



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації та комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та компютерно-інтегровані технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи

керування

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри АКТСУ Електроінформатики І.В.

“ 18 ” листопада 2020 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Сапіжука Владислава Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуальної системи керування процесом виробництва азотної кислоти

керівник роботи к.т.н. доц. Луцька Наталія Миколаївна

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “18” листопада 2020 року №953-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 10 лютого 2021 року

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

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

Вступ. Розділ 1. Оцінка задачі розробки ІСК для забезпечення задачі автоматизації процесу виробництва азотної кислоти 1.1. Аналіз технологічного процесу виробництва азотної кислоти як об'єкту автоматизації 1.2. Аналіз існуючих систем керування процесом виробництва азотної кислоти 1.3. Аналіз інформаційного забезпечення, що обумовлює можливість застосування алгоритмів інтелектуального керування 1.4 Концептуальна схема системи інтелектуальної обробки даних 1.5 Постановка задачі дослідження Розділ 2. Розробка загальносистемних рішень інформаційної системи керування 2.1. Розробка підсистеми управління процесом окислення суміші в реакторі 2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються. 2.3 Визначення функцій користувачів (Use Case Diagram) 2.4 Розробка діаграми вимог до інтелектуальної системи управління (Requirements diagram) 2.5 Розробка етапів створення

*інтелектуальної системи управління (Sequence diagram) Розділ 3. Розробка інформаційного та програмного забезпечення для інтелектуальної системи управління. 3.1. Вибір програмного забезпечення для компонентів системи 3.2. Дисплейна мнемосхема процесу виробництва азотної кислоти 3.3. Побудова структури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. Основні результати і висновки. Список використаних джерел*

5. Перелік графічного матеріалу

*1. Схема автоматизації. 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.*

6. Консультанти розділів роботи

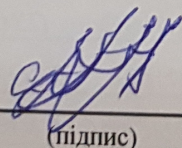
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 18 листопада 2020 р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

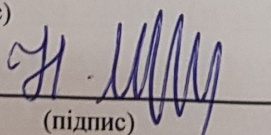
№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача та затвердження завдання	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	<i>Розділ 1. Оцінка задачі розробки ІСК для забезпечення задачі автоматизації процесу виробництва азотної кислоти</i>	<i>Захист переддипломної практики</i>	
3	<i>Розділ 2. Розробка загальносистемних рішень інформаційної системи керування</i>	3 тиждень	
4	<i>Розділ 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.</i>	5 тиждень	
5	<i>Розділ 2. Розробка діаграм на мові SysML функцій, що інтелектуалізуються</i>	7 тиждень	
6	<i>Розділ 3. Розробка інформаційного та програмного забезпечення для інтелектуальної системи управління</i>	11 тиждень	

Здобувач

  
(підпис)

Сапіжук В.В.

Керівник роботи

  
(підпис)

Луцька Н.М.

## АНОТАЦІЯ

Об'єм магістерської роботи 103 сторінки, на яких розміщено 26 рисунків та 7 таблиць. При написанні роботи використано 57 джерел.

**Ключові слова:** окислення, аміак, аміачно-повітряна суміш, реактор окислення, контур керування, об'єкт керування, схема автоматизації, математична модель, статична характеристика, динамічна характеристика, канал збурення, канал керування, специфікація обладнання.

Магістерська робота присвячена автоматизації процесу виробництва азотної кислоти під високим тиском, що забезпечує: розглянуто особливості роботи реактора окислення, як об'єкта керування. Розроблена математична модель статичного режиму роботи та модель динамічного режиму роботи. За допомогою даної моделі виконано розрахунки статичних характеристик по каналам збурення і керування; метод формування керувальних дій та оцінку форми залучення особи, що приймає рішення; вимоги режимами роботи устаткування призначеного для окислення; послідовність створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

Магістерська кваліфікаційна робота містить вступ, три розділи та висновки.

## ANNOTATION

The volume of the master's thesis is 103 pages, on which 26 figures and 7 tables are placed. 57 sources were used in writing the work.

**Keywords:** oxidation, ammonia, ammonia-air mixture, oxidation reactor, control loop, control object, automation circuit, mathematical model, static characteristic, dynamic characteristic, perturbation channel, control channel, equipment specification.

The master's thesis is devoted to the automation of the process of production of nitric acid under atmospheric pressure is made, which provides: system for automation of the technological process, as well as a system for the automation of the oxidation reactor, a principal electrical circuit for control and emergency protection of electric motors, has been developed; the method of formation of management actions and assessment of the form of involvement of the decision maker; requirements for operating modes of oxidation equipment; the sequence of creating an intelligent decision support system.

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

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Виробництво азотної кислоти є одним із найбільш складних та енерговитратних процесів. Автоматизація процесу виробництва азотної кислоти забезпечує якісну та ефективну роботу всіх технологічних етапів даного процесу.

Сьогодні інтелектуальні системи управління широко використовуються, в більшості процесів, що забезпечує вищу ефективність виробництва та продуктивність праці на усьому виробництві.

Інтелектуальні системи управління - це системи управління, які здатні "розуміти" і навчатися відповідно до об'єкта управління, порушення, збурень тощо. Враховуючи різноманітність виробничих процесів, що відбуваються на різних етапах виробництва азотної кислоти.

**Мета і завдання роботи.** Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесів реактора на азотних підприємствах шляхом створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень відносно зміни режимів функціонування обладнання та суміжних відділень.

