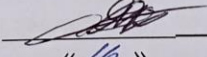
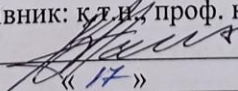


**Бакалаврська кваліфікаційна робота
(у формі проєкту) на тему:**

**«Інтегрована система автоматизації промислового
виробництва соляної кислоти»**

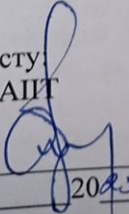
Виконав: студент IV курсу, групи АКТР-23мс,
спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

 Владислав ЯКУБЕНКО
« 16 » 06 2025 р.

Керівник: к.т.н., проф. кафедри АІТ
 Володимир ПАПІНОВ
« 17 » 06 2025 р.

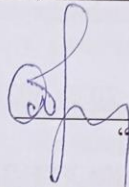
Рецензент: проф. каф. КСУ, к.т.н.
 Микола БИКОВ
« 14 » 06 2025 р.

Допущено до захисту:
завідувач кафедри АІТ
Олег БІСІКАЛО


« 18 » 06 2025 р.

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 БІСКАЛО
" " 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Якубенко Владиславу Миколайовичу

1. Тема роботи «Інтегрована система автоматизації промислового виробництва соляної 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 .

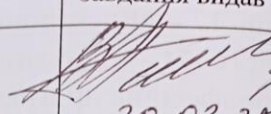
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Виробництво соляної кислоти ґрунтується на типовому технологічному процесі, вихідними продуктами якого є хлор і водень, що надходять у піч синтезу. Після печі синтезу газоподібний хлорид водню надходить у нижню частину колони абсорбції, а у верхню її частину як зрошення насосом подають воду. Отримана соляна кислота з низу колони абсорбції, охолоджена водою в холодильнику, надходить далі в збірник. Газ з верха абсорбера направляють у хвостову колону, де вони зрошуються водою для зв'язування хлориду водню, що залишився. Температура хлоргазу плюс 250÷300 град С, температура води після залишився. Температура хлоргазу плюс 250÷300 град С, температура соляної кислоти на вході холодильника плюс 20÷25 град. С, температура технічної води з виробництва плюс 100÷110 град. С, температура в печі синтезу плюс 440÷450 град. С, температура в хвостовій колоні плюс 70÷80 град. С. 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

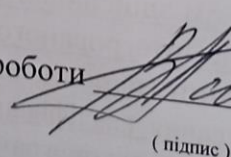
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи (у формі проєкту)	Термін виконання		Прим.
		початок	закінчення	
1	Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту	03.10.2024	09.10.2024	Век
2	Розробка концепції функціональної структури інтегрованої системи автоматизації	12.03.2025	29.03.2025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

Студент


(підпис)

Владислав ЯКУБЕНКО
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир ПАПІН
(прізвище та ініціали)

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота у формі проекту складається з 73 сторінок формату А4, на яких є 24 рисунків, 4 таблиць, список використаних джерел містить 26 найменувань.

Метою роботи є пошук концептуального рішення інтегрованої системи автоматизації (ІСА) промислового виробництва соляної 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 промислового виробництва соляної кислоти та розроблено технічне завдання на проектування 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, соляна кислота

Abstract

Bachelor's qualification work in the form of a project consists of 73 pages of A4 format, which contain 24 figures, 4 tables, the list of used sources contains 26 items.

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

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

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

Зміст

Вступ.....	3
1 Техніко – економічне обґрунтування кваліфікаційного проекту.....	5
1.1 Аналіз технологічного процесу, що підлягає автоматизації	5
1.2 Аналіз існуючих АСУ технологічним процесом.....	7
1.3 Вимоги діючих стандартів до проектування ІСА виробництва	12
1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА.....	16
2 Проектування технічної частини системи.....	29
2.1 Деталізація функціональної структури системи	29
2.2 Електрична структурна схема системи	30
2.3 Функціональна схема автоматизації системи	36
3 Проектування програмної частини системи.....	38
3.1 Вибір інструментальної системи проектування	38
3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора	40
3.3 Архітектура програмного забезпечення ПК оператора	43
3.4 Проектування окремих програмних модулів	44
3.5 Проектування графічного ЛМІ оператора	47
Висновки	54
Література	55
Додаток А (обов’язковий) Технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (у формі проекту).....	58
Додаток Б (обов’язковий) Графічна частина.....	64
Концепція функціональної структури інтегрованої системи автоматизації. Плакат демонстраційний	65
Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема електрична структурна	66
Автоматизована система управління технологічним процесом. Схема автоматизації функціональна	67
Додаток В (довідниковий) Лістинг процедури “Reg”	68
Додаток Г (довідковий) – Основний екран “Sol_Kisl” ЛМІ оператора.....	69
Додаток Д (довідковий) – Екранна форма “Alarms” ЛМІ оператора	70
Додаток Ж (довідковий) – Екранна форма “!RTF_File” ЛМІ оператора	71
Додаток К (довідковий) – Екранна форма “!Trends” ЛМІ оператора	72
Додаток Л (обов’язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	73

					08-31.БДР.016.00.000 ПЗ									
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Якубенко В.М.			Інтегрована система автоматизації промислового виробництва соляної 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

Актуальність. На початку ХХІ століття в промисловій автоматизації сформувалася стійка тенденція переходу від автономних розподілених систем управління (РСУ) до інтегрованих систем управління (ІСА) 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 ІСА 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 управління для промислового виробництва соляної кислоти, побудованої на основі комплексної системи автоматизації його основного технологічного процесу.

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

Об'єктом розробки є процес управління виробничою діяльністю хімічного підприємства з виготовлення соляної кислоти.

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 соляної 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

Соляна кислота – безбарвна рідина, що представляє собою розчин хлористого водню у воді. Вона енергійно розчиняє багато металів і їхніх окислів. У техніці застосовується як соляна кислота, так і хлористий водень [4-5].

Хлористий водень використовують для виробництва хлорорганічних продуктів шляхом гідрохлорування органічних сполук, наприклад етилену, ацетилену. Соляну кислоту застосовують для одержання хлоридів Zn, Ba, Mg, Ca, Fe, Al і т.д., для травлення при пайці і лудінні, в кольоровій металургії (витяг Pt, Au), при гідролізі деревини, у виробництві барвників, для гідрохлорування органічних сполук і т.д.

Процес одержання соляної кислоти має дві стадії [6, 7]:

- одержання хлористого водню;
- абсорбція хлористого водню водою.

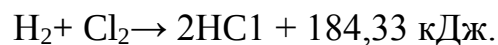
Існують два способи одержання хлористого водню: сульфатний і синтетичний. Крім того, у виробництві соляної кислоти використовують хлористий водень, що є відходом при хлоруванні насичених вуглеводнів.

Сульфатний спосіб отримання хлористого водню заснований на взаємодії твердої повареної солі із сірчаною кислотою



Процес синтезу проводять у муфельних печах при температурі 500-550°C, що обігриваються через стінку топковими газами. Концентрація хлористого водню в газі від 30 до 50% HCl. Спосіб знаходить застосування, але нових виробництв не організують.

При синтетичному способі синтез хлористого водню проводиться по реакції



Сухий хлор і водень при нормальних умовах і в темряві не реагують між собою, але на світлі чи при нагріванні в присутності пари води реакція взаємодії їх супроводжується вибухом.

Синтез проводять при надлишку 5-10% водню і високій температурі в печі, корпус якої виготовляють з вуглецевої чи легированої сталі, а кришку з азбесту (рисунок 1.1).

Нижня частина печі (див. рисунок 1.1) викладена вогнетривким матеріалом. У ній поміщений пальник 5, що складається з двох концентрично розташованих сталевих трубок. По зовнішній трубці в піч подається водень, а

по внутрішній – хлор. Ці гази на виході з пальника змішуються і спокійно реагують, утворюючи полум'я горіння з температурою 2000-2400°C.

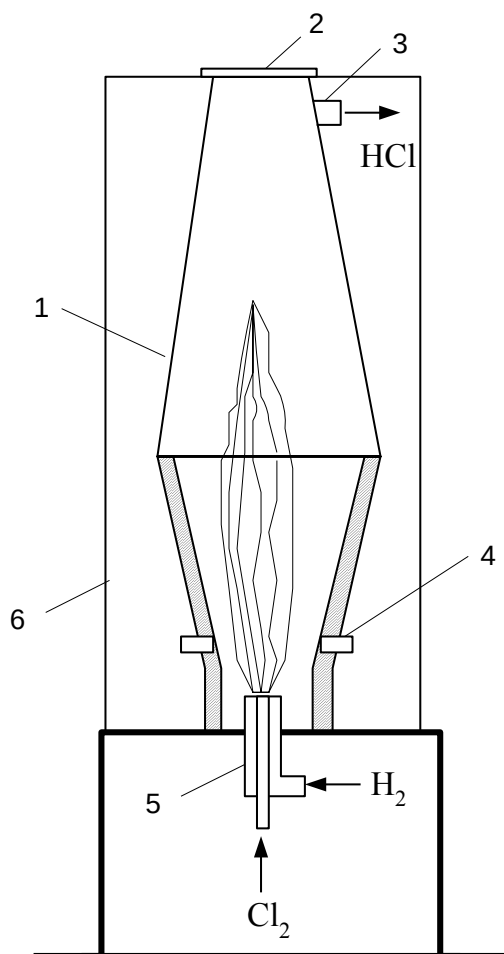


Рисунок 1.1 – Схема печі для спалювання водню в хлорі (1 – сталевий корпус; 2 – азбестова кришка; 3 – патрубок; 4 – оглядовий отвір; 5 – пальник; 6 – захисна сітка)

Абсорбція хлористого водню у воді йде з виділенням великої кількості тепла (утворення гідратів), якого досить для нагрівання кислоти до кипіння. Для одержання більш концентрованої соляної кислоти необхідний відвід тепла, тому що розчинність хлористого водню у воді з підвищенням температури зменшується.

Поглинання HCl проводять в абсорберах з відводом тепла. Через стінку (ізотермічна абсорбція) чи з відводом тепла в результаті випару частини води (адіабатична абсорбція).

Соляна кислота випускається наступних сортів: технічна (27,5% HCl); синтетична (31% HCl), інгібіторна (20% HCl) і реактивна (35-38% HCl, щільність при 20°C дорівнює 1,17- 1,19 г/см³).

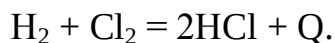
Кислоту перевозять і зберігають у гумованих сталевих цистернах і контейнерах, у фаолітових баках і контейнерах і в ємностях, виготовлених з кераміки і скла. При введенні в кислоту 1-3% інгібітору активність HCl до сталі знижується в 150-200 разів, тому інгібіторну кислоту перевозять у сталевих нефутерованих цистернах.

1.2 Аналіз існуючих АСУ технологічним процесом

На основі розглянутого технологічного процесу зазвичай створюється виробничий процес безперервного (технологічного) типу [8]. З точки зору його автоматизації цей процес має такі особливості:

- безперервний вхідний потік сировина та безперервний вихідний потік продукції;
- дуже велика партія вихідної продукції (лот) та значна тривалість її виробництва (тижні, місяці) без штатних (запланованих) зупинок;
- незмінна технологія виробництва;
- основними діяльностями з автоматизованого управління є регулювання, інколи, послідовні операції;
- задані технологічні параметри змінюються тільки із-за причин зміни сировини, зовнішнього середовища й нештатних ситуацій, сильно впливаючи на якість готової продукції із-за перехідних процесів;
- основні зміни технологічних параметрів відбуваються при пуску/зупинці технологічного процесу та при виникненні нештатних ситуацій;
- речовини (сировина) в процесі виробництва готової продукції втрачає свою ідентифікацію і практично не відстежується автоматизованою системою управління виробничим процесом.

На рисунку 1.2 наведена типова схема автоматизації даного технологічного процесу, що і дотепер широко використовується на вітчизняних хімічних заводах [9]. Вихідними продуктами для виробництва соляної кислоти є хлор і водень, що надходять у піч синтезу 1, де здійснюється синтез хлориду водню по рівнянню:



Після печі синтезу 1 газоподібний хлорид водню надходить у нижню частину колони абсорбції 2, а у верхню її частину як зрошення подають воду насосом 3. Отримана соляна кислота з низу колони абсорбції 2 охолоджується водою в холодильнику 4, а потім надходить в збірник 5. Гази з верха абсорбера направляють у хвостову колону 6, де вони зрошуються водою для зв'язування хлориду водню, що залишився.

Статичні характеристики печі синтезу відображають залежність зміни параметрів хлористоводневого газу від зміни параметрів вхідних потоків.

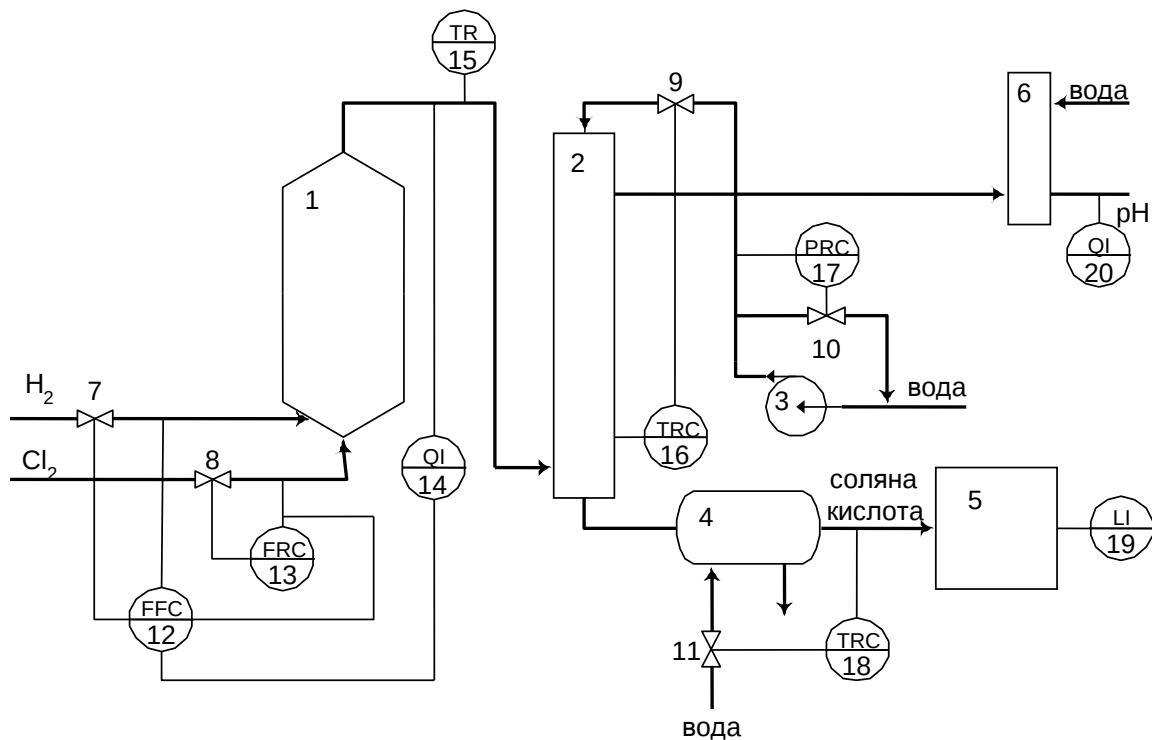


Рисунок 1.2 – Типова схема автоматизації процесу виробництва соляної кислоти

Найбільш ймовірними впливами, що обурюють, процес управління є коливання витрати і концентрації хлору у вихідному хлорному газі. Залежність концентрації HCl від співвідношення витрат водню і хлору носить екстремальний характер (рисунок 1.3).

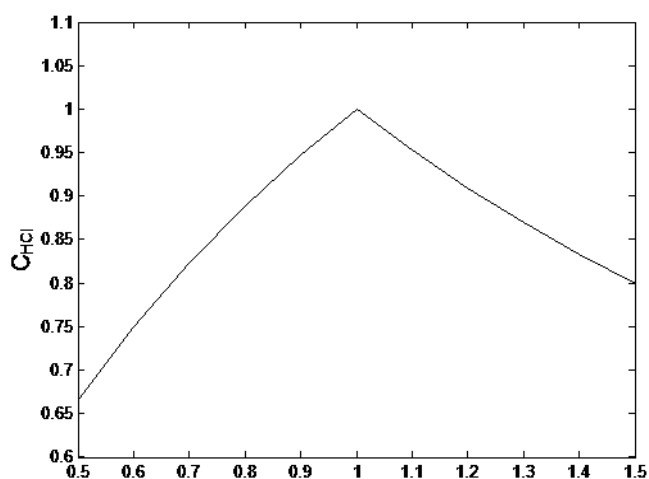


Рисунок 1.3 – Залежність концентрації HCl в хлористоводневому газі (C_{HCl}) від співвідношення витрат водню і хлору

Для спрощення розрахунків і створення моделі будемо вважати, що концентрація хлору в вихідному хлористому газі дорівнює одиниці.

