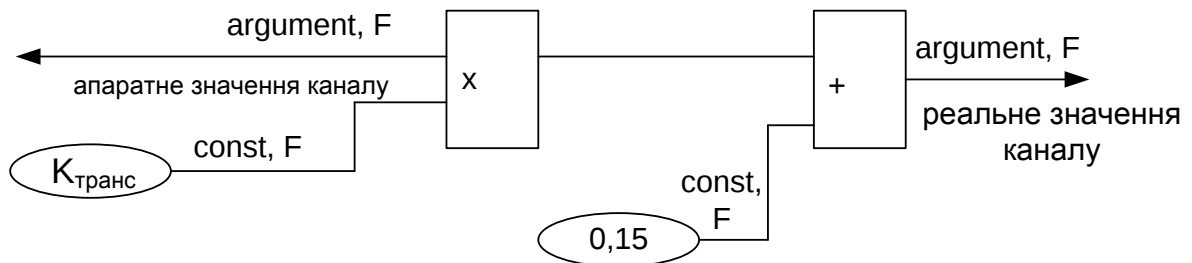


Рисунок 3.6 – Обчислювальна модель процедури “TR_T”

На рисунку також показані атрибути входів та виходів алгоритмічних блоків, що виконують елементарні математичні операції. Ці ж атрибути треба буде задавати при розробці FBD – програми процедури “TR_T”.

На рисунку 3.7 наведене схематичне зображення FBD – програми “TR_T”, що розроблена в FBD - редакторі системи ТМ.

На рисунку овалами з текстом показані коментарі до входів та виходів алгоритмічних блоків, які можна застосувати у реальному FBD - редакторі системи ТМ. Числові ж значення цих входів та виходів формуються

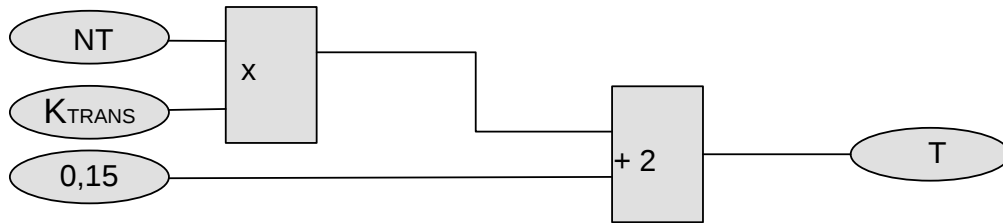


Рисунок 3.7 – Схематичне зображення FBD – процедури “TR_T”

програмним шляхом. Апаратне значення температури ($t_{вх}$, $t_{вих}$ і $t_{ка}$) передається до цієї процедури шляхом зв’язування входу процедури “NT”, який має атрибут “argument” у форматі F дійсного числа з плаваючою комою, з апаратним значенням каналу (“T_вх”, “T_вих” і “T_ка”). На вході процедури “K_TRANS”, який має атрибут “Const” в форматі F, постійний коефіцієнт 0,00122 задається через спеціальну інструментальну панель FBD – редактора. Аналогічно на вхід “0,15” процедури вводиться число 0,15. Вихід процедури “T”, який має атрибут “argument” у форматі F, зв’язується з реальним значенням каналу (“T_вх”, “T_вих” і “T_ка”), де воно і буде зберігатися до нового циклу перерахування каналу.

Аналогічно розробимо процедуру трансляції “TR_V” для каналів “Status_V3”, “Status_V4” введення сигналу датчика положення виконавчих механізмів вентиля 3 і вентиля 4.

Сигнал датчиків змінюються від 0 до 10 В при вимірюванні положення виконавчих механізмів від 0 до 100% X.P.O.

Таким чином, коефіцієнт перетворення датчиків дорівнює:

$$K_{n_v} = \frac{10}{100} = 0,1[B] \quad (3.5)$$

Задаємо за допомогою відповідного 16-річного коду для каналу модуля ADAM-4017, через який буде вводиться сигнали положення вентилів, діапазон вхідного сигналу 0-10 В.

Тоді реальні значення положення вентиля по вхідному коду будуть розраховуватися так:

$$v = \frac{100}{N_{\max}} \cdot t^* = \frac{100}{2^{15}} \cdot t^* = \frac{100}{32768} \cdot t^* = 0,003 \cdot t^*, \quad (3.6)$$

тобто коефіцієнт трансляції $k_{транс} = 0,003$.

Обчислювальна модель процедури “TR_V” зображена на рисунку 3.8. З рисунку видно, що апаратні значення каналів “Status_V3”, “Status_V4” потрібно помножити на визначений коефіцієнт $k_{транс}$. В результаті отримаємо

реальні значення положення заслінки в регулюючому органі (вентилі), які автоматично запишуться у реальні значення цього каналу.

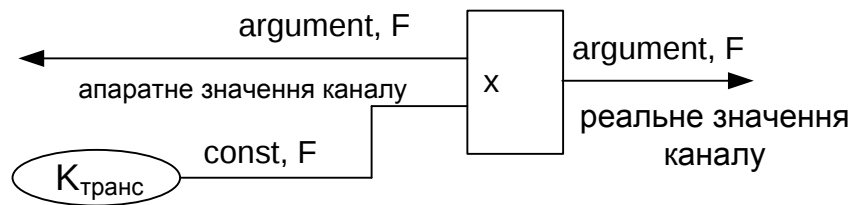


Рисунок 3.8 – Обчислювальна модель процедури “TR_V”

На рисунку також показані атрибути входів та виходів алгоритмічних блоків, що виконують елементарні математичні операції. Ці ж атрибути треба буде задавати при розробці FBD – програми процедури “TR_V”.

На рисунку 3.9 наведене схематичне зображення FBD – програми “TR_V”, що розроблена в FBD - редакторі системи ТМ.

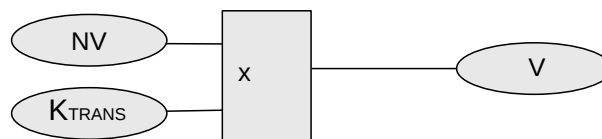


Рисунок 3.9 – Схематичне зображення FBD – процедури “TR_V”

На рисунку овалами з текстом показані коментарі до входів та виходів алгоритмічних блоків, які можна застосувати у реальному FBD - редакторі системи ТМ. Числові ж значення цих входів та виходів формуються програмним шляхом. Апаратне значення положення заслінки в вентилі передається до цієї процедури шляхом зв'язування входу процедури “NV”, який має атрибут “argument” у форматі F дійсного числа з плаваючою комою, з апаратним значенням каналу ("Status_V3", "Status_V4"). На вході процедури “K_TRANS”, який має атрибут “Const” в форматі F, постійний коефіцієнт 0,003 задається через спеціальну інструментальну панель FBD – редактора. Вихід процедури "V", який має атрибут “argument” у форматі F, зв'язується з реальним значенням каналу ("Status_V3", "Status_V4"), де воно і буде зберігатися до нового циклу перерахування каналу.

Розробимо процедуру трансляції “TR_Q” для каналу “Q” введення сигналу датчика концентрації Q_{SO_2} . Вона буде полягати у множенні десяткового значення вхідного коду з модуля аналогового введення $Q_{SO_2}^*$ на постійний коефіцієнт трансляції $k_{транс}$. Виконаємо розрахунок цього коефіцієнту.

Вихідний код АЦП модуля ADAM-4017 має 16 розрядів. При цьому старший розряд використовується для відображення знаку вхідної напруги. Тоді максимальне десяткове значення коду буде дорівнювати $N_{\max} = 2^{15}$.

Сигнал датчиків концентрації Q_{SO_2} змінюються від 4 до 20 мА при вимірюванні концентрації від 9 до 10 %.

Таким чином, коефіцієнт перетворення датчиків дорівнює:

$$K_{n_T} = \frac{20 - 4}{10 - 9} = 16 [mA] \quad (3.7)$$

Тоді реальні значення концентрації по вхідному коду $Q_{\text{SO}_2}^*$ буде розраховуватися так:

$$Q_{\text{SO}_2} = \frac{1}{N_{\max}} \cdot Q_{\text{SO}_2}^* = \frac{1}{2^{15}} \cdot Q_{\text{SO}_2}^* = \frac{1}{32768} \cdot Q_{\text{SO}_2}^* = 0,00003 \cdot Q_{\text{SO}_2}^*, \quad (3.8)$$

тобто коефіцієнт трансляції $k_{\text{транс}} = 0,00003$.

Обчислювальна модель процедури “TR_Q” зображена на рисунку 3.10. З рисунку видно, що апаратне значення каналу “Q” спочатку потрібно помножити на визначений коефіцієнт $k_{\text{транс}}$, а потім до отриманого результату додати зону нечутливості датчика (0,15). В результаті отримаємо реальне значення концентрації Q_{SO_2} , яке автоматично запишуться у реальне значення цього каналу.

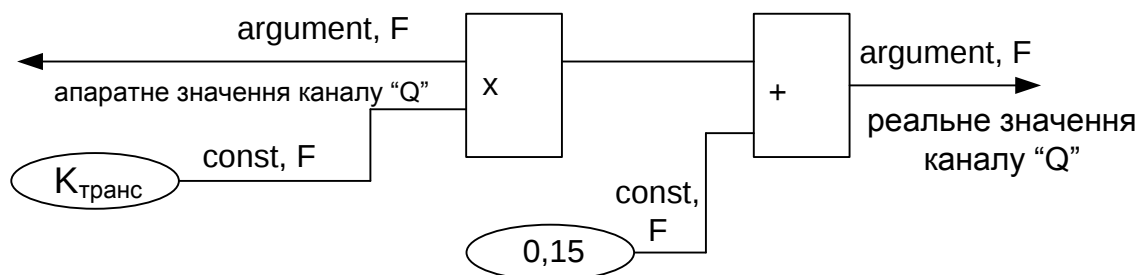


Рисунок 3.10 – Обчислювальна модель процедури “TR_Q”

На рисунку також показані атрибути входів та виходів алгоритмічних блоків, що виконують елементарні математичні операції. Ці ж атрибути треба буде задавати при розробці FBD – програми процедури “TR_Q”.

На рисунку 3.11 наведене схематичне зображення FBD – програми “TR_Q”, що розроблена в FBD - редакторі системи ТМ.

На рисунку овалами з текстом показані коментарі до входів та виходів алгоритмічних блоків, які можна застосувати у реальному FBD - редакторі системи ТМ.

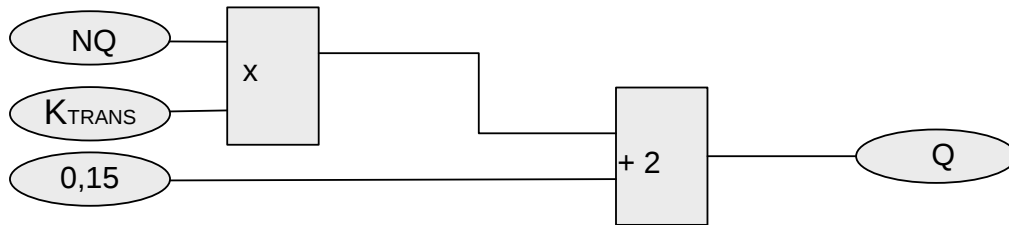


Рисунок 3.11 – Схематичне зображення FBD – процедури “TR_V”

Числові ж значення цих входів та виходів формуються програмним шляхом. Апаратне значення концентрації Q_{SO_2} передається до цієї процедури шляхом зв'язування входу процедури “NQ”, який має атрибут “argument” у форматі F дійсного числа з плаваючою комою, з апаратним значенням каналу “Q”. На вході процедури “K_TRANS”, який має атрибут “Const” в форматі F, постійний коефіцієнт 0,00003 задається через спеціальну інструментальну панель FBD – редактора. Аналогічно на вхід “0,15” процедури вводиться число 0,15. Вихід процедури “Q”, який має атрибут “argument” у форматі F, зв'язується з реальним значенням каналу “Q”, де воно і буде зберігатися до нового циклу перерахування каналу.

Розробимо тепер процедуру управління “Regulation” для реалізації ПД-закону регулювання температури суміші на вході контактного апарату. Ця процедура вбудовується в канал “T_vx”. Обчислювальна модель цієї процедури показана в додатку В.

Блок 1 виконує розрахунок похибки регулювання концентрації ΔQ шляхом віднімання від реального значення рівня його заданого (номінального) значення. Блок 2 розраховує похибку вхідної температури, блок 3 похибку температури в шарі контактної апарату, а блок 4 похибку температури на виході з контактної апарату. Блок 5 знаходить загальну похибку шляхом додавання всіх похибок. Блок 6 утворює зону нечутливості на вході регулятора 7 (запобігає “смиканню” виконавчого механізму вентиля при малих значеннях похибки регулювання). Блок 7 реалізує ПД-закон регулювання температури, коефіцієнти якого задаються ззовні (K_{INT} , K_{DIF}). Коефіцієнт K_p задається відповідно з ходом виконання технічного процесу (адаптація). Блок 8 перераховує вихідне значення регулятора у необхідне зміщення вентиля 3 відносно номінального його положення (20% X.P.O.). Блок 9 розраховує завдання на нове положення вентиля 3. Блок 9 порівнює це завдання з реальним положенням вентиля 3, яке отримується з каналу “Status_V3” і розраховує похибку в положенні вентиля. Блок 10 створює зону нечутливості для малих значень цієї похибки. Блоки 11 та 12 визначають знак похибки і формують дискретні сигнали на відкриття чи закриття вентиля. Якщо похибка має додатний знак, то формується сигнал на відкриття вентиля у вигляді логічної «одиниці». Якщо ж знак від'ємний, то формується другий

сигнал у вигляді логічної «одиниці» на закриття вентилля.