Процес синтезу ведуть з надлишком водню ("водневий режим"), щоб уникнути проскакування хлору з хлоридом водню. При цьому концентрація водню коливається від 2 до 10%.

Таким чином, основна задача автоматичного регулювання роботи печей синтезу полягає в підтримці такого співвідношення витрат хлору і водню на вході в піч, яке необхідне для одержання хлориду водню заданої концентрації. В типовій схемі (див. рисунок 1.2) витрати хлору стабілізують за допомогою регулятора 13. Співвідношення витрат хлору і водню підтримують регулятором співвідношення 12, на який також надходить сигнал від аналізатора 14, що визначає вміст хлориду водню в газі на виході печі синтезу. Цей сигнал є коригувальним, що автоматично змінює задане співвідношення витрат хлору і водню.

Додатково типова схема автоматизації процесу виробництва соляної кислоти включає контури:

- стабілізації температури в колоні абсорбції на основі регулятора 16, що змінює подачу води на зрошення колони;
- стабілізації тиску води, що зрошує, на основі регулятора 17, який діє на клапан 10, установлений на лінії перепуску води з виходу насоса 3 на його вхід;
- стабілізації температури соляної кислоти на виході холодильника 4 на основі регулятора 18, який змінює подачу води в холодильник 4;
- контролю температури газу на виході печі синтезу 1 датчиком 15;
- контролю рівня соляної кислоти в збірнику 5 датчиком 19;
- контролю проскакування HCl на виході хвостової колони 6 за допомогою рН-метра 20.

Проблема автоматизації управління та контролю процесу виробництва соляної кислоти в різний час вирішувалась по-своєму, але в цілому методика рішення залишалася незмінною: людина спостерігала хід технологічного процесу і видавала завдання на вироблення керуючих діянь або «вручну», або (в останні десятиліття) за допомогою якихось контурів регулювання і управління.

На наш час типова система управління має ряд суттєвих недоліків:

- 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;
- похибки вимірювання параметрів технологічного процесу або їх складові (наприклад, ті, що обумовлені передаванням інформації на відстань) не відповідають сучасним вимогам по точності управління;
- слабка гнучкість системи управління (ускладнене переналагодження системи у разі зміни параметрів технологічного процесу

або алгоритмів управління ним);

- структура системи майже не підлягає зміні, бо її складові взаємодіють не за стандартними уніфікованими сигналами;

- неефективність засобів відображення результатів управління, вимірювання та контролю (через щитові прилади), що зменшує інформативне забезпечення операторів, особливо, якщо операторські щити розміщені в різних місцях виробничого приміщення;

- конструктивне виконання системи управління у вигляді щитів та пультів не відповідає сучасним ергономічним вимогам щодо організації роботи операторів;

- повна відсутність засобів автоматизації документування результатів роботи системи, неможливість автоматичного аналізу цієї інформації (в тому числі і техніко-економічного) та формування різноманітних звітів для верхнього рівня управління виробництвом;

- складність або неможливість інтегрування існуючої системи в загальну автоматизовану систему управління підприємством (АСУП);

- існуюча система управління технологічним процесом виконує стандартні функції, що не дозволяє зменшити ймовірність виходу технічних засобів з ладу, завдяки більш детальному аналізу інформації з датчиків, виключення аварійних режимів їх роботи та прогнозування відмов, підвищити продуктивність та якість роботи існуючого обладнання за рахунок застосування більш складних алгоритмів обробки інформації та управління.

Виходячи з наведених недоліків типової системи управління процесом виробництва соляної кислоти в практиці його автоматизації була поставлена задача проектування більш ефективних систем управління на базі сучасних програмно-апаратних засобів промислової автоматизації та комп'ютерних технологій. На початку нового сторіччя на хімічних заводах стали з'являтися такі автоматизовані системи управління [10-13].

В [10] описана одна з таких сучасних систем. В ній використовуються такі засоби автоматизації:

- датчики температури (установлені на трубопроводі хлориду водню з печі синтезу, на трубопроводі соляної кислоти до й після холодильника, на трубопроводі технічної води з виробництва й у колоні абсорбції);

- датчики тиску (для контролю працездатності насосів на соляній кислоті й воді технічній, у трубопроводі газової суміші після печі синтезу й загальної води технічної);

- датчики витрати (установлені на трубопроводах подачі хлору й водню, а також для обліку технічної води на вхідному трубопроводі);

- двоканальний модуль з аналоговим виходом 6DS 1412- 8DD/-8DE/-8RR, що конфігурується;

- модуль введення дискретних сигналів 6DS 1723-8AA;

- модуль обробки аналогових сигналів 6DS 1722-8AA;

- модуль введення аналогових сигналів 6DS 1731-8RR;

– пускова й комутаційна апаратура.

Система побудована за дворівневою схемою. На верхньому рівні розміщені операторські станції та сервери для збереження технологічної інформації. Система виконує усі функції сучасної АСУТП – управління, регулювання, вимірювання і контроль, сигналізацію і реєстрацію, відображення та довготривале збереження технологічних даних, інформаційний зв'язок з АСУ верхнього рівня управління підприємством.

Але ця система має і суттєві недоліки, головним з яких є дорожнеча системи. Це пояснюється тим, що:

- в процесі розробки програмного забезпечення системи управління (для операторських станцій та мікропроцесорних модулів введення/виведення сигналів) використовувались універсальні мови програмування, що призвело до великих витрат часу та коштів на оплату праці висококваліфікованих програмістів;

- система управління пристосована тільки для конкретного підприємства, а її супроводження здійснюється не персоналом цього підприємства, а організацією-розробником, що різко здорожує супроводження системи в процесі її експлуатації;

- організація-розробник для реалізації процедур управління та регулювання в системі використала мікропроцесорні інтелектуальні модулі введення/виведення сигналів власного виробництва, що, по-перше, із-за невеликого об'єму їх випуску позначилося на їх високій вартості, а, по-друге, призвело до збільшення вартості супроводження системи для підприємства, де встановлена система (ремонт та заміна обладнання на нове і тільки такого ж типу виконується з залученням співробітників і ресурсів організації-розробника).

Крім того, система не є відкритою, тобто такою, що легко нарощується за рахунок інтегрування до неї додаткових засобів автоматизації сторонніх виробників. Тому будь-яка модернізація системи на підприємстві також неможлива без залучення організації-розробника, що знову веде до збільшення витрат підприємства у порівнянні з тим, коли воно могло б робити модернізацію власними силами.

Виходячи з усіх перелічених недоліків існуючих аналогічних АСУТП, на даному етапі виконання техніко-економічного обґрунтування кваліфікаційного проєкту можна було б вже сформулювати напрямки подальшого проєктування більш досконалої АСУ даним технологічним процесом, проте, враховуючи тему кваліфікаційного проєкту, що має на меті проєктування не АСУТП, а інтегрованої системи управління хімічним виробництвом, яка повинна включати до свого складу цю АСУТП, то треба ще детально проаналізувати основні вимоги діючих стандартів до побудови таких ІСА. Саме цей аналіз дозволить в повному обсязі сформулювати і напрями проєктування нової ІСА виробництвом соляної кислоти, і напрями проєктування нової АСУТП як її обов'язкової складової частини.

1.3 Вимоги діючих стандартів до проєктування 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 [14-16]. Ці стандарти надають конкретні рекомендації як щодо організації самого комп'ютерно-інтегрованого виробництва (неперервного, дискретного, періодичного), так і щодо побудови відповідних інтегрованих систем управління (ІСА) цим виробництвом.

Так, в [14] визначена загальна ієрархічна структура ІСА промисловим підприємством, 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 [17]. 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.

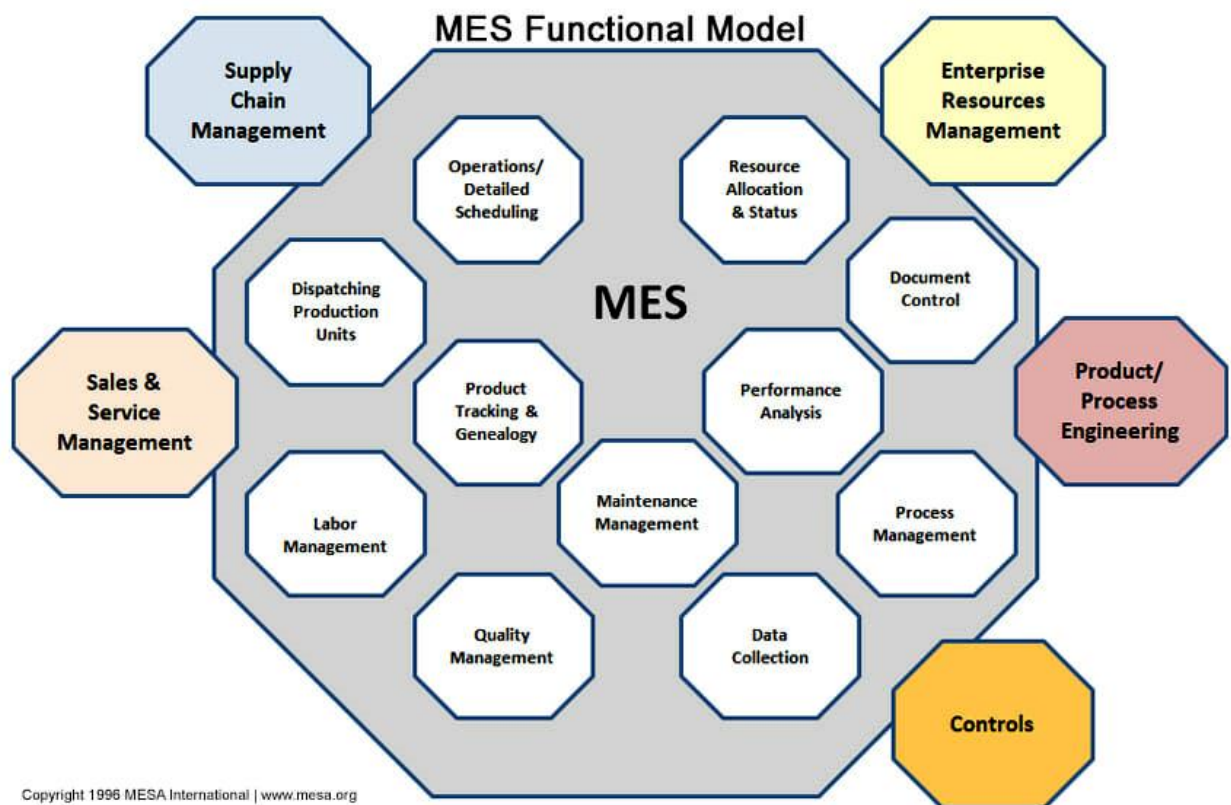


Рисунок 1.4 – Стандартна функціональна структура ICA на рівні АСУВ/MES

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.

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 [18]. 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 ІСА – рівнем «АСУВ/MES системи» і рівнем «АСУП/ERP системи».

Таким чином, стандартний функціонал ІСА 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 проектування ІСА за темою кваліфікаційного проекту та розробити її концептуальне рішення (концепцію), яка означить загальне бачення проекту системи.

1.4 Обґрунтування концепції побудови нової ІСА

Враховуючи рекомендації діючих стандартів в області комп'ютерно-інтегрованого виробництва нову ІСА промисловим виробництвом соляної 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 [18, 19]. 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 [19] 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 [19]. 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 архітектуру нової ІСА, яка показана на рисунку 1.5.

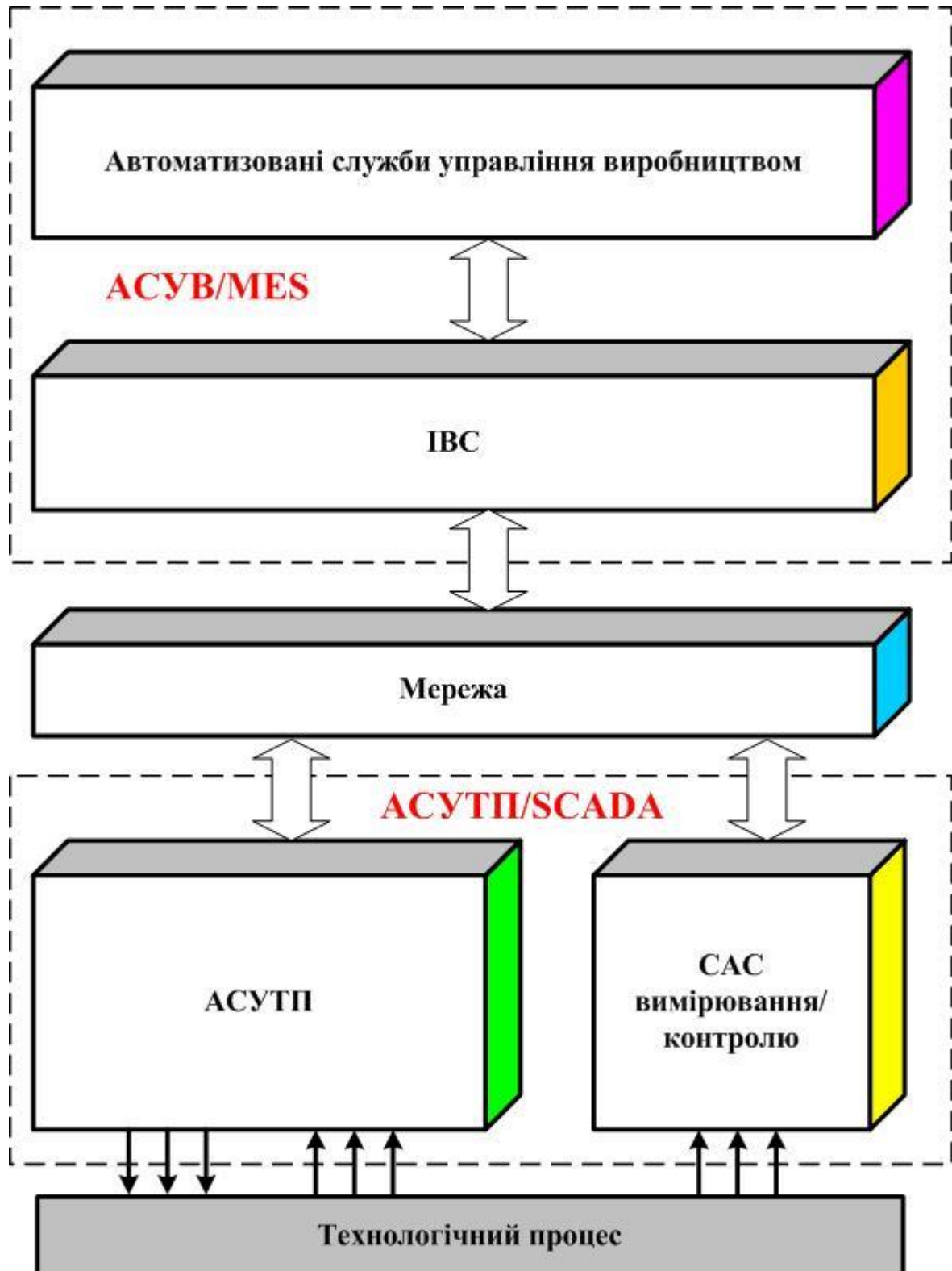


Рисунок 1.5 – Архітектура нової ІСА

Як видно з рисунку, нова ІСА промисловим виробництвом хлорної 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 соляної кислоти та спеціалізованою автоматизованою системою (САС) вимірювання/контролю додаткових технологічних параметрів. Верхній 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 проекту 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 виробництва соляної 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. В процесі виробництва соляної кислоти є небезпека витоку парів хлору та інших небезпечних речовин, тому треба передбачити розміщення автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора в окремому ізольованому приміщенні. При цьому у виробничому приміщенні безпосередньо на технологічному обладнанні мають бути змонтовані усі технологічні датчики та виконавчі механізми. Тому виробнича ділянка буде віддалена від ізольованого приміщення оператора приблизно на 250 метрів.

Основним параметром регулювання в новій АСУТП також буде концентрація одержуваного газоподібного хлориду водню, яку необхідно підтримувати постійною, а регулюючим впливом при цьому будуть витрати хлору і водню. Фактором збурення процесу регулювання буде зміна тиску в трубопроводах водню і хлору.

Крім того, технологічними параметрами, що підлягають вимірюванню та контролю в новій АСУТП будуть:

- витрата водню;
- витрата хлору;

- температура в колоні абсорбції;
- тиск води, що зрошує;
- температура соляної кислоти на виході холодильника;
- температура газу хлориду водню;
- концентрація водню в газі хлориду водню;
- рівень соляної кислоти в збірнику;
- значення рН газу на виході хвостової колоні.