Якщо ж виникає аварійна ситуація, то оператор переводить роботу регулятора в аварійний режим. Тоді блоки 13 і 14 вибирають або нормальне, або аварійне значення інтегрального та диференціального коефіцієнтів регулятора програмним шляхом, які подаються на інтегральний і диференціальний коефіцієнти регуляторів 7 і 18, тобто працюють в номінальному чи аварійному режимі. При нормальній роботі використовується автоматичний режим роботи.

Блок 15 змінює знак на протилежний похибки вхідної температури. Блок 16 визначає значення між значенням витрат і значенням блоку 15 шляхом їх віднімання. Блок 17 утворює зону нечутливості на вході регулятора 18 (запобігає "смиканню" виконавчого механізму вентилля при малих значеннях похибки регулювання). Блок 18 реалізує ПД-закон регулювання, коефіцієнти якого задаються ззовні (K_{INT} , K_{DIF}). Коефіцієнт K_P задається відповідно із ходом виконання технічного процесу. Блок 19 перераховує вихідне значення регулятора у необхідне зміщення вентилля 4 відносно номінального його положення (50% X.P.O.). Блок 20 розраховує завдання на нове положення вентилля 4. Блок 20 порівнює це завдання з реальним положенням вентилля 4, яке отримується з каналу "Status_V4" і розраховує похибку в положенні вентилля. Блок 21 створює зону нечутливості для малих значень цієї похибки. Блоки 22 та 23 визначають знак похибки і формують дискретні сигнали на відкриття чи закриття вентилля. Якщо похибка має додатній знак, то формується сигнал на відкриття вентилля у вигляді логічної «одиниці». Якщо ж знак від'ємний, то формується другий сигнал у вигляді логічної «одиниці» на закриття вентилля.

Використовуючи обчислювальну модель процедури можна в FBD-редакторі ТМ розробити відповідну FBD - програму "Regulation". Схематично вона показана на рисунку 3.12.

На цьому рисунку наведені коментарі до входів та виходів програми, а також буквені позначення алгоритмічних блоків FBD мови.

Розкриємо значення деяких коментарів:

- "DLT1" – вхід константи, яка задає ширину зони нечутливості блоку DZONE для похибки регулювання;
- "DLT2" – вхід константи, яка задає ширину зони нечутливості блоку DZONE для похибки регулювання;
- "авто/авар" – вхід дискретної величини аварійного стану (вводиться з графічного інтерфейсу оператора; дорівнює логічному «нулю», якщо температура не виходить за встановлені границі, і дорівнює логічній «одиниці», якщо границі контролю порушені);
- "XPO_3НОРМ" – положення вентилля 3 у нормальному режимі роботи (у % X.P.O.);
- "DLT3" – вхід константи, яка задає ширину зони нечутливості блоку DZONE для похибки положення вентилля 3;

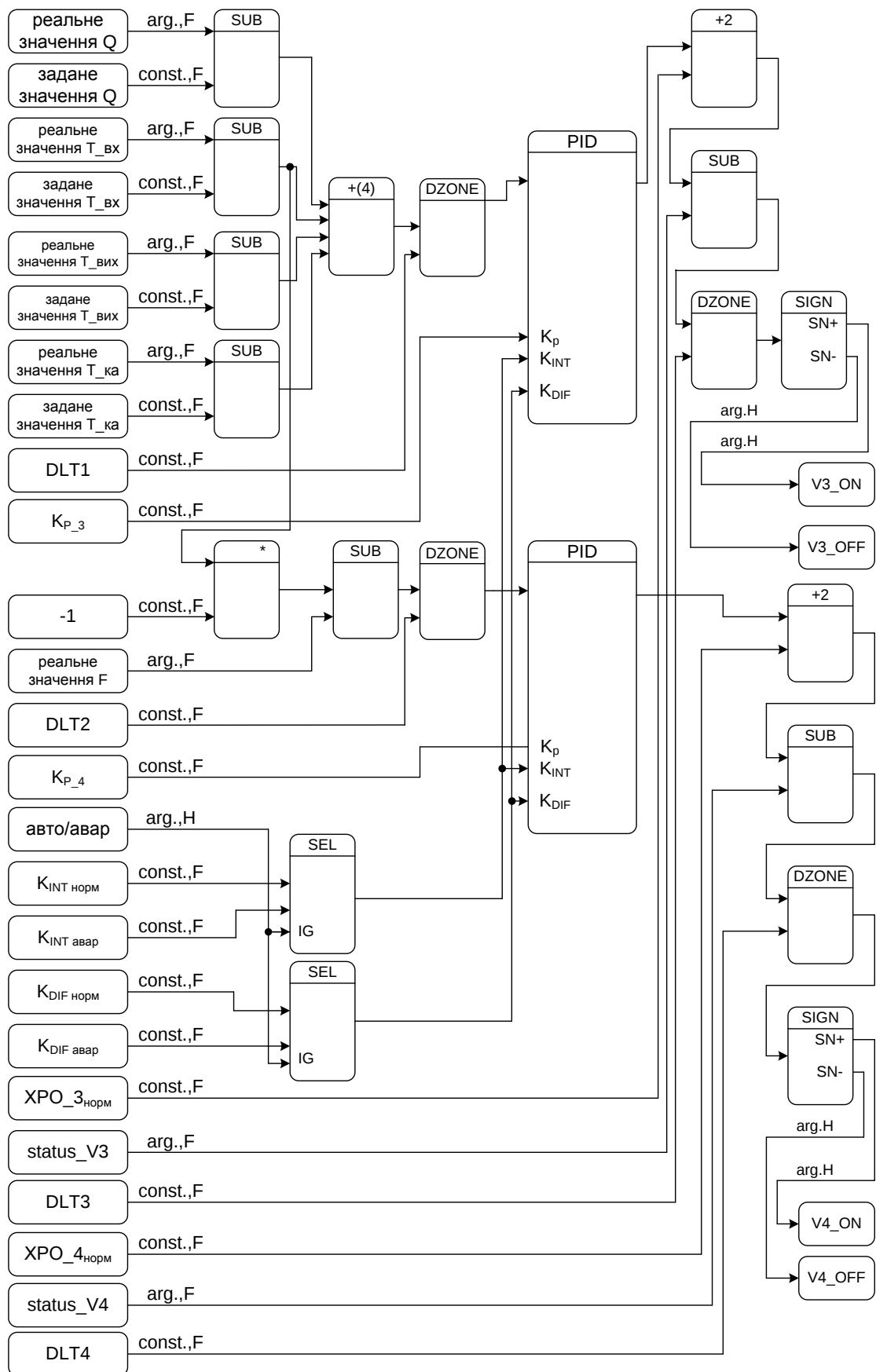


Рисунок 3.12 – Схематичне зображення FBD - програми “Regulation”

- “V3_ON” – вихід процедури у вигляді дискретної величини для відкриття вентиля 3 (логічна «одиниця»);
- “V3_OFF” – вихід процедури у вигляді дискретної величини для закриття вентиля 3 (логічна «одиниця»);
- “XPO_4_{НОРМ}” – положення вентиля 4 у нормальному режимі роботи процесу (у % Х.Р.О.);
- “DLT4” – вхід константи, яка задає ширину зони нечутливості блоку DZONE для похибки положення вентиля 4;
- “V4_ON” – вихід процедури у вигляді дискретної величини для відкриття вентиля 4 (логічна «одиниця»);
- “V4_OFF” – вихід процедури у вигляді дискретної величини для закриття вентиля 4 (логічна «одиниця»).

В додатку І наведений графічний лістинг FBD - програми “Regulation” в редакторі FBD – програм WinCC.

3.5 Проектування графічного ЛМІ оператора

Графічний ЛМІ оператора згідно з розробленим вище технічним завданням (див. додаток А) має складатися з одного основного екрану «Головний екран» та двох додаткових: «Графіки» та «Архів даних».

На екрані «Головний екран» повинні відображатися мнемосхема технологічного процесу та значення вихідних сигналів датчиків температури для швидкого реагування оператора на ситуацію, яка слалась. На мнемосхемі процесу зображуються місця встановлення датчиків температури, витрат та концентрації, сигнали яких надходять до процедур регулювання. Демонструються також стани вентилів 3 і 4 у вигляді положення їхніх заслінок (у % Х.Р.О. та кольоровими індикаторами).

Представляються засоби сигналізації, які показані у вигляді границь (мінімальне і максимальне значення) температури з аварійними лампочками, що забезпечують візуальну сигналізацію. Також на даному екрані мають бути засоби переходу до режимів аварійного чи автоматичного регулювання, які задаються безпосередньо оператором. При аварійному регулюванні вентиля 3 і 4 закриваються.

Даний екран наведений в додатку Г.

На головному екрані ЛМІ розміщені дві віртуальні кнопки, які дають можливість оператору перейти на додаткові екрани.

На першому додатковому екрані «Графіки» виводяться результати регулювання температури газу в шарі контактного апарата $t_{ка}$, зокрема, тренди зміни у часі температури газу в шарі $t_{ка}$, концентрації Q_{SO_2} , та вхідної температури газу SO_2 $t_{вх}$ в контактний апарат, які показані на двох графіках «Регулювання температури» та «Значення концентрації». Також встановлена кнопка на перехід до головного екрану.

На другому додатковому екрані «Архів даних» виводяться тренди зміни в часі температури суміші на вході контактного апарату $t_{\text{вх}}$, температури газу на виході із контактного апарату $t_{\text{вих}}$, та стани вентилів 3 та 4, які представлені на графіках «значення вхідної та вихідної температури» і «положення заслінок в вентилі». Важливою складовою даного екрану є можливість перегляду архівних даних, які зберігають всі значення сигналів датчиків і дають можливість їх перегляду в будь який час. Ці дані переставляються на формі відображення типу тренд «Архів даних». На даному екрані встановлена кнопка «Головний екран», яка забезпечує перехід до головного екрану.

Висновки

В результаті виконання даної бакалаврської кваліфікаційної роботи у формі проєкту була розроблена на основі рекомендацій діючих стандартів концепція функціональної структури нової інтегрованої системи автоматизації промисловим виробництвом сірчаної кислоти. Ця система у порівнянні з існуючими аналогічними системами дозволяє не тільки управляти технологічним процесом, але і виконувати кілька функцій управління всім виробництвом в цілому.

В рамках такої системи, використовуючи інструментальну систему SCADA «WinCC», була спроектована автоматизована система управління технологічним процесом для промислового виробництва сірчаної кислоти. Для цього був проведений аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизованого управління, зроблений обґрунтований вибір програмно-апаратних засобів автоматизації, розроблені електрична структурна схема АСУТП та її функціональна схема автоматизації, а також спроектовані окремі програмні модулі ПЗ системи та графічний ЛМІ для ПК оператора.

Для утворення розробленої структури АСУТП були застосовані модулі віддаленого введення/виведення фірми «Advantech».

Література

1. Olsson, G., Piany, J.. Computer systems for automation and control [Електронний ресурс] / URL : <http://www.philadelphia.edu.jo/newlibrary/pdf/file095f62f119bb471591fd8f273ac06353.pdf>.
2. Комплексна автоматизація технологічних процесів [Електронний ресурс] / URL : <https://extremeltd.ua/solutions/industrial-automation/>.
3. Громович М.А., Папінов В.М. Інтегрована система автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти / Матеріали LIV НТК підрозділів Вінницького національного технічного університету (Вінниця, ВНТУ, 24-27 червня 2025 року) [Електронний ресурс] / URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2025/paper/view/24229/20005>.
4. Виробництво сірчаної кислоти контактним способом: Електронний підручник з хімії [Електронний ресурс] / URL : <http://www.alhimikov.net/elektronbuch/kislota.html>.
5. В.М. Ткаченко, Н.М. Чернишів. Розробка та дослідження математичної моделі технологічного процесу виробництва сірчаної кислоти // Наукові праці ДонНТУ. – 2009. – Вип. 148. – С.22-29 [Електронний ресурс] / URL : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Npdntu/ota/2009_17/VT_i_avt%5C1_03_Tkachenko_Chernishov.pdf.
6. Федоренко А.М., Ронін А.М., Федоренко Л.П. Розвиток технології електроокислення оксиду сірки (IV) під час виробництва сірчаної кислоти// Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія "Біологія, хімія". - 2008. – Том 21 (60). – № 1. – С.175-178 [Електронний ресурс] / URL : http://www.nbu.gov.ua/Portal/natural/UZTNU/zapiski/2008/biology_chemistry/ush_21_1b/21fedorenko.pdf
7. Яцков М. В., Корчик Н. М., Пророк О. А. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв: Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 212 с.
8. Нестеренко С. В. Технологія виробництва хімічних речовин і матеріалів: Конспект лекцій. – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 101 с.
9. Бобух А.О.. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 185 с.
10. Сєдов Г.А., Кукушкін С.Є., Терлецький М.Ю. Досвід впровадження SCADA-пакету iFIX при виробництві сірчаної кислоти на ВАТ "Фосфорит"// Промислові АСУ та контролери. – 2002. - №8. – С. 34-39.
11. Розробка системи автоматизації виробництва сірчаної кислоти [Електронний ресурс] / URL : https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/36281/1/151_Musiienko%20Viacheslav%20Yevhenovych.pdf.
12. Розробка та дослідження автоматизованої системи керування процесом виробництва сірчаної кислоти [Електронний ресурс] / URL : <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/33226?locale=pt>.