Крім основного контуру регулювання (концентрації одержуваного газоподібного хлориду водню) в новій системі треба реалізувати автоматизоване регулювання таких технологічних параметрів:

- концентрації водню в газі хлорид водню;
- температури в колоні абсорбції;
- тиску води, що зрошує;
- температури соляної кислоти на виході холодильника.

У разі виникнення аварійних чи нештатних ситуацій у автоматизованому технологічному процесі оператор може здійснювати такі дії:

- при виході концентрації водню в вихідному хлор-газі за граничні значення самостійно через свій АРМ відрегулювати подачу водню або хлору;
- при збільшенні температури в абсорбері вище максимально допустимої самостійно через свій АРМ здійснити регулювання подачі води;
- при виході температури соляної кислоти за граничні значення самостійно через свій АРМ здійснити регулювання подачі води до холодильника.

Структура ЛМІ оператора повинна складатися з одного основного графічного екрану та потрібної кількості додаткових екранів. На основному екрані повинні відображатися основні регульовані, вимірювані та контрольовані параметри ТП виробництва соляної кислоти. Віртуальні елементи управління для здійснення оператором змін параметрів регуляторів повинні розміщуватися на спеціальних додаткових екранах ЛМІ.

В новій АСУТП потрібно буде реєструвати з заданою дискретністю такі параметри ТП: витрати водню; витрати хлору; температура в колоні абсорбції; тиск води, що зрошує; температура соляної кислоти на виході холодильника; концентрація водню в газі хлорид водню; температура газу хлорид водню; рівень соляної кислоти в збірнику; значення рН газу на виході хвостової колоні.

Також в новій АСУТП доцільно реалізувати сигналізацію значень таких параметрів ТП: концентрації водню в газі хлорид водню; температури води в колоні абсорбції та температури соляної кислоти на виході холодильника.

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 виробництва соляної кислоти, які потрібні для ефективного виконання автоматизованих функцій системами рівня «АСУВ/MES». Тому вимоги до даної складової частини означимо лише тоді, коли будуть сформовані напрями проєктування та вимоги до відповідних систем рівня «АСУВ/MES», що за нашим проєктом будуть входити до складу нової ІСА промисловим виробництвом соляної кислоти.

Це виробництво відноситься до неперервного або технологічного типу [8]. Тому функції автоматизованих служб управління ним мають певну специфіку реалізації у порівнянні з обов'язковими управлінськими функціями, що описані, наприклад, в стандарті «MESA-11» [17]. 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.

Розглянемо типову економічну службу управління неперервним (технологічним) виробництвом [19]. В цій автоматизованій службі повинні збиратися й аналізуватися усі економічні аспекти роботи виробництва, а саме:

- узгодження матеріального балансу між взаємозалежними по матеріальних потоках цехами підприємства;
- результати матеріального балансу по окремих підрозділах і виробництву в цілому за останні зміну, добу, підсумком, що наростає, з початку місяця;
- виділення наднормативних матеріальних втрат і місць їхнього виникнення;
- питомі витрати різних енергоресурсів на продукцію, що випускається окремими агрегатами, цехами й виробництвом у цілому за останні зміну, добу, підсумком, що наростає, з початку місяця;
- виділення наднормативних енергетичних втрат.

Виберемо для подальшого проєктування нової ІСА таку функцію даної автоматизованої служби як зведення матеріального балансу промислового виробництва соляної кислоти, яке здійснюється на основі описаного вище автоматизованого технологічного процесу.

Автоматизоване виконання цієї функції необхідне за таких причин:

- всі облікові значення витрат матеріальних потоків (сумарні витрати матеріальних потоків за заданий інтервал часу) на даному виробництві визначаються на рівні «АСУТП/SCADA» з більшою або меншою похибкою; через це, навіть при вимірюванні сумарних витрат за задані інтервали часу у всіх наявних транспортних шляхах (трубопроводах) виробництва, включаючи і шляхи виникнення втрат, сума облікових значень всіх вхідних

сировинних потоків завжди буде відрізнятися від суми облікових значень всіх вихідних продуктових потоків;

- у процесі роботи систем рівня «АСУТП/SCADA» окремі вимірювачі облікових значень витрат можуть ламатися або нарощувати істотну систематичну похибку, в результаті чого у різних місцях виробництва можуть з'являтися не вимірювані наднормативні матеріальні втрати; все це ще сильніше збільшує матеріальний розбаланс між входом і виходом виробництва;

- у разі, якщо деякі облікові значення витрат на виробництві визначаються людиною, то точність таких суб'єктивних оцінок найчастіше є недостатньою, а самі оцінки можуть бути значно перекрученими.

У сукупності усі ці причини і вказують на те, що неможливо мати на виробництві прозору й точну картину всього руху сировинних компонентів та готових продуктів за задані інтервали часу без реалізації в ІСА спеціальної автоматизованої функції зведення матеріального балансу.

Мінімальний інтервал часу, при якому може проводитися узгодження балансу, визначається динамічними властивостями технологічного процесу виробництва. Оскільки дане виробництво неперервного (технологічного) типу складається з низки паралельно й послідовно розташованих технологічних агрегатів, взаємозв'язаних матеріальними потоками по транспортних лініях прямо й/або через сховища (склади, резервуари, газгольдери), те складання матеріального балансу для нього може вироблятися за інтервал часу, свідомо переважаючий час перехідного режиму в кожному технологічному агрегаті виробництва (тобто за інтервал часу, що дозволяє зневажити динамікою всіх перехідних процесів на виробництві). Зазвичай таким мінімальним інтервалом часу для всіх переділів неперервного (технологічного) типу виробництва є доба.

За назвою «Матеріальний баланс» розуміють як масовий, так і об'ємний баланс по всіх потоках виробництва. При цьому розглядається як загальний баланс всіх матеріальних перетікань незалежно від їхнього складу, так і баланс по окремим компонентам. Найбільш важливим і повсюдно поширеним є загальний баланс всіх матеріальних перетікань незалежно від їхнього складу.

При складанні матеріального балансу треба приймати певні умови й допущення:

- 1). Матеріальний баланс складається зазвичай по масі, бо баланс по об'єму має обмежене застосування, оскільки для ряду хімічних технологічних процесів об'єм матеріалу на вході не дорівнює об'єму матеріалу на виході. У той же час, більша частина вимірів витрат матеріальних потоків і обліку переміщеного матеріалу провадиться в об'ємних одиницях (зокрема, вимірюється об'єм матеріалу в сховищах: складах, резервуарах тощо). Для таких вимірів передбачаються паралельні виміри температури й щільності матеріалу поточковими приладами або лабораторними аналізаторами, щоб

переводити обмірювані об'ємні значення в шукану масу.

2). Маса будь-яких матеріалів (рідких або газових), що перебувають усередині хімічних агрегатів і транспортних ліній (трубопроводів), вважається незмінною в часі, оскільки конструктивний об'єм цих агрегатів і транспортних ліній є незмінним, а маса матеріалу звичайно заповнює цей об'єм цілком або в його визначеній, незмінній частині.

3). Загальними вихідними даними для зведення балансу за розглянутий інтервал часу є сумарні надходження всіх сировинних матеріальних потоків на входах виробництва; зміни мас матеріалів у всіх сховищах (складах та резервуарах) виробництва; сумарні відвантаження всіх вихідних продуктових потоків.

При складанні матеріального балансу виробництва треба отримати такі його результати:

- узгоджені облікові дані по витратах всіх сировинних компонентів та готової продукції за задані інтервали часу при переміщеннях матеріалу в окремих ділянках виробництва, у технологічних агрегатах, у цехах, між сусідніми ділянками й цехами, на виробництві в цілому;

- матеріальні виробничі наднормативні втрати за розглянутий при складанні балансу інтервал часу й місця їхнього виникнення;

- найменування й розташування вимірювальних приладів, які за похибкою виміру виходять за їхній паспортний клас точності й вимагають відповідного обслуговування, налаштування, ремонту або заміни.

Загальний матеріальний баланс по всьому виробництву за заданий інтервал часу буде вважатися зведеним, коли алгебраїчне рівняння обліку всіх зовнішніх надходжень сировинних компонентів, всієї відвантаженої готової продукції, а також всіх змін наявних запасів сировини і готової продукції у всіх сховищах виробництва, стає абсолютно точною рівністю за заданий час. Така рівність можлива за умови ідеально точного визначення всіх зазначених матеріальних потоків та запасів на виробництві.

Проте на практиці наявні похибки визначення всіх вказаних потоків та змін відповідних запасів, а також невірогідність деяких з них або відсутність даних по деяким з них, може істотно спотворити результат подібного способу балансування (зазначене алгебраїчне рівняння не дає узгодження між вхідними, вихідними матеріальними потоками та змінами запасів). Це приводить до необхідності виконувати узгодження балансу із обов'язковим урахуванням властивостей реальних вихідних, вхідних потоків та запасів, що істотно змінює весь метод зведення балансу.

За цим методом у рівнянні матеріального балансу використовують не безпосередньо виміряні значення облікових витрат матеріальних потоків чи змін запасів $x_{вим}^j$ (де $j=1...M$; M - число безпосередньо вимірюваних потоків/змін запасів), а скоректовані значення як виміряних, так і не виміряних, облікових витрат матеріальних потоків та змін запасів $x_{кор}^i$ (де $i=1...N$; при $N > M$), які визначаються для заданого інтервалу часу Δt по

виміряних облікових значеннях витрат матеріальних потоків та змін запасів $x_{вим}^j$. Алгоритм визначення скоректованих облікових значень $x_{кор}^i$ при всіх i у межах від 1 до N полягає в рішенні наступної оптимізаційної задачі – знаходженні таких облікових значень $x_{кор}^i$, які мінімізують квадрат суми відхилень кожного обмірюваного облікового значення потоку від його скоректованого значення, з ваговим урахуванням наявної похибки кожного виміру (вага кожного обмірюваного облікового значення потоку чи зміни запасу тим менше, чим більше його середньоквадратична похибка σ_j):

$$\sum_{j=1}^M \left\{ \frac{(x_{изм}^j - x_{кор}^j)}{\sigma_j} \right\}^2 \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

і при цьому отримані значення $x_{кор}^i$ і обчислені по них не вимірювані безпосередньо потоки в транспортних лініях $N-M$, що залишилися, задовольняють рівнянню узгодження балансу, тобто алгебраїчна сума обліку всіх вхідних, вихідних потоків і змін запасів за розглянутий інтервал часу або дорівнює нулю, або, (що більш імовірно) досить близько до нуля:

$$\sum_{i=1}^N x_{кор}^i \approx 0. \quad (1.2)$$

При рішенні такої оптимізаційної задачі повинні враховуватися такі природні обмеження:

- скоректоване облікове значення кожного матеріального потоку чи зміни запасу $x_{кор}^i$ при мінімізації виразу (1.1) не може відрізнитися від його виміру $x_{вим}^j$ більш ніж на $3\sigma_j$ (тобто на діапазон, заданий класом точності приладу); якщо скоректоване значення не уклалося в клас точності приладу, то це не обов'язково пов'язане з недостатньою точністю даного приладу, але свідчить про необхідність шукати причину невиконання даного обмеження;
- скоректоване облікове значення будь-якого матеріального потоку чи зміни запасу $x_{кор}^i$ не може бути від'ємним;
- скоректовані облікові значення матеріальних потоків у технологічних агрегатах повинні не виходити за межі наявних технологічних обмежень (зокрема, термодинамічних обмежень на можливі співвідношення витрат потоків);
- скоректоване облікове значення запасу складованого матеріалу не може перевищувати ємність сховища;
- скоректована витрата матеріалу по транспортній лінії (трубопроводу) не може перевищувати її максимально можливу пропускну здатність;
- наднормативні втрати на окремих ділянках виробництва,

одержувані в результаті рішення даної оптимізаційної задачі, не можуть перевищувати можливих по існуючих технологічних режимах втрат.

При зведенні узгодженого матеріального балансу в його рівняння повинні бути обов'язково введені:

- всі задані нормативні матеріальні втрати окремих агрегатів технологічного процесу, щоб при узгодженні виявляти шукані наднормативні втрати й визначати місця їхнього виникнення;
- доданки обліку матеріального споживання на власні потреби підприємства;
- відомі до моменту зведення балансу показники по зафіксованих втратах; зокрема, по вже визначених проривах труб і витокам, по неоформленому внутрішньому споживанню підприємством продукції або сировини.

Слід зазначити, що скоректовані облікові значення витрат матеріальних потоків та змін запасів, що отримані за описаною методикою зведення матеріального балансу, не є «істинними», а є «узгодженими», що не те саме, оскільки в процесі коректування значення одних приладів можуть коректуватися зміни значень низки інших приладів. Тому всі паспортні дані класу точності приладу ніяк не змінюються від отриманої різниці між обмірюваним і його скоректованим значенням і, отже, паспортні похибки використаних приладів визначають отриману точність зведення балансу.

Враховуючи усе сказане, можна тепер означити ті автоматизовані функції економічної служби, які повинні виконуватися в ІСА промисловим виробництвом соляної кислоти на рівні «АСУВ/MES» при зведенні узгодженого матеріального балансу:

- вирішення оптимізаційної задачі визначення скоректованих значень облікових витрат маси трубопровідних матеріальних потоків (вхідних сировинних і вихідного продуктового) та змін маси запасів (вхідних сировинних і вихідного продуктового) з метою зведення матеріального балансу;
- виявлення матеріальних виробничих наднормативних втрат за розглянутий інтервал часу й визначення місць їхнього виникнення;
- визначення найменування й місця розташування вимірювальних приладів, які за похибкою виміру виходять за їхній паспортний клас точності й вимагають відповідного обслуговування, налаштування, ремонту або заміни;
- надсилання повідомлень до відповідних автоматизованих служб рівня «АСУВ/MES» про виявлені наднормативні втрати (до технологічної і виробничої служб) та про виявлені несправні вимірювальні прилади (до служби КВПіА).

Проаналізувавши зміст цих функцій, можна визначити і перелік тих автоматизованих функцій, які повинні виконуватися в новій ІСА на рівні «ІВС» для вироблення тих даних, які потрібні функціям рівня «АСУВ/MES»:

- розрахунок значень облікових масових витрат (за добу) сировини (хлор, водень) у вхідних трубопроводах ТП;
- розрахунок значення облікової масової витрати (за добу) готового продукту (соляна кислота) у вихідному трубопроводі ТП;
- розрахунок значень облікових масових змін (за добу) сировинних запасів (хлору, водню) у вхідних резервуарах ТП;
- розрахунок значення облікової масової зміни (за добу) продуктових запасів (соляна кислота) у вихідних резервуарах ТП;
- збирання даних з автоматизованих систем нижнього рівня (АСУТП, САС вимірювання/контролю) поточних даних по сировині чи продукту, необхідних для виконання усіх розрахунків їх облікових масових поточних витрат та змін запасів (температура, щільність, об'ємні витрати чи запаси).

Тепер можна визначити і автоматизовані функції для систем нижнього рівня ІСА, точніше, для системи «САС вимірювання/контролю», бо для системи «АСУТП» ці функції вже були визначені вище. Так, система «АСУТП» може передати до системи «ІВС» такі виміряні поточні значення параметрів ТП:

- об'ємну витрату водню у вхідному трубопроводі;
- об'ємну витрату хлору у вхідному трубопроводі;
- температуру соляної кислоти на виході холодильника;
- рівень соляної кислоти в збірнику.

Виходячи з цього, у системі «САС вимірювання/контролю» необхідно буде виконувати такі додаткові автоматизовані функції:

- вимірювання масового запасу водню у вхідному резервуарі ТП або вимірювання об'ємного запасу водню з додатковим вимірюванням його щільності та температури всередині цього резервуару;
- вимірювання масового запасу хлору у вхідному резервуарі ТП або вимірювання об'ємного запасу з додатковим вимірюванням його щільності та температури всередині цього резервуару;
- вимірювання масового запасу соляної кислоти у вихідному резервуарі ТП або вимірювання об'ємного запасу з додатковим вимірюванням його щільності та температури всередині цього резервуару;
- вимірювання щільності та температури потоку водню всередині вхідного трубопроводу;
- вимірювання щільності та температури потоку хлору всередині вхідного трубопроводу;
- вимірювання масової витрати потоку соляної кислоти у вихідному трубопроводі колони абсорбції або її об'ємної витрати з додатковим вимірюванням щільності та температури всередині вихідного трубопроводу.

Таким чином, для всіх складових частин архітектури нової ІСА, яка показана на рисунку 1.5, були визначені переліки їх основних автоматизованих функцій. Опираючись на ці результати, розробимо тепер концепцію функціональної структури нової ІСА промисловим виробництвом

соляної кислоти. Це концептуальне рішення наведене у додатку Б. Функціональна структура поділена на ті ж самі складові частини, що і архітектура нової ІСА. Всередині зображення кожної з цих складових частин перелічені їх основні автоматизовані функції, які вони повинні виконувати при роботі нової ІСА.