- 13.Пупена О., Ельперін І., Міркевич Р. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - Т.8. - №3. – 2016.
- 14.ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] / URL : <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.
- 15.Пупена О. М. Практичні рекомендації до реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування/ О. М. Пупена, Р. М. Міркевич, О. М. Клименко. – К: АППАУ, ТК 185 «Промислова автоматизація», 2020. – 46 с.
- 16.MESA Model: A Framework for Smarter Manufacturing [Електронний ресурс] / URL : <https://mesa.org/topics-resources/mesa-model/>.
- 17.Shraddha Kakade. Manufacturing execution system (MES) [Електронний ресурс] / URL : <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/manufacturing-execution-system-MES>.
- 18.Itskovich Emmanuil. Fundamentals of Design and Operation of Manufacturing Execution Systems (MES) in Large Plants [Електронний ресурс]/ URL: <https://dplp.org/rec/conf/mim/Itskovich13.bib>.
- 19.Офіційний сайт компанії "СВ АЛЬТЕРА" в Україні [Електронний ресурс]/ URL: www.svaltera.ua.
- 20.Все необхідне для автоматизації на базі PC: Каталог продукції фірми ADVANTECH. – Prosoft, 2017. – 490 с.
- 21.Призначення, структура і основні функції SCADA - систем [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.votum.if.ua/uk/publications/scada.htm>.
- 22.Системи візуалізації. SCADA-системи [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.svaltera.zp.ua/?inc=prod/scada/>.
- 23.SCADA система SIMATIC WinCC [Електронний ресурс]/ URL: <https://www.avigan.com.ua/page/scada-sistema-simatic-wincc/mp/16283/>.
- 24.SCADA-система CITECT как инструмент интеграции технологических данных [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.atlas.kiev.ua/rus/scada.html>.

Додатки

Додаток А
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АІТ
д.т.н., професор Олег БІСІКАЛО

“ 23 ” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту)
«Інтегрована система автоматизації промислового виробництва сірчаної
кислоти»
08-31.БКР.006.02.000 ТЗ

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:
проф. каф. АІТ Володимир ПАПІНОВ

“ 23 ” травня 2025 р.

Розробив студент гр. АКІТР-23мс
Микола ГРОМОВИЧ

“ 23 ” травня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

Інтегрована система автоматизації (ІСА) промислового виробництва сірчаної кислоти.

ІСА призначена для роботи у складі системи автоматизованого управління хімічним підприємством.

2 Підстава для розробки та назва організації, що проектує

Розробку ІСА проводити на підставі наказу по ВНТУ № 97 від 20.03.2025 р. та індивідуального завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту, складеного та затвердженого кафедрою автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ВНТУ.

3 Мета та призначення розробки

ІСА призначена для управління виробничим процесом, заснованим на технологічному процесі, схема якого наведена на рисунку 1.

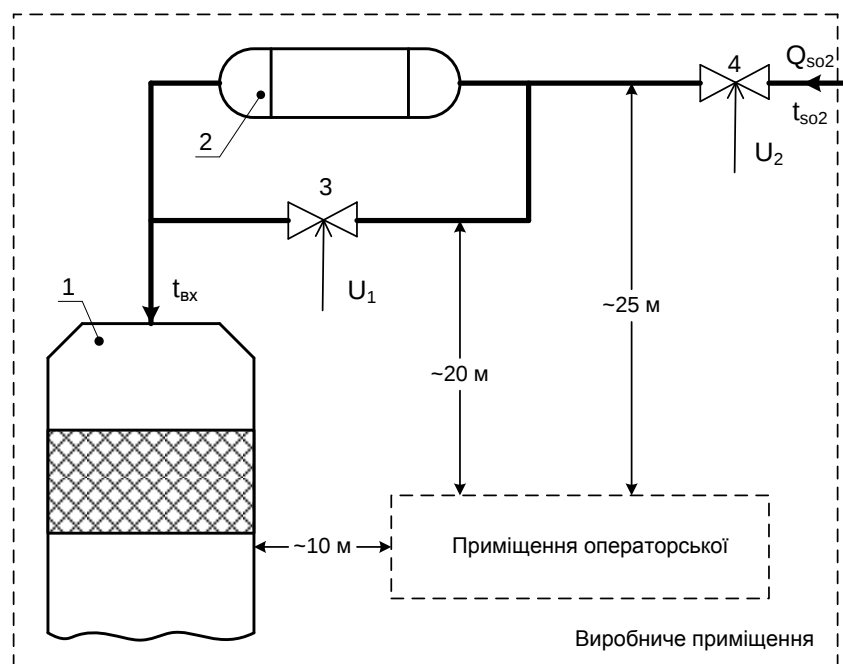


Рисунок 1 – Схема технологічного процесу, що автоматизується

В технологічній схемі для окислювання SO₂ в триоксид сірки SO₃ застосовують багатошаровий контактний апарат 1 із проміжним

охолодженням в теплообміннику 2. Теплообмінник розміщується усередині контактного апарата або поза нього. Процес окислювання SO_2 полягає в тому, що газ, підігрітий до температури трохи вище температури запалювання ($400-420^\circ\text{C}$), пропускають через перший шар контактної маси (каталізатор), де відбувається окислювання 60-80% усієї кількості SO_2 . Нагрівання суміші починається вже в теплообміннику, що встановлений перед контактним апаратом. Холодна суміш до теплообмінника поступає через регулювальний вентиль 4. Суміш проходить між трубками теплообмінника й нагрівається від цих трубок. Усередині трубок проходить гарячий триоксид сірки SO_3 з контактного апарата. Як тільки суміш оксиду сірки й кисню досягне шарів каталізатора, починається процес окислювання SO_2 в SO_3 . В контактному апараті суміш SO_2 і O_2 продовжує нагріватися до потрібної температури, проходячи між трубками в контактному апараті. Температура $400-500^\circ\text{C}$ у контактному апараті підтримується за рахунок виділення теплоти в реакції перетворення SO_2 в SO_3 . В ході реакції окислення температура газу може підвищуватися до $550-580^\circ\text{C}$. Тому газ після першого шару охолоджують до $460-480^\circ\text{C}$ або у теплообміннику (туди газ поступає через регулювальний вентиль 3), або шляхом додавання холодного газу через вентиль 4. Після охолодження газ надходить у другий шар контактної маси, де відбувається подальше окислювання SO_2 . При цьому температура знову підвищується і газ знову потрібно охолоджувати й т.д.

Метою розробки є отримання кращого за техніко-економічними показниками рішення ІСА у порівнянні з існуючими аналогами.

ІСА будується за ієрархічним принципом. На нижньому рівні управління функціонує автоматизована система управління технологічним процесом (АСУТП), а на верхньому рівні – автоматизована система управління виробництвом (АСУВ).

4 Джерела розробки

1. Пупена О. М. Практичні рекомендації до реалізації елементів стандарту ІЕС 61512 в програмному забезпеченні систем керування/ О. М. Пупена, Р. М. Міркевич, О. М. Клименко. – К: АППАУ, ТК 185 «Промислова автоматизація», 2020. – 46 с.
2. Яцков М. В., Корчик Н. М., Пророк О. А. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв: Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 212 с.
3. Ларичева Л.П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів/ Л.П. Ларичева, М.Д. Волошин, О.П. Луценко, Дніпродзержинськ:ДДТУ. – 2015. – 320 с.

4. Кожухар, В. Я. Автоматизовані системи керування хіміко-технологічними процесами : навч. посібник / В. Я. Кожухар, В. В. Брем, О. В. Макаров ; Держ. ун-т "Одес. політехніка". - Одеса, 2021. - 223 с.

5 Показники призначення

5.1 Виробничі умови експлуатації АСУТП

Частина обладнання АСУТП встановлюється у виробничому приміщенні, а друга частина – в приміщенні операторської.

Ці приміщення опалюються.

Для них встановлені такі умови:

- температура навколишнього середовища: $+10^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря $\leq 88\%$ (при $t = +25^{\circ}\text{C}$);
- ударні навантаження – немає;
- вібрація підлоги:
 - частота $10 \div 30$ Гц;
 - віброприскорення $\leq 19,6$ м/с²;
 - лінійне прискорення – немає;
- понижений атмосферний тиск, не більше 61 кПа.

5.2 Вихідні параметри, що регулюються

Вихідними змінними об'єкту, що підлягають регулюванню, є температура $t_{\text{ка}}$ газу в шарі контактного апарату, вхідна та вихідна температура і концентрація газу.

Номінальне значення температури шару в контактному апараті $t_{\text{ка.0}}=560^{\circ}\text{C}$, а допустимі границі зміни температури $t_{\text{ка.min}}=540^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ка.max}}=580^{\circ}\text{C}$.

Номінальне значення вхідної температури газу: $t_{\text{вх}}=400^{\circ}\text{C}$, а допустимі границі зміни температури $t_{\text{вх.min}}=380^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вх.max}}=420^{\circ}\text{C}$.

Номінальні значення концентрація газу: $Q_{\text{SO2.0}}=9,5\%$, а допустимі границі зміни концентрації $Q_{\text{SO2.min}}=9\%$, $Q_{\text{SO2.max}}=10\%$.

Номінальне значення вихідної температури газу: $t_{\text{вих}}=580^{\circ}\text{C}$, а допустимі границі зміни температури $t_{\text{вх.min}}=560^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{вх.max}}=600^{\circ}\text{C}$.

5.3 Параметри ТП, що підлягають контролю або вимірюванню

Змінними збуреннями, що впливають на якість регулювання є витрати газу SO_2 у вхідному трубопроводі F_{SO2} . Саме цей параметр необхідно виміряти та контролювати для його зменшення.

5.4 Управляючі діяння та місце їх прикладання

Регулювання температури в шарі контактного апарату $t_{ка}$ здійснюється за допомогою вентилів 3 і 4 з електричними виконавчими механізмами шляхом подачі на них управляючих діянь U_1 і U_2 від відповідних регуляторів.

З опису технологічного процесу відомо, що клапан 3 на $t_{ка}$ впливає в вузькому діапазоні. В номінальному режимі управляюче діяння $U_{1.0}=20\%X.P.O.$ (хід регулюючого органу). У процесі регулювання можлива плавна зміна U_1 у діапазоні від $U_{1.min}=0\%X.P.O.$ до $U_{1.max}=100\% X.P.O.$

Аналогічно на $t_{ка}$ впливає управляюче діяння U_2 , що подається на виконавчий механізм клапана 4, яке регулюється в широкому діапазоні. Параметри цього сигналу: $U_{2.0}=50\% X.P.O.$, а границі його зміни від $U_{2.min}=0\% X.P.O.$ до $U_{2.max}=100\% X.P.O.$

5.5 Дії оператора АСУТП у разі виникнення аварійних ситуацій

У разі виходу концентрації Q_{SO2} за встановлені границі оператор повинен шляхом формування «вручну» сигналу управління встановити параметр $U_{2.min}$, тобто закрити клапан 4.

При виході температури газу в шарі контактного апарата $t_{ка}$ за границі норми оператор повинен: «вручну» встановити сигнал управління на відкриття клапана 3 та зупинити роботу контактної апаратури.

5.6. Вимоги до графічного ЛМІ оператора АСУТП

З ергономічної точки зору графічний ЛМІ оператора повинен складатися з одного основного екрану та кількох додаткових.

На основному екрані відображується мнемосхема технологічного процесу та засоби сигналізації про аварійні події.

На першому додатковому екрані виводяться результати регулювання температури газу в шарі контактної апаратури $t_{ка}$, зокрема, тренди зміни у часі температури газу в шарі $t_{ка}$, концентрації Q_{SO2} , та температури газу SO_2 t_{SO2} .

На другому додатковому екрані виводяться тренди зміни в часі температури вхідної суміші до контактної апаратури $t_{вх}$, температури вихідної суміші із контактної апаратури $t_{вих}$ та поточні стани вентилів 3 та 4.

5.7. Вимоги до форм звітності

Система повинна автоматично формувати звіт про роботу технологічного процесу окислення діоксиду сірки в контактному апараті на протязі доби (з 0 до 24 години).

До звіту вносяться такі дані:

- температуру газу в шарі контактного апарата;
 - концентрацію газу SO₂;
 - температуру вихідної суміші із контактного апарату;
 - температуру вхідної суміші в контактний апарат;
- загальні витрати газу на вході технологічного процесу.

6 Стадії розробки

6.1. Розділ «Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту» та розробка концепції функціональної структури ІСА мають бути виконані до 26.04.25 р.

6.2. Розробка електричної структурної схеми АСУТП має бути виконана до 10.05.25 р.