Для подальшого більш детального проєктування цієї системи вибираємо одну із складових частин функціональної структури, наприклад «АСУТП», і для неї розробимо детальне технічне завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу у формі проєкту. Це технічне завдання, оформлене за вимогами стандартів у вигляді окремого документу, наведено у додатку А.

Рисунок 2.1 – Схема функціональної структури АСУТП

Проектована система повинна вимірювати такі фізичні величини:

- "F01" – об'ємні витрати хлору у вхідному трубопроводі;
- "F02" – об'ємні витрати водню у вхідному трубопроводі;
- "Q01" – концентрацію водню в газі хлорид водню;
- "T01" – температуру газу хлорид водню;
- "T02" – температуру в колоні абсорбції;
- "T03" – температуру соляної кислоти у вихідному трубопроводі з холодильника;
- "P01" – тиск води, що зрошує, у трубопроводі;
- "L01" – рівень соляної кислоти в збірнику;
- "Q02" – значення рН газу на виході хвостової колони.

Процедура „Формування завдання” - дозволяє оператору задати чи змінити уставку для технологічного параметра, що контролюється, і ввімкнути відповідний регулятор.

Процедура „Регулятор” здійснює регулювання відповідного технологічного параметра шляхом подачі управляючих дій на виконавчий механізм, який в свою чергу здійснює керування положенням вентиля.

Процедура „ДП” означає дистанційну передачу керуючих і вимірних даних, відповідно, до виконавчого механізму і від об'єкта вимірювання до регулятора.

Регулюванню в проектованій системі підлягають такі технологічні параметри:

- "F01" – об'ємні витрати хлору через вхідний трубопровід;
- "F02" – об'ємні витрати водню через вхідний трубопровід;
- "T02" – температура в колоні абсорбції;
- "P01" – тиск води, що зрошує, у вхідному трубопроводі;
- "T03" – температура соляної кислоти на виході холодильника.

Реєстрації підлягають усі параметри, що вимірюються. Частина з них ("Q01" – концентрація водню в газі хлорид водню, "T02" – температура в колоні абсорбції, "T03" – температура соляної кислоти на виході холодильника) обробляється процедурою контролю, тобто виконується порівняння поточного значення параметру з встановленими границями норми. Якщо ці границі будуть порушені, то виконується процедура сигналізації про аварійну подію в системі управління.

2.2 Електрична структурна схема системи

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

Таблиця 2.1 – Фізичні величини, що підлягають вимірюванню чи контролю

Фізичні величини	Діапазон вимірювання	Особливі вимоги
Витрата хлору	0 ... 20 кг/год	монтаж на трубопроводі
Витрата водню	0 ... 20 кг/год	монтаж на трубопроводі
Концентрація водню	0 ... 100 %	—
Температура газу хлорид водню на виході печі	1200...1600 °C	—
Температура в колоні абсорбції	0°C ... 100 °C	—
Тиск води	0 ... 6 МПа	—
Температура соляної кислоти на виході холодильника	0...100 °C	—
Рівень соляної кислоти в збірнику	0 ... 8 м	—
pH на виході хвостової колони	1 ... 14	—

Для вимірювання таких фізичних величин, як температура в колоні абсорбції, рівень соляної кислоти в збірнику, тиск води на колону абсорбції датчики залишаються такими ж самими, як і в існуючій аналогічній системі управління, оскільки вони відповідають даним таблиці 2.1 та видають уніфікований вихідний сигнал (4...20 мА).

Для вимірювання інших фізичних величин вибираємо засоби вимірювання, що відповідають даним таблиці 2.1, а також мають уніфіковані вихідні сигнали, що узгоджені з сучасними пристроями введення [20-22]

Для вимірювання об'ємних витрат хлору та водню у вхідному трубопроводі печі синтезу вибираємо витратомір CMF010 фірми Micro Motion ELITE [20]. Витратомір має такі метрологічні характеристики:

- номінальний діапазон витрат від 0 до 82 м³/ год.;
- максимальні витрати 108 м³/год.;
- похибка $\pm 0,50\% \pm [(стабільність\ нуля / витрата) \times 100] \%$ діапазону;
- відтворення $\pm 0,25\% \pm [(стабільність\ нуля / витрата) \times 100] \%$ діапазону вимірювання;
- стабільність нуля 0,002 м³/год.;
- вихідний уніфікований сигнал: 4 – 20 мА;

Параметри живлення:

- напруга змінного струму 220В $\pm 10\%$;
- частота 50 ± 1 Гц чи 60 ± 1 Гц;
- споживана потужність не більше 9 В·А.

Для вимірювання концентрації водню у вихідному газі хлориду водню після печі синтезу вибираємо газоаналізатор “АТПТ-4” [21]. Газоаналізатор

призначений для вимірювання вмісту водню в висушених технологічних газах хлорних виробництв (електролітичний хлор-газ після першої і другої стадії скраплення хлору, синтетичний хлористий водень тощо).

Переваги газоаналізатору “АТПТ-4” такі:

- можливість виміру вмісту водню в складних багатокомпонентних сумішах на різних технологічних стадіях;
- діагностика несправностей найбільш відповідальних вузлів і автоматичне коректування нульових показань;
- представлення результатів виміру в цифровій формі;
- вихідний уніфікований сигнал постійного струму $0\div 5$ мА.

Параметри живлення:

- напруга змінного струму $220\text{ В} \pm 10\%$;
- частота 50 ± 1 Гц;
- споживана потужність не більше $50\text{ В}\cdot\text{А}$.

Для вимірювання температури газу хлорид водню вибираємо датчик температури типу 244ЕН фірми Rosemount [21]. Ці датчики встановлюються в з'єднуючій головці або в універсальній головці, монтованій на сенсорі, або в універсальній головці, встановленій окремо від сенсора, або закріпленій на рейці стандарту DIN за допомогою додаткового монтажного затискача.

Метрологічні характеристики 244ЕН такі:

- діапазон виміру температури від 0 до 1768°C ;
- похибка виміру $0,1\%$ (в залежності від середовища і діапазону виміру);
- вихідний сигнал постійного струму $4\text{--}20$ мА;
- живлення приладу напругою постійного струму $12\text{--}42,4$ В;
- споживана потужність не більш $10\text{ В}\cdot\text{А}$.

Для вимірювання рівня соляної кислоти в збірнику вибираємо рівнемір РУПТ-А [21]. Датчик рівня складається з первинного перетворювача і передавального перетворювача. Метрологічні характеристики:

- границя основної приведенної похибки, що допускається, у $\%$ від діапазону виміру рівня (діапазону зміни вихідного сигналу) не більше $\pm 0,25$;
- варіація вихідного сигналу не перевищує абсолютного значення границі основної приведенної похибки, що допускається;
- верхні границі виміру рівня (діапазони вимірів) складають $1,0$; $1,6$; $2,0$; $2,5$; $3,0$; $4,0$; $6,0$; $8,0$; $10,0$; $16,0$ метрів;
- нижній невимірний рівень складає не більше $26,0$ мм;
- робоча навколишня температура від мінус 50 до плюс 50°C ;
- робочий тиск, що допускається гранично, не більш $1,6$ МПа;
- щільність середовища від 500 до 1100 кг/м^3 (від $0,5$ до $1,1\text{ г/см}^3$);
- вихідний уніфікований сигнал струму $4\text{--}20$ мА;
- опір навантаження (включаючи опір лінії зв'язку) не більше $0,1\text{--}$

1,0 Ом.

Параметри живлення:

- напруга змінного струму 220В (+22; -33);
- частота 50 ± 1 Гц чи 60 ± 1 Гц;
- споживана потужність не більше 9 В·А.

Для вимірювання водневого показника рН на виході хвостової колони вибираємо аналізатор 54pH/ORP фірми Rosemount [21]. Мікропроцесорний аналізатор моделі 54pH, використовуваний разом з відповідним сенсором, служить для моніторингу і контролю значення рН чи величини окислювально-відновного потенціалу в різних промислових процесах.

Технічні характеристики при 25°C

- діапазон вимірювань від 0 до 14 рН;
- розширення шкали сигналу виходу - зсув нуля до 13 одиниць рН;
- шкала будь яка від 1 до 14 рН;
- точність $\pm 0.01\%$ рН;
- відтворення $\pm 0.01\%$ рН;
- вихідний уніфікований сигнал струму 4 – 20 мА.

Для вибору виконавчих механізмів системи управління необхідно визначити основні характеристики регулюючих органів (РО), які приводяться до дії цими виконавчими механізмами. В нашій системі в якості РО використовуються вентилі 7-11. Технічні характеристики цих РО наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики регулюючих органів системи

Регулюючий орган	Контур регулювання	Необхідний діапазон ХРО, %	Необхідний діапазон рухів вхідного важеля
Вентиль 7	витрати водню	0...100	0...90°
Вентиль 8	витрати хлору	0...100	0...90°
Вентиль 9	температури в колоні абсорбції	0...100	0...90°
Вентиль 10	тиску води	0...100	0...90°
Вентиль 11	температури соляної кислоти	0...100	0...90°

З каталогу електричних виконавчих пристроїв [21] вибираємо ті, що задовольняють таблиці 2.2.

По-перше, усі виконавчі механізми повинні бути однооборотними, тому вибираємо виконавчі механізми МЕО типу МЕО-16. Вихідний вал цього механізму може повертатися або на 0,25 повного обороту (0 ... 90°), або на 0,63 (0 ... 226,8°). Тому для всіх вентилів вибираємо виконавчі

механізми типу МЭО-16-0,25.

Керування цими механізмами здійснюється за допомогою реверсивних пускачів типу ПБР-2А або ПБР-2М.

Схема підключення цих пускачів до джерел вхідних сигналів приведена на рисунку 2.2.

Кожний з виконавчих механізмів типу МЭО оснащений датчиком положення вихідного робочого органу (важеля). Існують два типи датчиків: БСП-10 (з індуктивним перетворювачем) та БСПР-10 (з реостатним перетворювачем).

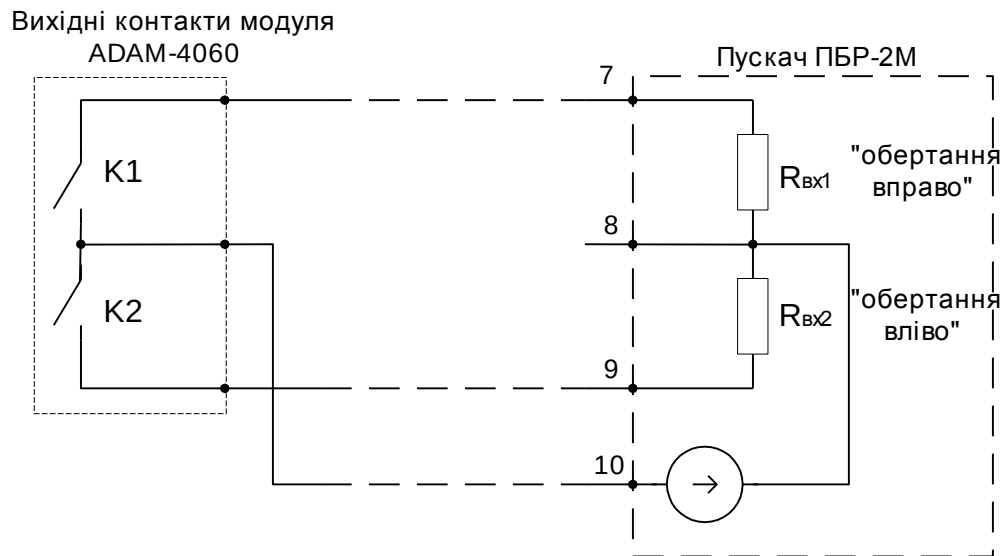


Рисунок 2.2 – Схема підключення пускачів виконавчих механізмів до джерел вхідних сигналів управління

Технічні характеристики БСП-10 такі:

- робочий кут повороту від 0 до 90° та від 0 до 240°;
- вихідний сигнал постійної напруги ≤ 625 мВ;
- нелінійність характеристики "вхід-вихід" $\leq 2.5\%$;
- живлення датчика – стабілізована змінна напруга 12В, 50Гц;

Технічні характеристики БСПР-10 такі:

- робочий кут повороту від 0 до 90° та від 0 до 240°;
- повний опір реостату 120 Ом;
- нелінійність характеристики "вхід-вихід" $\leq 1.2\%$;
- живлення датчика – постійна напруга ≤ 12 В.

Для нашого випадку вибираємо датчики типу БПСР-10.

З урахуванням просторових характеристик об'єкту управління у якості пристроїв зв'язку з об'єктом будемо використовувати модулі віддаленого введення/ виведення сигналів.

Згідно з технічним завданням відстань від виробничого приміщення

до приміщення оператора не перевищує 250 м. Тому кількість модулів віддаленого введення/виведення в системі буде визначатись тільки кількістю сигналів.

Для автоматизованої системи управління процесом нам необхідно використати пристрої аналогового введення і дискретного виведення, тому в якості модулів віддаленого введення/виведення будемо використовувати модулі серії ADAM-4000.

По каталогу фірми Advantech [22] для введення чотирнадцяти аналогових сигналів вибираємо два модулі ADAM-4017 (один модуль має 8 аналогових входів). Модуль має гальванічну розв'язку між підсистемою аналогового введення й вбудованим мікропроцесором з напругою ізоляції 3000 В постійного струму, що значно знижує імовірність ушкодження пристроїв і обчислювальної системи завадами і наведеннями підвищеної інтенсивності, характерними для промислових умов експлуатації.

Модуль ADAM-4017 має такі технічні характеристики:

- шість диференціальних каналів і два однополярні канали;
- діапазони входних напруг у вольтах: $\pm 1\text{В}$, $\pm 5\text{В}$ й $\pm 10\text{В}$;
- діапазон входних постійних струмів: $\pm 20\text{ мА}$;
- модуль передає дані в системний комп'ютер у фізичних величинах (мВ, В та мА);
- дискретність вибірки по входу: 10 вибірок/с;
- робоча смуга частот 4 Гц;
- точність: не нижче $\pm 0,05\%$.

Для виведення 12 дискретних сигналів вибираємо три модуля релейної комутації ADAM-4060 (один модуль має 4 вихідні канали комутації). Навантажувальна спроможність кожного каналу даного модуля:

- напруга U до 30 В;
- струм I від 0 до 2 А.

Для узгодження передавання інформації між модулями ADAM та портом COM1 комп'ютера необхідний перетворювач інтерфейсів RS485/RS232. Використаємо для цього ADAM-4520.

В якості основного комп'ютера проектованої системи вибираємо також продукцію фірми Advantech – промислову 1U – консоль оператора RMD-1150KM/F-8 [22], яка виконана у вигляді комп'ютера типу “ноутбук”.

На основі розробленої схеми функціональної структури та вибраних засобів автоматизації (датчиків, виконавчих механізмів та пристроїв зв'язку з об'єктом) була розроблена електрична структурна схема автоматизованої системи управління технологічним процесом (додаток В). Блоки 1-16 утворюють підсистему введення АСУТП виробництва соляної кислоти. З них датчиками відповідних технологічних параметрів є блоки 2, 4-7, 9, 11, 13, 14, датчиками положення вихідного важеля відповідного виконавчого

механізму є блоки 1, 3, 8, 10, 12, а пристроями віддаленого введення сигналів датчиків є блоки 15 і 16.

Блоки 17-31 утворюють підсистему виведення автоматизованої системи управління технологічним процесом. З них пристроями віддаленого виведення дискретних сигналів управління є блоки 17, 18, 27, електромагнітними пускачами, що керують електричними виконавчими механізмами, є блоки 19-26, 28-31. Усі пристрої віддаленого введення та виведення сигналів (15, 16, 17, 18, 27) через промислову цифрову мережу RS-485 і перетворювач інтерфейсів (блок 32) зв'язані з комп'ютером оператора 33.

2.3 Функціональна схема автоматизації системи

На основі технічного завдання на бакалаврську кваліфікаційну роботу (проєкт) (див. додаток А) та електричної структурної схеми автоматизованої системи управління технологічним процесом (див. додаток Б) була розроблена її функціональна схема автоматизації, яка також наведена в додатку Б.

На рисунку 2.3 показаний принцип організації дистанційної передачі даних між датчиками, виконавчими механізмами та промисловим комп'ютером оператора (PC) на основі модулів введення/виведення типу ADAM-4000 та послідовної лінії передачі з інтерфейсом RS-485.

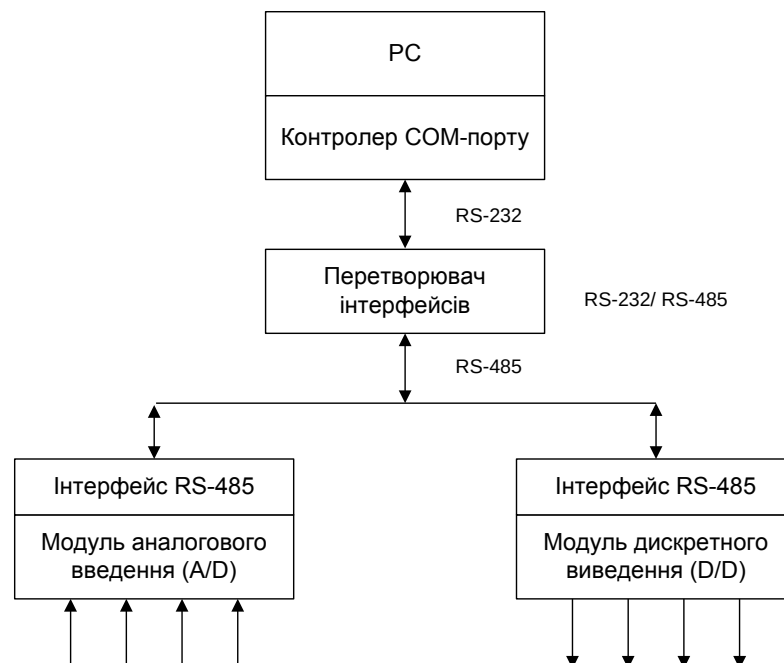


Рисунок 2.3 – Принцип організації дистанційної передачі даних

На функціональній схемі автоматизації показані спрощені зображення технологічного обладнання для виробництва соляної кислоти, а також усі апаратні та програмні засоби автоматизації, що реалізують 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.

Хлор і водень надходять у піч синтезу 1. Після печі синтезу 1 газоподібний хлорид водню надходить у нижню частину колони абсорбції 2, а у верхню її частину для зрошення подають воду насосом 3. Отримана соляна кислота з низу колони абсорбції 2 подається до холодильника 4, де охолоджується водою. Далі соляна кислота поступає у збірник 5. Гази з верха абсорбера направляють у хвостову колону 6, де вони зрошуються водою для зв'язування хлориду водню, що залишився.

Витрати водню і хлору вимірюють відповідно датчиками 7-3 і 8-4, що оснащені пристроями нормалізації 7-4 і 8-5 (формуються вихідні уніфіковані сигнали струму 4-20 мА). Вміст вільного водню в газі на виході із печі синтезу 1 вимірюють датчиком 12-1, вихідний сигнал якого направляється на регулятор співвідношення витрат водню і хлору, що реалізований програмно, а температуру цього газу вимірюють датчиком 13-1.

Температуру в колоні абсорбції контролюють датчиком 9-4 і стабілізують за допомогою вентиля 9, що змінює подачу води в колону абсорбції, а тиск води в цьому трубопроводі контролюють датчиком 10-4 і регулюють за допомогою вентиля 10. Після абсорбера нагріта соляна кислота подається в холодильник 4. Температуру кислоти після холодильника 4 вимірюють датчиком 11-4 і регулюють за допомогою вентиля 11, що змінює подачу холодної води до холодильника. Рівень соляної кислоти в збірнику вимірюють датчиком 16-1. Кількість HCl, який проскочив на вхід хвостової колони 6, вимірюють за допомогою вимірювача рН 15-1.

Сигнали з датчиків та сигнали управління виконавчими механізмами передаються через модулі введення/виведення 17-1, 18-1, 19-1, 20-1, 21-1. Пристрої 17-1 та 20-1 є 8-канальними модулями аналогового введення типу ADAM 4017, а пристрої 18-1, 19-1 та 21-1 є модулями релейної комутації ADAM 4060, які виводять дискретні сигнали управління виконавчими механізмами відповідних вентилів.

Для узгодження сигналів між модулями введення/виведення та COM-портом промислового комп'ютера використовується перетворювач інтерфейсів 22-1 типу ADAM-4520. Сигнали оброблюються SCADA системою, яка встановлена на промисловому комп'ютері оператора, в результаті чого формуються сигнали управління технологічним процесом та інформаційно підтримується графічний інтерфейс оператора.

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 [23-26].

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 недостяг функціональності 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 зачистити 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)	+	+	+	12 449,70
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» [22], «Trace Mode» виробництва «ADASTRA» [25] та «Citect 6» виробництва «Citect Pty. Ltd» [26].

Враховуючи те, що інструментальна система «Citect 6» є найдешевшою з цих трьох систем, то вибираємо саме цю систему для подальшого проектування ПЗ АСУТП промислового виробництва соляної кислоти.

3.2 Схема даних програмного забезпечення ПК оператора

Перед тим, як починати проектування в середовищі інструментальної системи «Citect 6» програмного забезпечення автоматизованої системи управління технологічним процесом промислового виробництва соляної кислоти, необхідно визначити усі основні процедури та їх послідовності при обробці даних у програмному забезпеченні проектованої системи.

На рисунку 3.1 наведена розроблена схема даних ПК оператора, де буде виконуватися прикладна програма управління технологічним процесом, Схема даних показує джерела даних, їх місця розміщення у пам'яті промислового комп'ютера системи, а також процедури та результати обробки цих даних. Згідно до цієї схеми початкові дані надходять до програми через послідовний порт COM1 з модулів введення сигналів, які взаємодіють з відповідними датчиками технологічних параметрів. Ці дані являють собою певні пакети, що вимагає їх попередньої обробки: визначення дійсних значень вимірюваних величин по їх вхідним апаратним кодам тощо.

Окремі дані передбачені для формування звіту (наприклад, концентрація водню в газі після печі синтезу, температура в колоні абсорбції, витрати водню та хлору). Виконується встановлена часова вибірка цих даних та їх зберігання у локальному архіві. При необхідності може сформувати запит на огляд цього архіву у вигляді звіту на моніторі, або на виведення цього звіту на друк.

Основне призначення системи – контроль основних параметрів та управління технологічним процесом. Тому для цих параметрів через клавіатуру встановлюються границі їх контролю (мінімальна та максимальна). Над отриманими даними виконується процедура перевірки на 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.

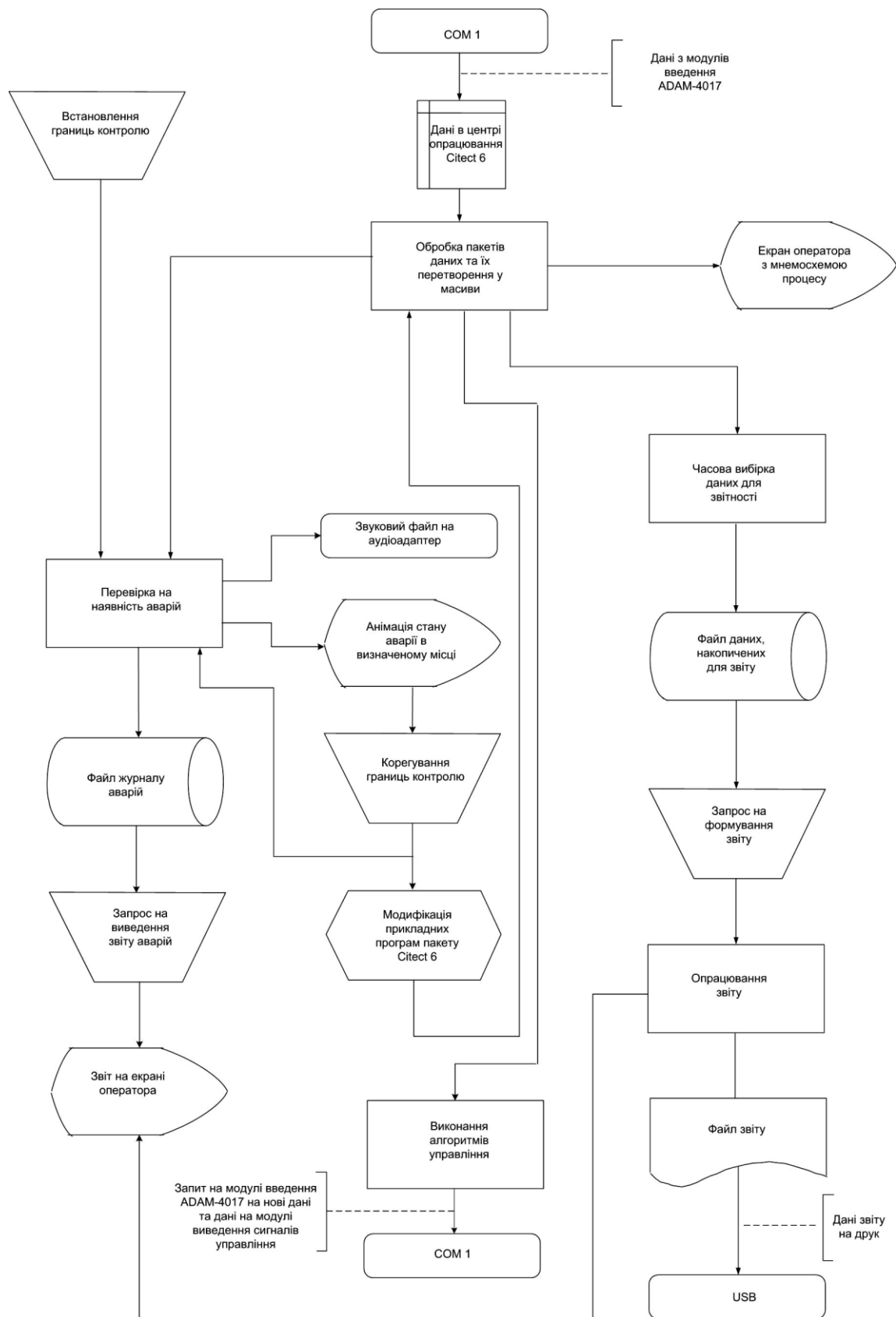


Рисунок 3.1 – Схема даних ПК оператора

Структура даних по кожному технологічному параметру X, яка забезпечує описані процедури його обробки, наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Структура даних для довільного технологічного параметру

Назва змінної	Тип	Джерело	Опис
X_AI_DAT_TZ	REAL	ADAM 4017	Поточне значення контрольованої величини
X_AI_DAT_VAL	REAL	ADAM 4017	Кут повороту вентилля
X_PI_EXT_T	INT	Disk	Час реакції механізму
X_PI_EXT_REG	REAL	Memory	Регулююче діяння
X_PI_INI_UST	REAL	Memory	Уставка
X_PI_INI_OPER	DIGITAL	Memory	Тип операції (0 - нормальна, 1 - реверсивна)
X_PI_INI_KP	REAL	Disk	Коефіцієнт пропорційності
X_PI_INI_KI	REAL	Disk	Інтегральна складова
X_PI_INI_TS	REAL	Disk	Період опитування
X_PI_INI_E	REAL	Disk	Похибка регулювання
X_DO_VAL_ON	DIGITAL	ADAM 4060	Сигнал відкриття вентилля
X_DO_VAL_OFF	DIGITAL	ADAM 4060	Сигнал закриття вентилля
X_PI_INI_UPR	DIGITAL	Memory	Режим керування
X_Regulator_ON	DIGITAL	Memory	Стан регулятора
X_PI_INI_S	REAL	Memory	Сума інтегральної складової

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 регулятора).

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 модулі виведення ADAM-4060. Виконується новий запит даних з модулів введення системи і процес їх обробки повторюється.

3.3 Архітектура програмного забезпечення ПК оператора

Розробку архітектури програмного забезпечення ПК оператора будемо проводити згідно з розробленою вище схемою функціональної структури АСУТП (див. рисунок 2.1). Відповідно до неї основною задачею програмного забезпечення є регулювання різних параметрів технологічного процесу.

Представимо відповідну архітектуру цього програмного забезпечення у вигляді детальної схеми взаємодії програмних модулів, що наведена на рисунку 3.2.

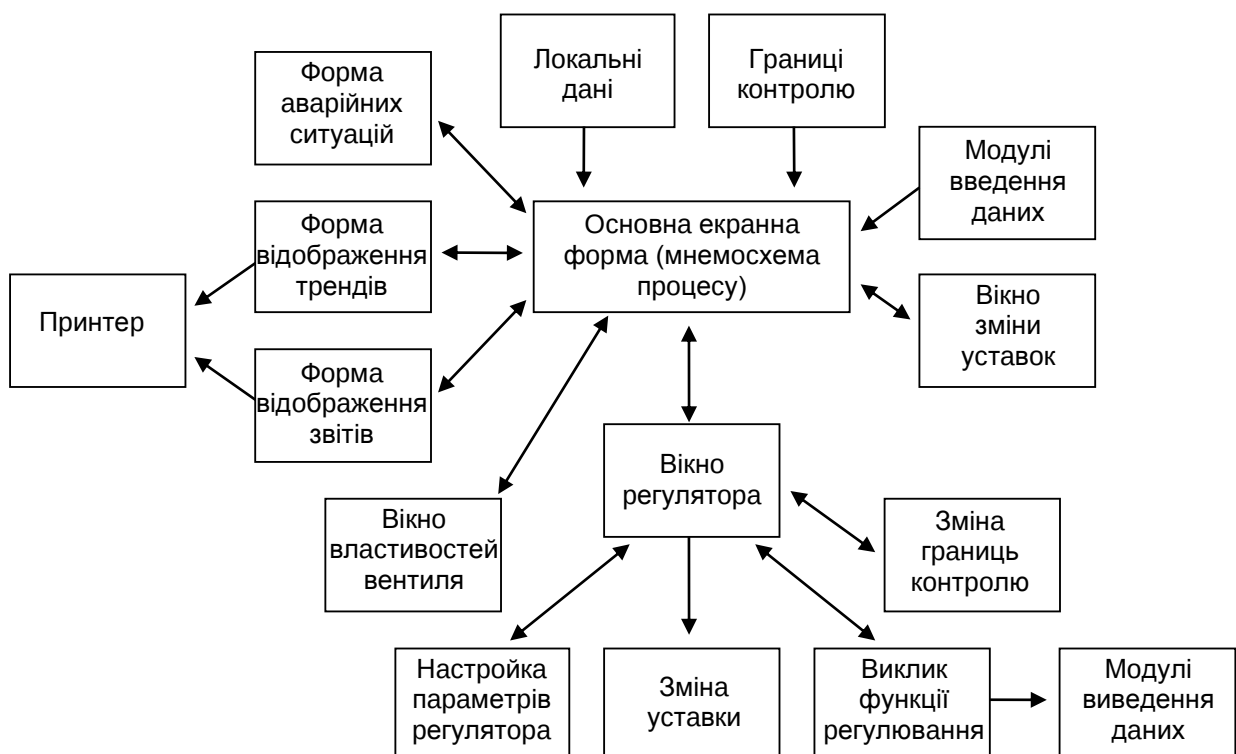


Рисунок 3.2 – Архітектура програмного забезпечення системи управління

На рисунку зображені такі основні програмні модулі архітектури:

- основна екранна форма з назвою «Sol_Kisl», на якій відображається мнемосхема технологічного процесу;
- форма аварійних ситуацій, де відображаються усі аварійні ситуації об'єкта управління і SCADA-системи;
- форма відображення звітів, де по запиту оператора формується звіт за зміну роботи об'єкту управління;
- вікно властивостей вентиля з назвою «!VALVE», де відображається поточний кут повороту певного вентиля, а також редагується час реакції

виконавчого механізму;

- вікно регулятора з назвою «!Regulator», де відображається поточне значення регульованого параметра і його уставка, а також часові діаграми роботи регулятора; можна також ввімкнути регулятор, скорегувати вручну його уставку, а також викликати вікно настройки параметрів регулятора «!Init_PI_Reg».

Отже в процесі подальшого проєктування програмного забезпечення ПК оператора необхідно розробити універсальну функцію регулювання. Викликати цю функцію на виконання можна буде з головної екранної форми «Sol_Kisl». Ця функція повинна реалізовувати пропорційно-інтегральний закон регулювання. Настройка параметрів цього закону буде здійснюватися у допоміжному вікні «!Init_PI_reg».

Згідно з цією архітектурою подальше проєктування графічного ЛМІ оператора будемо розробляти у вигляді основної екранної форми та допоміжних форм та вікон.

3.4 Проєктування окремих програмних модулів

Виконаємо детальне проєктування програмної функції (програмного модуля) регулювання «Reg». Функція «Reg» повинна бути спроектована так, щоб для кожного регульованого параметру (для кожного контуру регулювання) можна було б використовувати різні настройки програмного регулятора (ці настройки наведені нижче).