6.3. Розробка функціональної схеми автоматизації АСУТП має бути виконана до 24.05.25 р.

6.4. Проектування програмного забезпечення АСУТП повинно бути виконано до 31.05.25 р.

7 Порядок контролю та приймання

7.1 Рубіжний контроль – 03-07.06.25 р.

7.2 Попередній захист – 10-15.06.25 р.

7.3 Захист БКР – в період з 16.06.25 по 23.06.25 р. за графіком, встановленим кафедрою АІТ.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

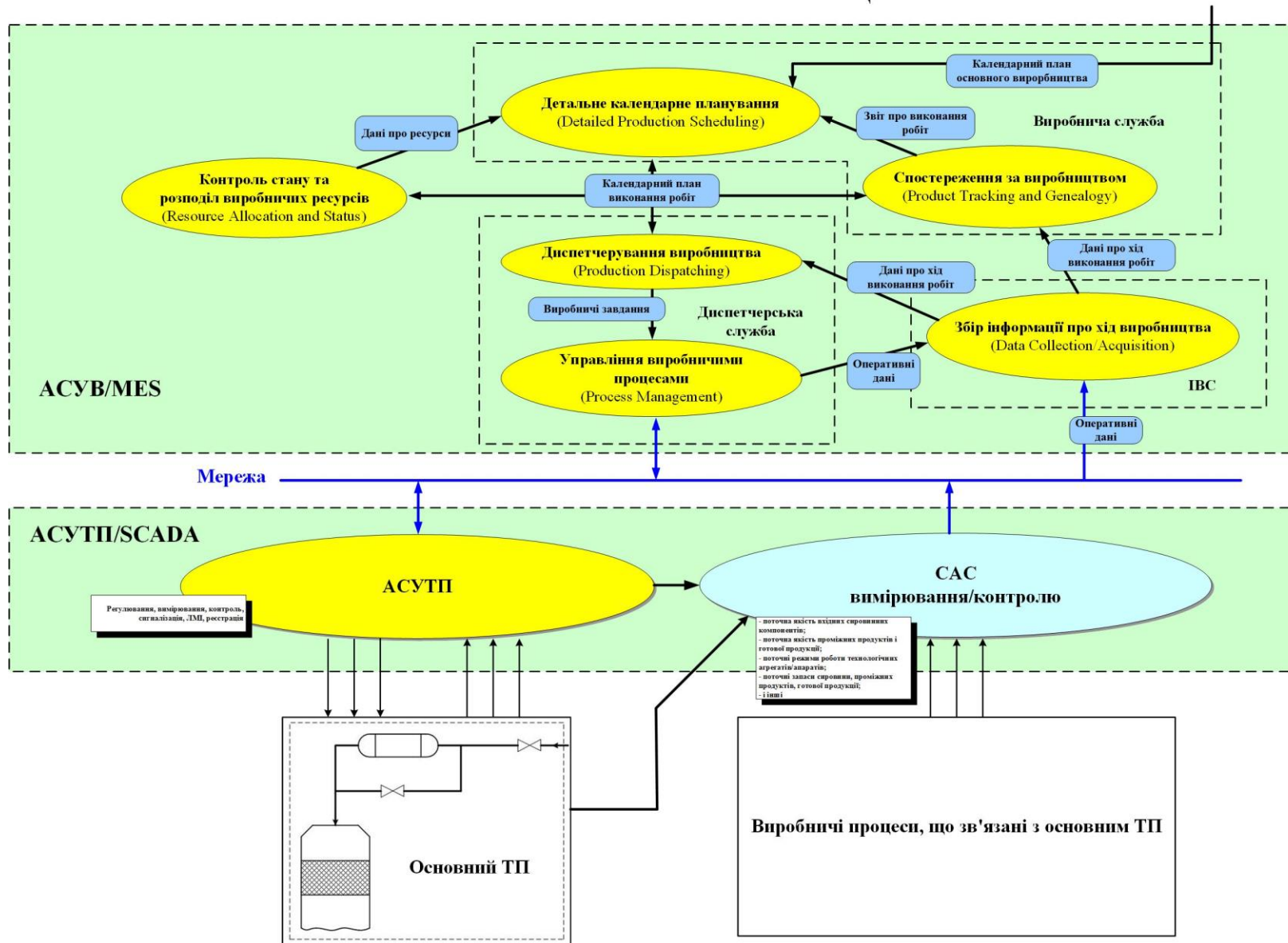
Розробив:
_____ Микола ГРОМОВИЧ
“ ” _____ 2025 р.

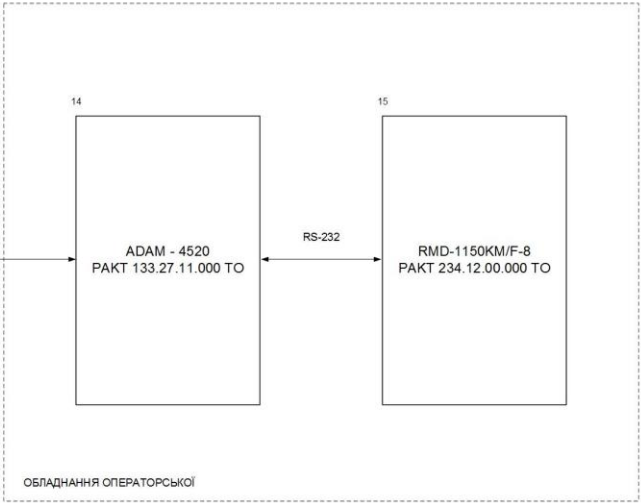
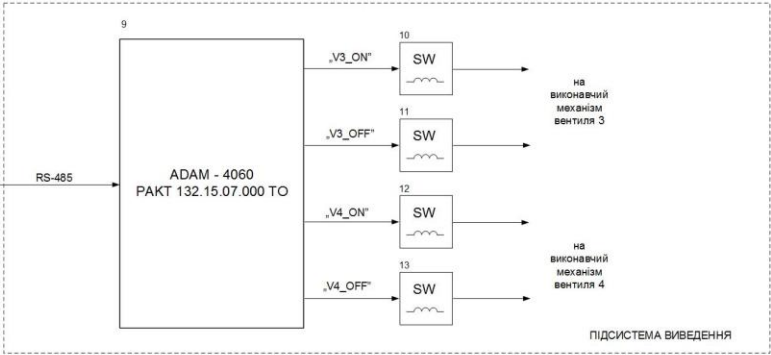
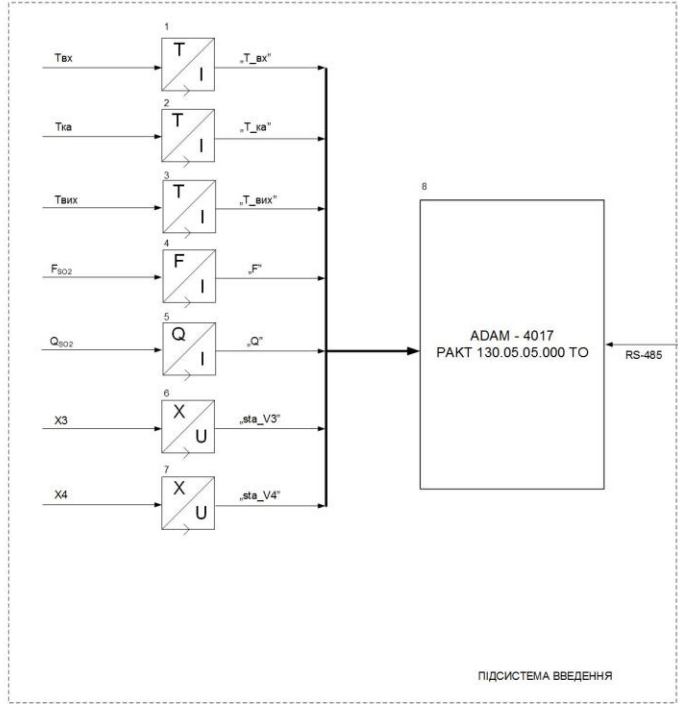
Перевірив:
_____ Володимир ПАПІНОВ
“ ” _____ 2025 р.