На початку проєктування ПЗ в середовищі «Citect 6» необхідно встановити потрібні для АСУТП модулі введення/виведення фізичних сигналів. Як вже відмічалось вище, в системі використовуються два модуля типу ADAM-4017 та три модуля типу ADAM-4060. Процедура встановлення цих пристроїв пояснимо на прикладі модуля ADAM-4017:

- встановлюємо сервер введення/виведення (рисунк 3.3);

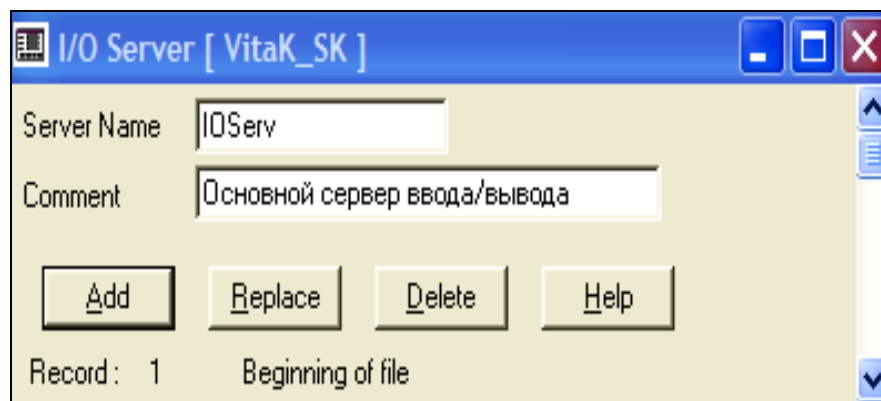


Рисунок 3.3 – Вікно встановлення сервера вводу/виводу

- призначаємо плату та порт на цій платі (рисунки 3.4 та 3.5);

The screenshot shows a window titled "Boards [VitaK_SK]". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The window contains several input fields: "Server Name" with the value "IOServ", "Board Name" with "BOARD1", "Board Type" with a dropdown menu showing "COMX", "Address" with a dropdown showing "0", "I/O Port" with an empty dropdown, "Interrupt" with an empty dropdown, "Special Opt" with an empty text box, and "Comment" with an empty text box. Below these fields are four buttons: "Add", "Replace", "Delete", and "Help". At the bottom left, it says "Record: 1". On the right side, there are navigation icons for up, down, and list.

Рисунок 3.4 – Вікно встановлення плати типу COM

The screenshot shows a window titled "Ports [VitaK_SK]". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The window contains several input fields: "Server Name" with the value "IOServ", "Port Name" with "PORT1", "Port Number" with "1", "Board Name" with a dropdown menu showing "BOARD1", "Baud Rate" with a dropdown showing "9600", "Data Bits" with a dropdown showing "8", "Stop Bits" with a dropdown showing "1", "Parity" with a dropdown showing "NONE", "Special Opt" with an empty text box, and "Comment" with an empty text box. Below these fields are four buttons: "Add", "Replace", "Delete", and "Help". At the bottom left, it says "Record: 1" and "End of file". On the right side, there are navigation icons for up, down, and list.

Рисунок 3.5 – Вікно встановлення порту на обраній платі

- налаштуємо цей порт для роботи з модулем введення (рисунок 3.6).

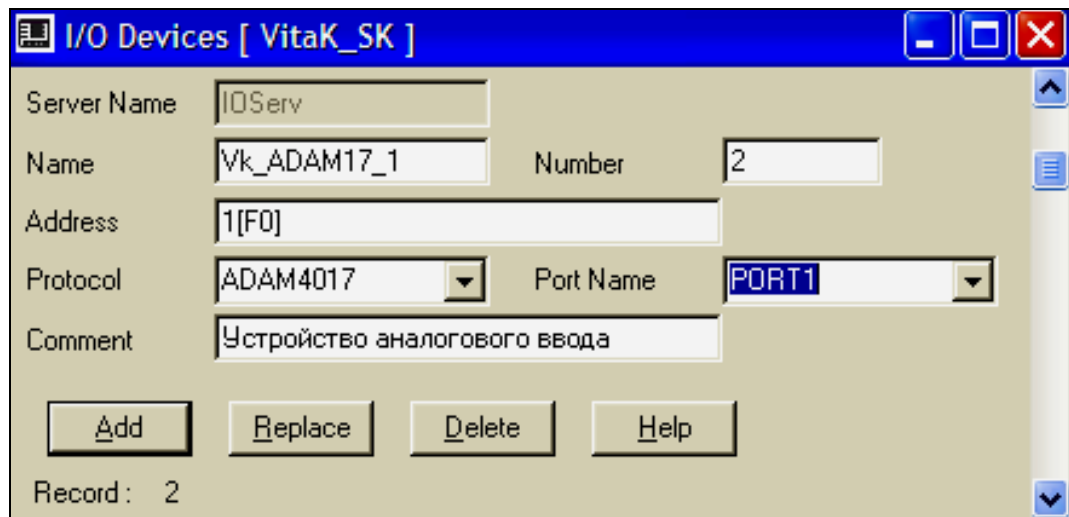


Рисунок 3.6 – Вікно налаштування порту для роботи з пристроєм

Після того, як встановлені всі необхідні пристрої введення/виведення сигналів, необхідно створити змінні, з якими буде працювати функція регулювання. Змінні заносяться до системи SCADA відповідно до структури даних, наведених в таблиці 3.2. Приклад занесення однієї змінної показаний на рисунку 3.7.

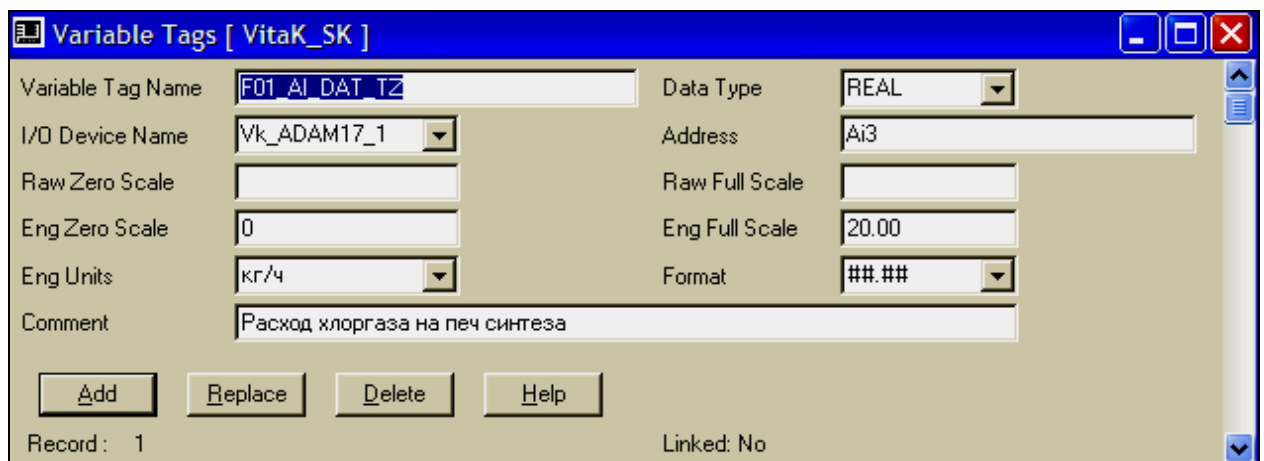


Рисунок 3.7 – Вікно створення і редагування змінних

Після того, як усі необхідні змінні будуть занесені до системи SCADA, можна починати розробляти різного роду функції. Для цього «Citect 6» має вбудовану підтримку мови програмування «CitectVBA» (Visual Basic for Application). Відмінні риси «CitectVBA» такі:

- це по-справжньому багатопотокова мова, що повністю інтегрована у ядро «Citect 6»;
- використовує той же механізм, що і «Cicode», який себе добре зарекомендував;

- займає невеликий (менше ніж 400К) об'єм пам'яті;
- функції мови можуть бути викликані безпосередньо з «Cicode» і навпаки;
- функції мови забезпечують повну підтримку об'єктів ActiveX, змінних «Citect 6» та змінних тривог (алармів);
- робить більш простим процес вбудовування об'єктів ActiveX, що дозволяє легко взаємодіяти з засобами офісних додатків, таких як «Word», «Excel» і ін.;
- повністю сумісна з «Microsoft VBA 6.0».

За допомогою мови «CitectVBA» розробимо функцію “Reg”, лістинг якої наведений у додатку В.

3.5 Проектування графічного ЛМІ оператора

Як вже відмічалось раніше, графічний ЛМІ для ПК оператора реалізується у вигляді основної екранної форми “Sol_Kisl” та допоміжних форм та вікон.

На екранній формі “Sol_Kisl” зображуємо мнемосхему технологічного процесу та засоби відображення і сигналізації вимірюваних величин. Зовнішній вигляд екранної форми “Sol_Kisl” приведений в додатку Г.

Для відображення вимірюваних величин, які підлягають регулюванню, використовуються цифрові індикатори 1. Для ввімкнення регулятора необхідно клацнути правою клавiшею миші на цьому індикаторі. Для редагування параметрів регулятора необхідно клацнути лівою клавiшею на цьому індикаторі.

Для створення такого індикатора необхідно створити джин з відповідними властивостями та зв'язати його з потрібним суперджинном (в нашому випадку з «!Regulator»). Цей джин має назву “Ind_Reg”. Для відображення на ньому потрібної вимірюваної величини необхідно при уставці його в екранну форму задати назву технологічного параметру та його властивості (рисунок 3.8).

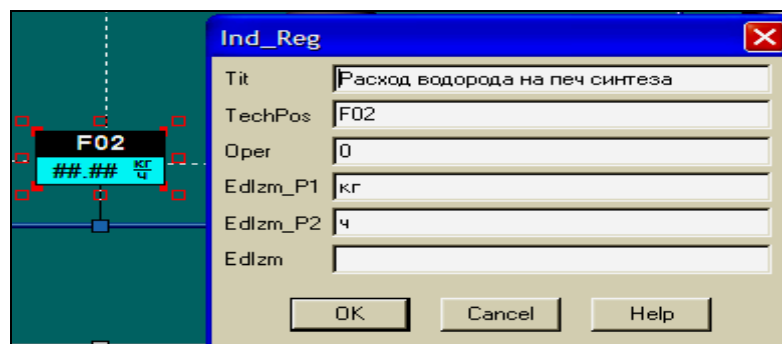


Рисунок 3.8 – Вставка джина “Ind_Reg” в екранну форму

Поле „Tit” – для опису технологічної позиції; „TechPos” – поле вводу технологічної позиції; „Oper” – операція, „0” – прямої дії, „1” – оберненої дії; поля „Edlzm_P1”, „Edlzm_P2”, „Edlzm” призначені для встановлення одиниць виміру відображуваної величини. Для відображення вимірюваних величин, які не підлягають регулюванню, використовуються цифрові індикатори 2. Для створення такого індикатора необхідно створити джін з відповідними властивостями та вставити його в екранну форму. Цей джін має назву “Indikator_NReg”. Для відображення на ньому потрібної вимірюваної величини необхідно при уставці його в екранну форму задати назву технологічного параметру та його властивості (рисунок 3.9).

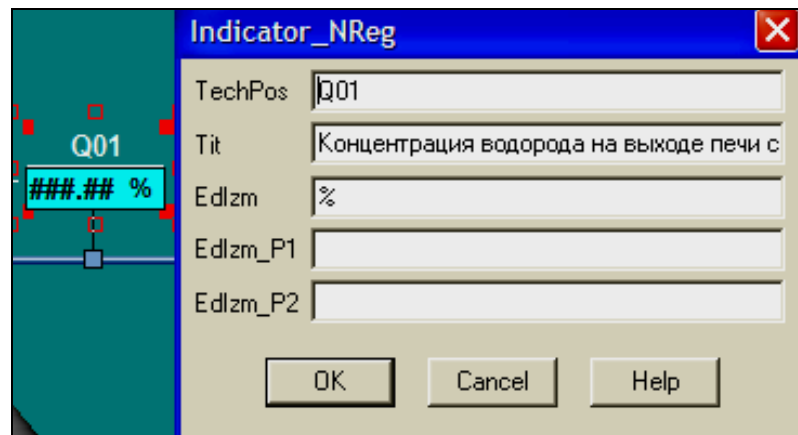


Рисунок 3.9 - Вставка джина Indikator_NReg в екранну форму

Поле „Tit” – для опису технологічної позиції; „TechPos” – поле вводу технологічної позиції; поля „Edlzm_P1”, „Edlzm_P2”, „Edlzm” призначені для встановлення одиниць виміру відображуваної величини.

Також для відображення рівня соляної кислоти в збірнику використовується графічний індикатор 3. Це по суті звичайний графічний символ „Rectangle”, який має властивості шкали (рисунок 3.10). «L01_AI_DAT_TZ» – змінна, значення якої відображає цей об’єкт.

Індикатор 4 відображає стан водяного насоса. При натисканні на нього відбувається вмикання/вимикання насоса.

Для сигналізації вимірюваних величин використовуються такі засоби. У випадку виходу значення контрольованої величини за граничнодопустимі межі, то область відображення числових значень цих величин на індикаторах 1 та 2 починає світитися жовтим кольором. Якщо значення контрольованої величини починають наближатися до критичних, то область індикатора починає світитися червоним кольором. При цьому в нижній частині екранної форми відображується запис 10, що пояснює причини аварійної ситуації. Ці записи генеруються функцією “OdispTwoLastAlarm”.

Елементи управління 5, 6, 7, 8, 9 служать для навігації по проекту. Кнопка 5 викликає вікно редагування уставок. Кнопка 6 викликає екранну

форму відображення трендів контрольованих величин. Кнопка 7 викликає екранну форму генерації звітів. Кнопка 8 викликає екранну форму відображення історії аварійних ситуацій. Кнопка 9 викликає основну екранну форму, на якій зображено мнемосхему технологічного процесу. Кнопка 11 призначена для вимкнення програми.

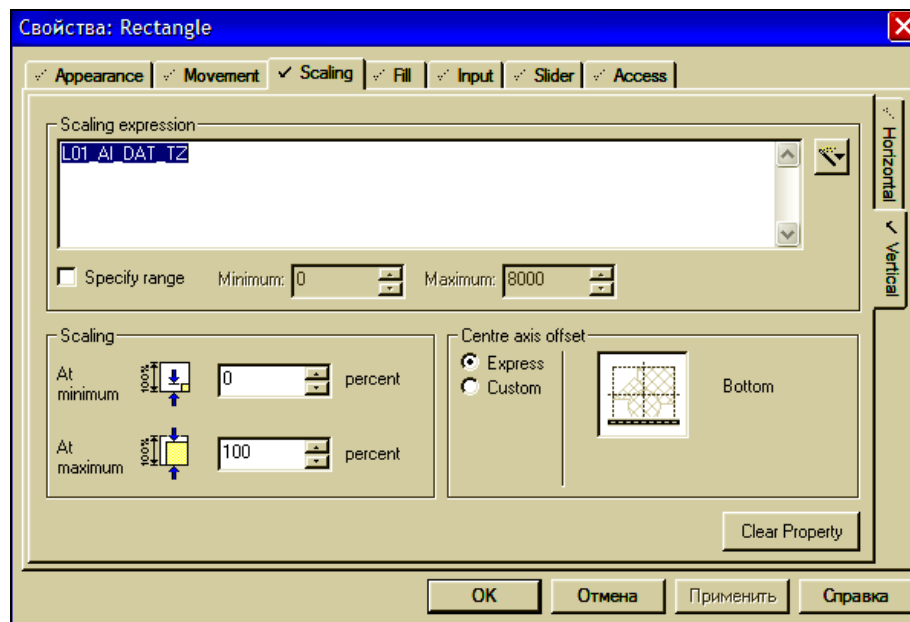


Рисунок 3.10 – Властивості об’єкта “Rectangle”

На екранній формі “Alarms” відображаються записи про минулі і поточні аварійні ситуації. Зовнішній вигляд екранної форми “Alarms” приведений в додатку Д.

У верхньому полі екранної форми “Alarms” відображаються аварійні ситуації технологічного процесу, а в нижньому – різного роду помилки, пов’язані з роботою програми. За допомогою кнопок, що розміщені з права, можна переміщуватись по архівних записах аварійних ситуацій.

Записи відображаються за допомогою стандартної функції “AlarmDsp”, яка формує запис тоді, коли виникає аварійна ситуація. Для відображення аварійних ситуацій, пов’язаних з певною вимірюваною величиною (змінною), необхідно створити змінну типу “Analog Alarms”, яка буде зв’язана зі змінною. Приклад показано на рисунку 3.11.

На екранній формі “!RTF_File” відображаються звіти за попередні робочі зміни і за поточну робочу зміну. Оператор може згенерувати звіт для відображення на екрані у відповідній області, а може роздрукувати звіт на принтер за допомогою кнопок у правому нижньому куті форми. Також можна продивитись попередні звіти, що накопичились. Зовнішній вигляд екранної форми “!RTF_File” приведений в додатку Ж.

Для відображення звіту необхідно встановити пристрій, на який цей звіт буде виводитись.

Analog Alarms [VitaK_SK]

Alarm Tag	F01_AI_DAT_TZ		
Alarm Name	F01		
Variable Tag	F01_AI_DAT_TZ	Setpoint	
High High	19	High	18
High High Delay		High Delay	
Low	2	Low Low	2
Low Delay		Low Low Delay	
Deviation		Rate	
Deviation Delay			
Deadband		Format	
Category		Help	
Comment	Расход хлора на печ		

Рисунок 3.11 – Створення змінної аварійної ситуації

На рисунку 3.12 наведене вікно встановлення цього пристрою. Потім створюється шаблон звіту (рисунок 3.13). В нашому випадку звіт спочатку записується в файл, а потім виводиться на екран. Це реалізовано в функції «Rep».

Devices [VitaK_SK]

Name	ReportLog	
Format		
Header		
File Name	[RUN]:Report.rtf	
Type	ASCII_DEV	
No. Files	-1	
Time		Period
Comment	A single report file	

Рисунок 3.12 – Створення пристрою виведення в файл звіту

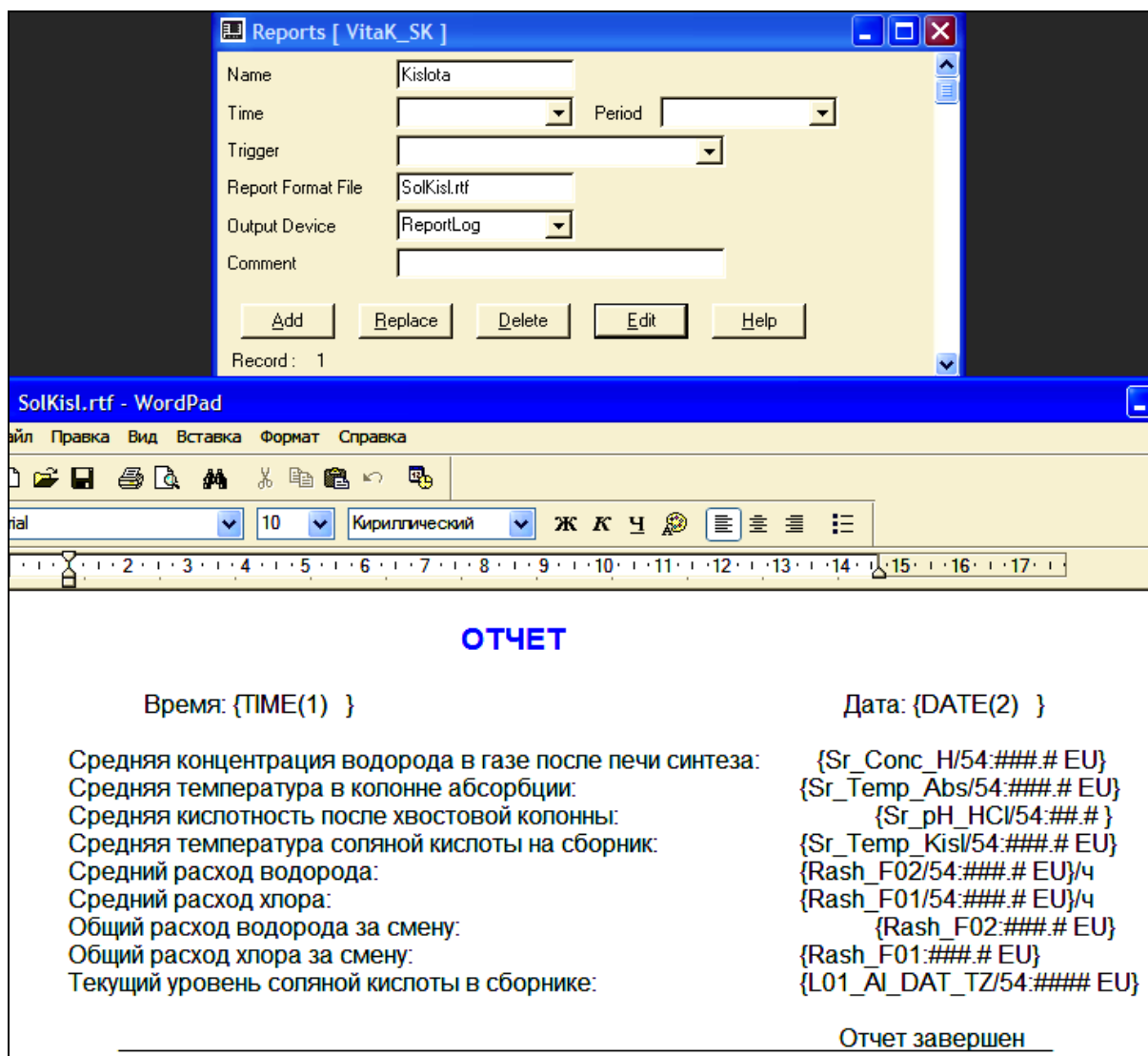


Рисунок 3.13 – Зразок створення шаблону звіту

Підрахунок середніх та загальних значень вимірюваних величин реалізовано функцією "CalcSred".

На екранній формі "Trends" відображаються графіки зміни технологічних параметрів в часі. Також можна продивитись графіки зміни параметрів за минулий час. Оператор може роздрукувати ці графіки на принтер. Проєкт екранної форми "Trends" приведений в додатку К.

Для відображення зміни значень технологічних параметрів необхідно зв'язати область тренду з трендовими змінними, які зв'язані з цими параметрами. Створення трендової змінної показано на рисунку 3.14.

Допоміжне вікно регулятора "Regulator" також відображає динамічний графік зміни регульованого параметру, цифрове поточне значення параметру та його уставку, кнопки управління регулятором, та кнопку виклику вікна редагування параметрів регулятора.

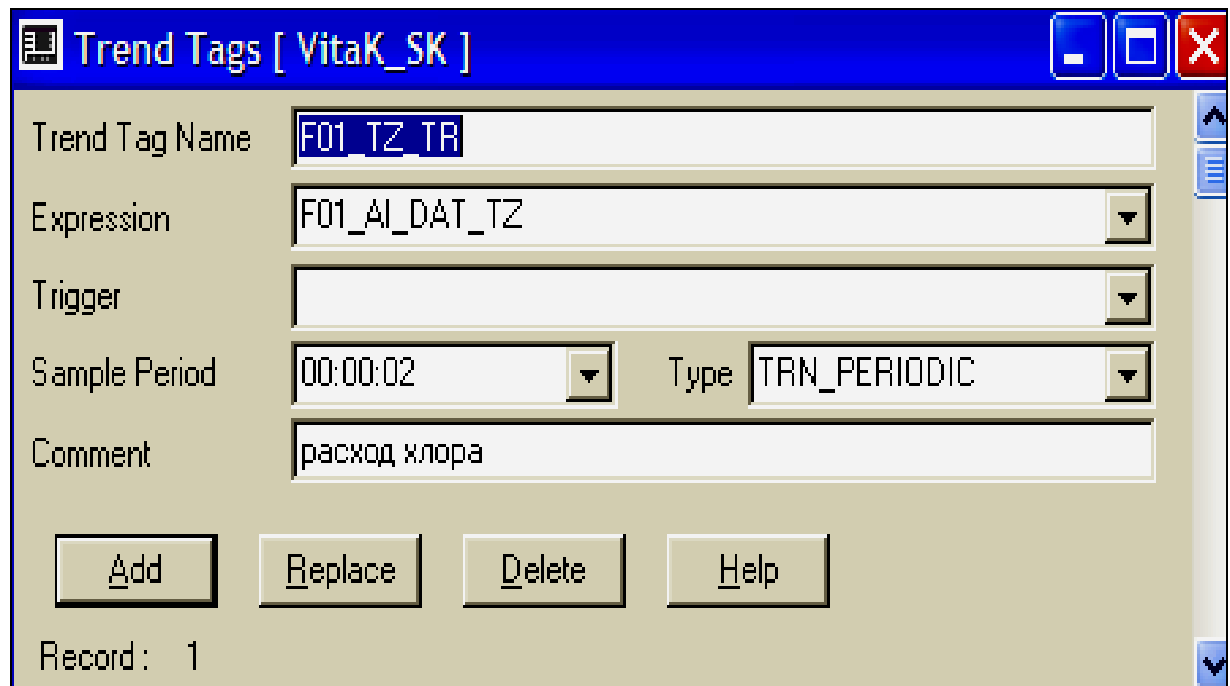


Рисунок 3.14 – Створення трендової змінної

Зовнішній вигляд вікна “!Regulator” приведений на рисунку 3.15.

У вікні редагування параметрів регулятора оператор може змінювати усі параметри регулятора, для того щоб збільшувати або зменшувати швидкодію регулятора та його точність.



Рисунок 3.15 – Вікно регулятора “!Regulator”

Зовнішній вигляд вікна “!Init_PI_Reg” приведений на рисунку 3.16.



Наименование	Значение
Коэффициент пропорциональности	0,03
Интегральная составляющая	0,70
Время опроса датчиков	1,00
Допустимая погрешность	0,050

Рисунок 3.16 – Вікно настройки регулятора

При натисканні лівою клавішею на потрібне значення з'явиться форма редагування цього значення.

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 промислового виробництва соляної кислоти. Ця система у порівнянні з існуючими аналогічними системами дозволяє не тільки управляти технологічним процесом, але і виконувати одну з функцій управління всім виробництвом в цілому.

В рамках такої системи, використовуючи інструментальну систему SCADA «Citec 6», була спроектована автоматизована система управління технологічним процесом промислового виробництва соляної 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. Якубенко В.М., Папінов В.М. Інтегрована система управління для промислового виробництва соляної 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/24242/20010>.
4. Соляна кислота та її властивості [Електронний ресурс] / URL : <http://www.cniga.com.ua/index.files/acidsolyanaya.htm>.
5. Соляна кислота [Електронний ресурс] / URL : http://www.dsr.dn.ua/vhosts/donpromtorg.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=57&Itemid=64.
6. Яцков М. В., Корчик Н. М., Пророк О. А. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв: Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 212 с.
7. Нестеренко С. В. Технологія виробництва хімічних речовин і матеріалів: Конспект лекцій. - – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 101 с.
8. Автоматизація процесів: навчальний курс [Електронний ресурс] / URL : <http://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/index.html>.
9. Ларичева Л.П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів/ Л.П. Ларичева, М.Д. Волошин, О.П. Луценко, Дніпродзержинськ:ДДТУ. – 2015. – 320 с.
- 10.Кобрин М.М. Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання соляної кислоти. – НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, 2020. – 80 с.
- 11.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.
- 12.Автоматизація виробництва : Sigma Engineering [Електронний ресурс] / URL : <https://sigmaengineering.ua/Послуги/avtomatizatsiya-virobnitstva/>.
- 13.Автоматизація виробництва в промисловості : Призма Енерджи Груп [Електронний ресурс] / URL : <https://prisma-group.com.ua/uk/route/avtomatizacziya-ukr/>.
- 14.Пупена О., Ельперін І., Міркевич Р. Огляд сучасних стандартів інтегрованого виробництва// Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - Т.8. - №3. – 2016.

15. ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс] / URL : <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.
16. 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.
17. MESA Model: A Framework for Smarter Manufacturing [Електронний ресурс] / URL : <https://mesa.org/topics-resources/mesa-model/>.
18. Shraddha Kakade. Manufacturing execution system (MES) [Електронний ресурс] / URL : <https://www.techtarget.com/searcherp/definition/manufacturing-execution-system-MES>.
19. 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>.
20. Витратоміри : СВ АЛТЕРА [Електронний ресурс]/ URL: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/automation_of_processes/6699.php.
21. Офіційний сайт компанії "СВ АЛТЕРА" в Україні [Електронний ресурс]/ URL: www.svaltera.ua.
22. Все необхідне для автоматизації на базі РС: Каталог продукції фірми ADVANTECH. – Prosoft, 2017. – 490 с.
23. Призначення, структура і основні функції SCADA - систем [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.votum.if.ua/uk/publications/scada.htm>.
24. Системы визуализации. SCADA-системы [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.svaltera.zp.ua/?inc=prod/scada/>.
25. SCADA система TRACE MODE [Електронний ресурс]/ URL: <http://www.tracemode.ua/products/dev/scada>.
26. 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 соляної
кислоти»

08-31.БКР.016.02.000 ТЗ

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

“ 23 ” травня 2025 р.

Розробив студент гр. АКІТР-23мс

Владислав ЯКУБЕНКО

“ 23 ” травня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

1 Назва і галузь застосування

Інтегрована система автоматизації (ІСА) промислового виробництва соляної 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.

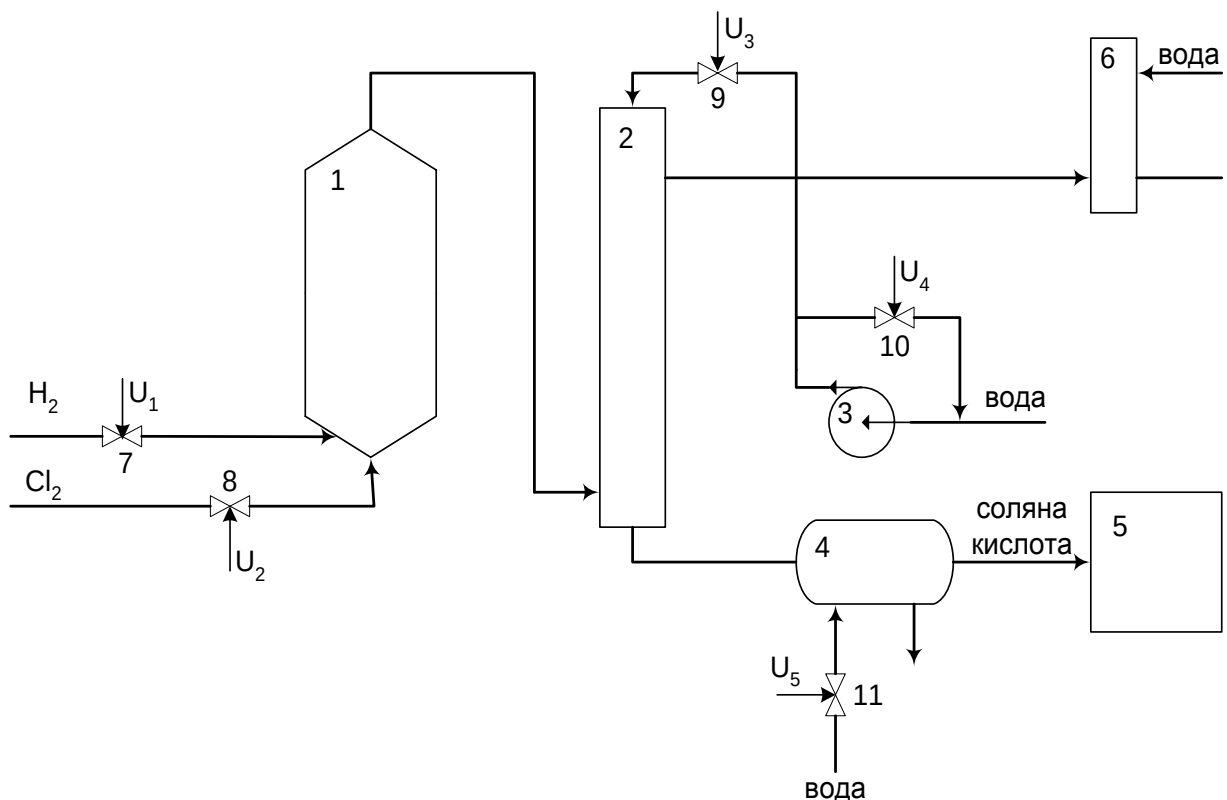


Рисунок 1 – Схема технологічного процесу, що автоматизується

Вихідними продуктами для промислового виробництва соляної кислоти є хлор і водень, що надходять у піч синтезу 1. Після печі синтезу 1 газоподібний хлорид водню надходить у нижню частину колони абсорбції 2, а у верхню її частину як зрошення подають воду насосом 3. Отримана соляна кислота з низу колони абсорбції 2, охолоджена водою в холодильнику 4, надходить далі в збірник 5. Гази з верха абсорбера направляють у хвостову колону 6, де вони зрошуються водою для зв'язування хлориду водню, що залишився. Швидкодія – 0,5-1 хв.. Відстань від приміщення оператора до виробничого цеху –200-250 м.

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. Яцков М. В., Корчик Н. М., Пророк О. А. Основні технологічні схеми базових неорганічних виробництв: Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2020. – 212 с.
2. Кобрин М.М. Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання соляної кислоти. – НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ХТФ, 2020. – 80 с.
3. 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 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 $\leq 19,6 \text{ м/с}^2$;
- лінійне прискорення – немає;
- понижений атмосферний тиск, не більше 61 кПа.

5.2 Вихідні параметри, що регулюються

Перелік параметрів процесу, що регулюються АСУТП, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри об'єкту, що підлягають регулюванню

Параметр	Діапазон	Номінальне значення
1.Концентрація водню в газі хлорид водню	0% ÷ 100%	5% ÷ 10%
2.Температура в колоні абсорбції	0°C÷100°C	1°C÷60°C
3.Тиск води, що зрошує	0÷6 МПа	3÷4 МПа
4.Температура соляної кислоти на виході холодильника	0°C÷100°C	10°C÷30°C

Для всіх параметрів, приведених в таблиці 1:

- період дискретизації регулятора – 1 с.;
- закон регулювання – PI.