Рецензент: _____

“ ” _____ 2025 р.

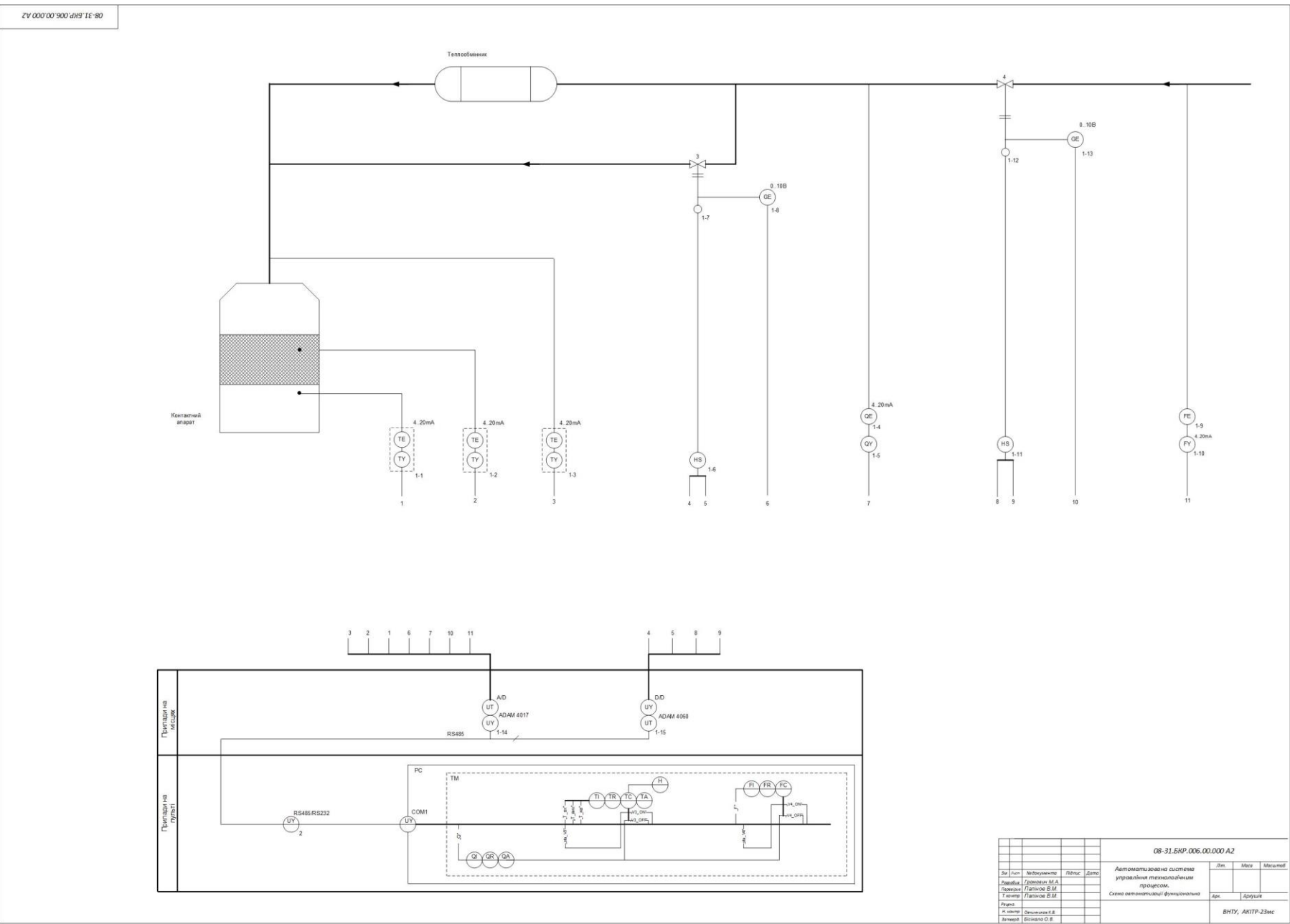
КОНЦЕПЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ





08-31 БКР 006.00.000 Е1			
Зм. / Змін	На докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Розробник М.А.		
Проєкт.	Проєктує В.М.		
Т. асист.	Технічний В.М.		
Проєкт.	Проєктує		
М. асист.	Монтажник В.В.		
Монтаж.	Монтажник О.В.		

Автоматизована система управління технологічним процесом.		Архив	Архив 1
Схема електрична структура		ВНТУ, АМІП-23мс	



ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Інтегрована система автоматизації промислового виробництва сірчаної кислоти

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота (у формі проєкту)
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій ФІТА ВНТУ
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 7,40 %

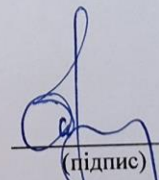
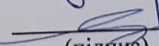
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

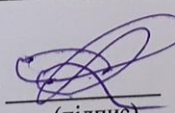
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Олег БІСІКАЛО, зав. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

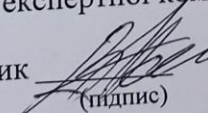
Любов ЯНЧУК, секретар кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

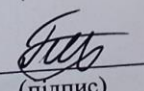

(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Костянтин ОВЧИННИКОВ
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис) Володимир ПАПІНОВ, проф. кафедри АІТ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис) Микола ГРОМОВИЧ
(прізвище, ініціали)