5.3 Параметри ТП, що підлягають контролю або вимірюванню

Змінними збуреннями, що впливають на якість регулювання є:

- витрата хлору F01 ;
- витрата водню F02;

Номінальні значення та допустимі границі цих збурень наступні:

$F01_0 = 10 \text{ кг/год}$, $F01_{\min} = 0 \text{ кг/год}$, $F01_{\max} = 20 \text{ кг/год}$;

$F02_0 = 10 \text{ кг/год}$, $F02_{\min} = 0 \text{ кг/год}$, $F02_{\max} = 20 \text{ кг/год}$.

Також параметрами, що вимірюються є:

- температура газу хлорид водню на виході печі синтеза T01;
- рівень соляної кислоти в збірнику L01;
- рН на виході хвостової колони Q02.

Номінальні значення цих величин $T01=1450 \text{ }^\circ\text{C}$, $L01=8 \text{ м}$, $Q02=5$.

5.4 Управляючі діяння та місце їх прикладання

При управлінні виготовленням соляної кислоти в АСУТП необхідно виконувати:

- регулювання витрати хлору – вентиль на трубі подачі хлору в (номінальне положення – 50% Х.Р.О.);
- регулювання витрати водню – вентиль на трубі подачі водню в колону абсорбції (номінальне положення – 50% Х.Р.О.);
- регулювання витрати води для охолодження колони абсорбції – вентиль на трубі подачі води в колону абсорбції (номінальне положення – 50% Х.Р.О.);
- регулювання тиску води – вентиль регулювання тиску подачі води в колону абсорбції (номінальне положення – 50% Х.Р.О.);
- регулювання витрати води для охолодження соляної кислоти – вентиль на трубі подачі води в холодильник (номінальне положення – 30% Х.Р.О.).

5.5 Дії оператора АСУТП у разі виникнення аварійних ситуацій

У разі виникнення аварійних ситуацій, оператор АСУТП повинен:

- в разі виході концентрації водню в вихідному хлор газі за граничні межі оператор повинен здійснити регулювання подачі водню або хлору;
- при збільшенні температури в абсорбері вище максимально допустимої, здійснити регулювання подачі води;
- при виході температури соляної кислоти за граничні межі, здійснити регулювання подачі води до холодильника.

5.6. Вимоги до графічного ЛМІ оператора АСУТП

Графічний ЛМІ оператора АСУТП повинен складатися з одного основного екрану, на якому будуть відображатись основні вимірювані і контрольовані параметри процесу отримання соляної кислоти, та допоміжних вікон для настройки, регулювання та контролю параметрів процесу отримання соляної кислоти, а також з вікон відображення графіків (трендів), аварійних ситуацій, а також звітів.

5.7. Вимоги до форм звітності

АСУТП повинна по запиту автоматично формувати звіт про хід ТП виготовлення соляної кислоти протягом робочої зміни. До звіту вносяться такі дані:

- середня концентрація водню в газі після печі синтезу,

- середня температура в колонії абсорбції,
- середня кислотність після хвостової колонії,
- середня температура соляної кислоти на збірник,
- загальні об'ємні витрати водню;
- загальні об'ємні витрати хлору;
- поточний рівень соляної кислоти в збірнику.

6 Стадії розробки

6.1. Розділ «Техніко-економічне обґрунтування кваліфікаційного проєкту» 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. Проєктування 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 СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ

Розробив:

_____ Владислав ЯКУБЕНКО
“ ” _____ 2025 р.

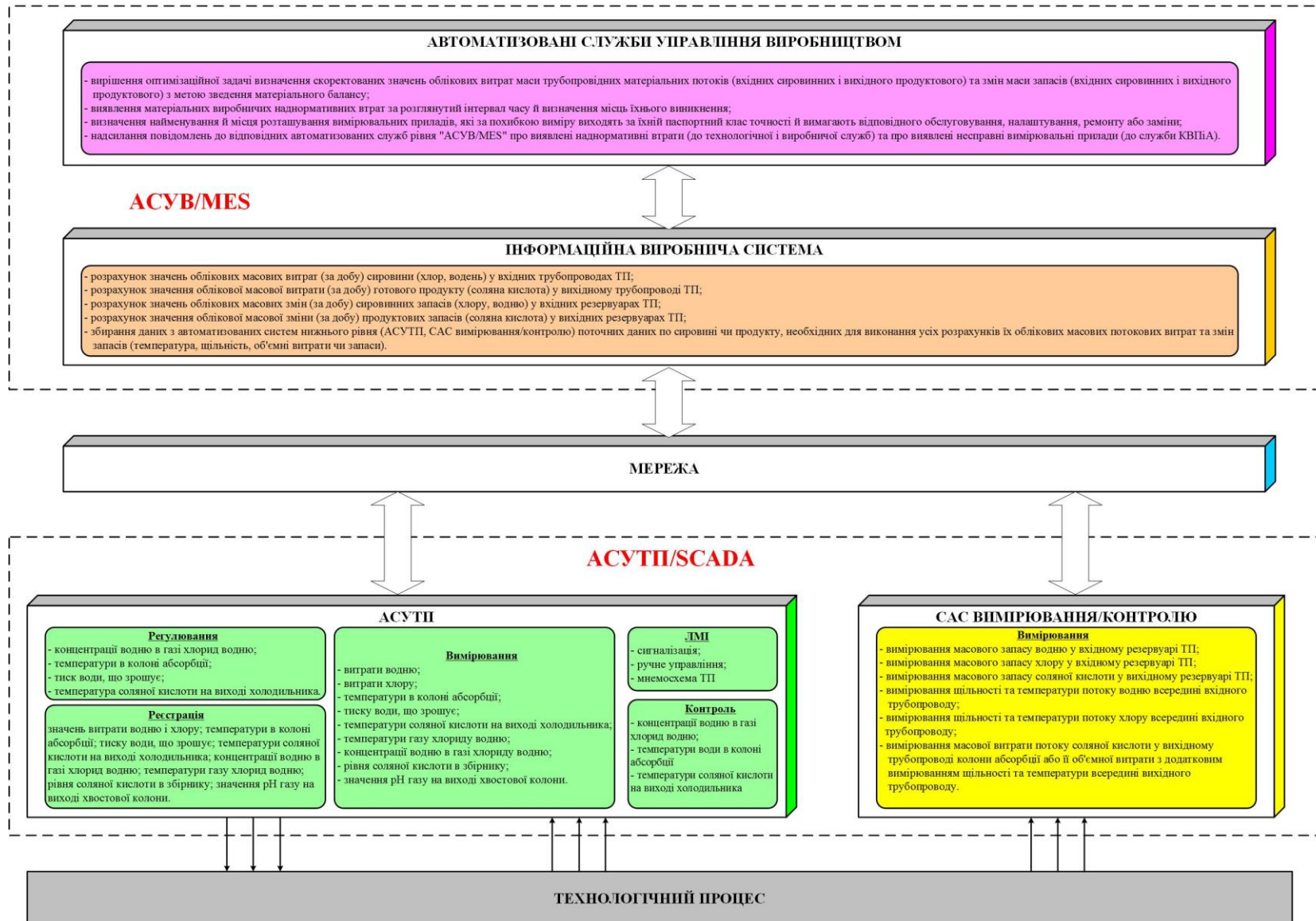
Перевірив:

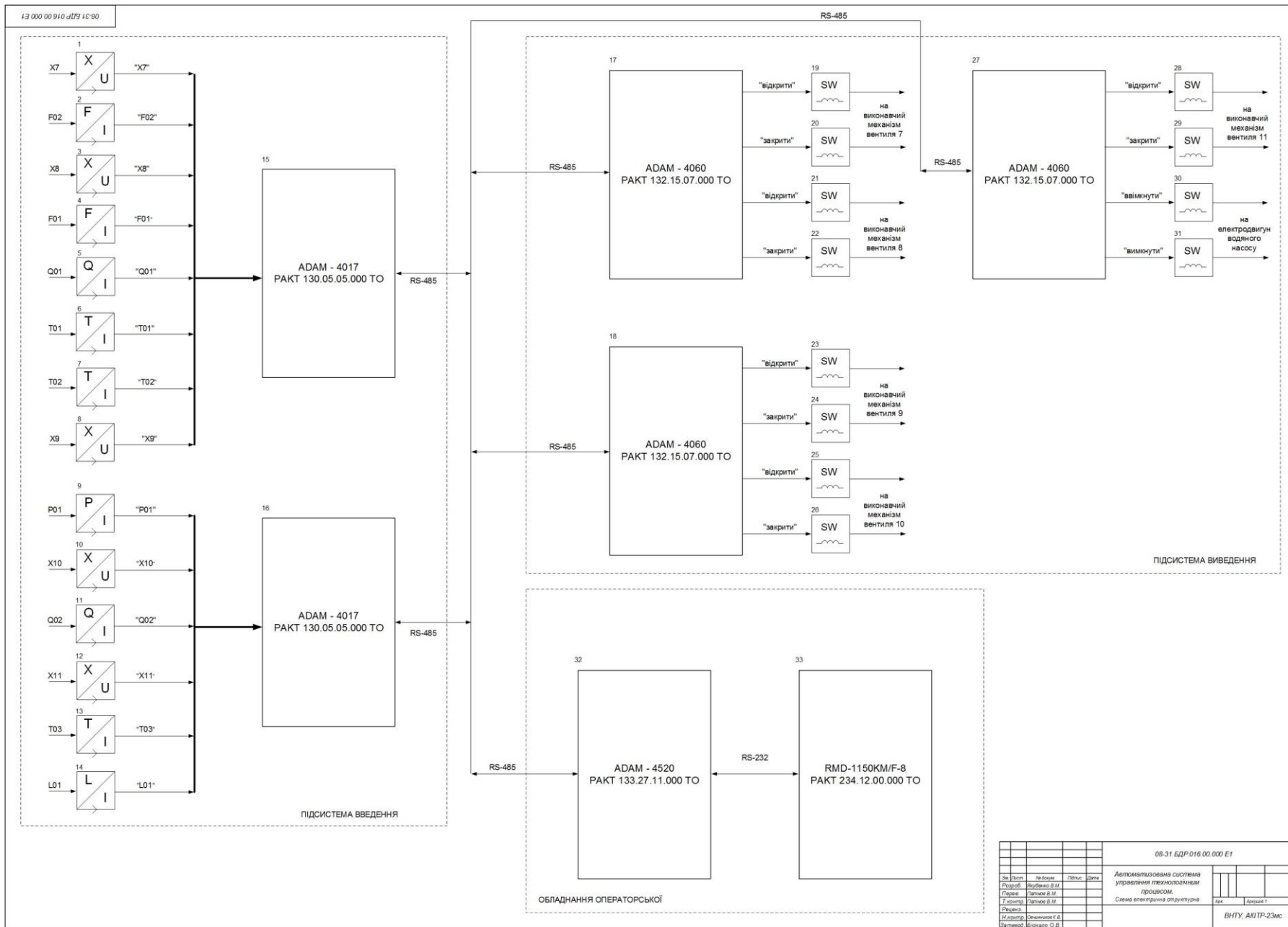
_____ Володимир ПАПІНОВ
“ ” _____ 2025 р.

Рецензент: _____

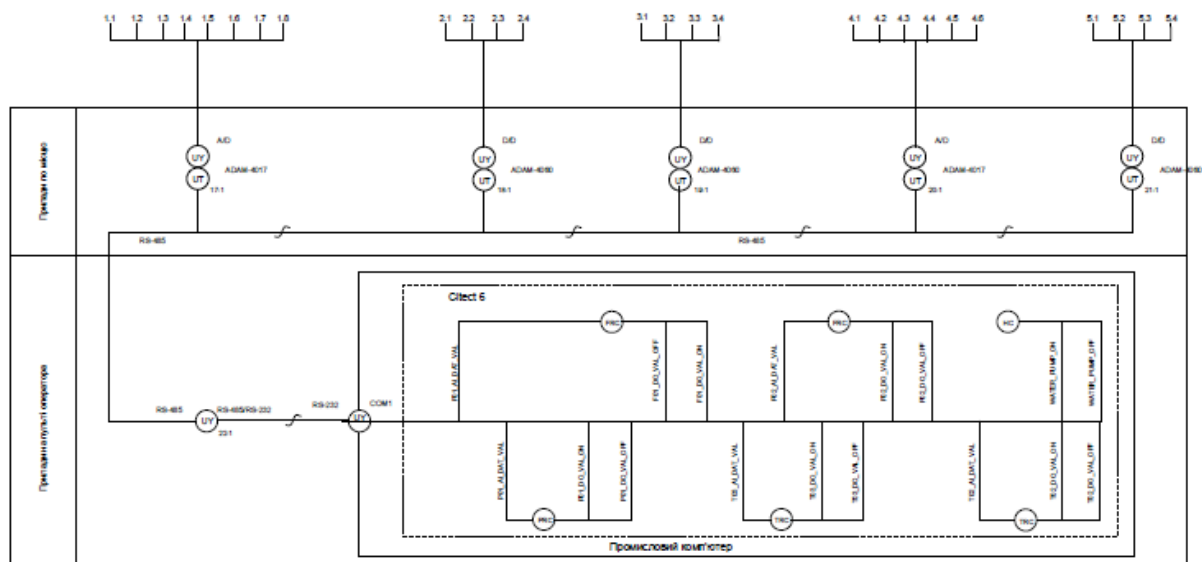
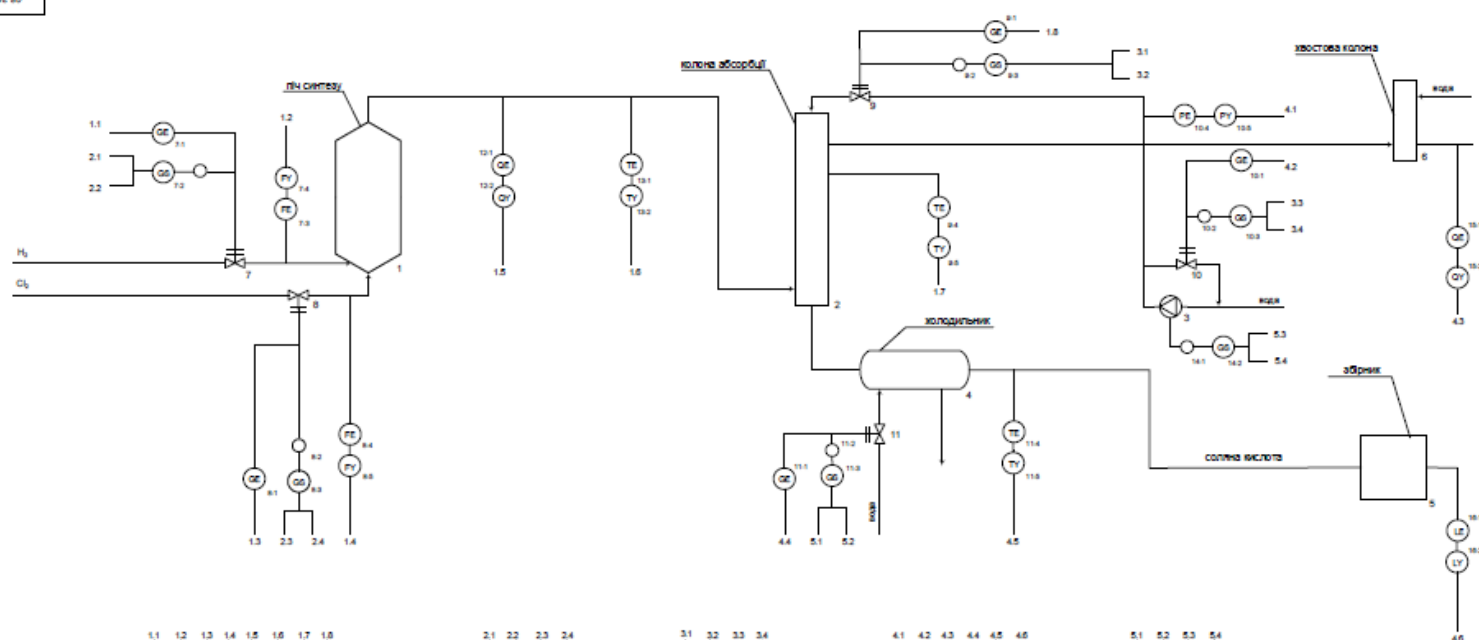
“ ” _____ 2025 р.

КОНЦЕПЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ





					08-31 БДР 016.00.000 E1				

[illegible]

Додаток Л
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Інтегрована система автоматизації промислового виробництва соляної 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 5,97 %

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) Владислав ЯКУБЕНКО
(прізвище, ініціали)