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

- провести аналіз технологічного процесу окиснення, проаналізувати існуючі системи автоматизації;
- проаналізувати інформаційне забезпечення, що сприяє можливості використання інтелектуальної системи, схеми систем інтелектуального аналізу даних;
- розробити підсистему управління процесом окиснення в реакторі підприємство, описати функції що інтелектуалізуються;
- розробка діаграми варіантів застосування методів формування керувальних дій та оцінка дій осіб що є відповідальними, за прийняття рішень;
- розробка діаграми вимог для режимів роботи реактора окиснення;
- розробка діаграми для забезпечення розробки інтелектуальної системи прийняття рішень;
- розробка програмного забезпечення для процесу окиснення;

– побудова структури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

**Основні положення, що виносяться на захист.** При виконанні кваліфікаційної магістерської роботи були отримані наступні результати:

– проведений аналіз технологічного процесу реактора окислення, проаналізовано реалізовані і спроектовані системи автоматизації;

– проаналізовано програмне забезпечення, що дає можливість використання інтелектуальних систем, схем систем інтелектуального аналізу даних;

– розробити підсистему управління процесу окислювального реактора, описано функції що інтелектуалізуються;

– розроблено діаграми варіантів використання Use case diagram методу формування керувальних дій та оцінки форми залучення особи, що приймає рішення;

– розроблено діаграму вимог Requirements diagram режимами роботи окислювального обладнання;

– розроблено діаграму послідовності Sequence diagram створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень;

– розроблена мнемосхема процесу окислення для реакторів з використанням SCADA-програми Vijeo Citect;

– побудовано структуру інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

## РОЗДІЛ 1

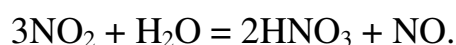
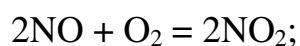
### ОЦІНКА ЗАДАЧІ РОЗРОБИ ІСК ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

#### 1.1. Аналіз технологічного процесу виробництва азотної кислоти як об'єкту автоматизації

Азотна кислота при звичайних умовах являє собою безбарвну рідину з температурою кипіння  $83,4^{\circ}\text{C}$  і температурою кристалізації  $-41,58^{\circ}\text{C}$ . Вона є малостійким з'єднанням і розкладається при звичайних температурах з виділенням оксидів азоту.

Азотна кислота є сильною мінеральною кислотою і володіє окислювальними властивостями, тому вона знаходить широке застосування в різних галузях техніки. Основна кількість азотної кислоти використовується при виробництві мінеральних добрив. Крім того, концентрована азотна кислота широко застосовується в органічному синтезі для отримання вибухових речовин, нітропохідних з'єднань ароматичного ряду, які є напівпродуктами при виробництві синтетичних барвників, фармацевтичних препаратів і ін.

В даний час єдиним промисловим способом отримання азотної кислоти є контактне окиснення аміаку до оксиду азоту (II) з подальшим окисненням NO до  $\text{NO}_2$  і абсорбцією  $\text{NO}_2$  водою утворюється за таких реакцій:  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ ;



Як бачимо, виробництво азотної кислоти складається з трьох стадій. На першій стадії окиснення аміаку необхідно застосовувати каталізатор для протікання реакції. З усіх металів найбільшою активністю володіє металева платина. На платиновому каталізаторі при температурах  $800-1000^{\circ}\text{C}$  вихід оксиду азоту (II) досягає 98-99% при часу контактування  $\sim 10^{-4}$  с. Це

дозволяє виготовляти каталізатор з тонкої платиного дроту у вигляді сіток щільного плетіння. Для виготовлення сіток використовують дріт діаметром 0,092 мм, при цьому отримують сітку з розміром сторони чарунки 0,22 мм і числом осередків 1024 на 1 см<sup>2</sup>.

Недоліком платини є її схильність до руйнування при високих температурах. Під впливом реакційного середовища при температурах вище 800 ° С поверхню платиного дроту розпушується, в результаті чого спостерігається винесення найдрібніших частинок платини газовим потоком, що призводить до втрат каталізатора і обумовлює необхідність його заміни. Для зменшення втрат платини необхідно підвищити фізико-механічні властивості дроту - міцність і термічну стійкість. З цих причин в якості каталізатора використовують сплави платини з різними металами.

Реакція окислення аміаку на платіноїдних каталізаторах починається при температурах 220- 240 ° С. Однак в цих умовах основним продуктом окислення є N<sub>2</sub>O. Поява NO спостерігається при температурах вище 300 ° С. З подальшим підвищенням температури вихід оксиду азоту (II) зростає і досягає максимуму - 99% при температурах 900-920 ° С. Залежність виходу NO від температури приведена на рис. 1.1

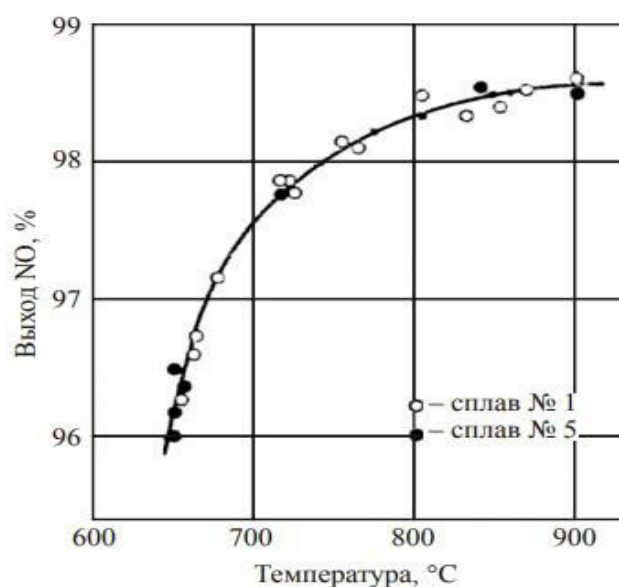
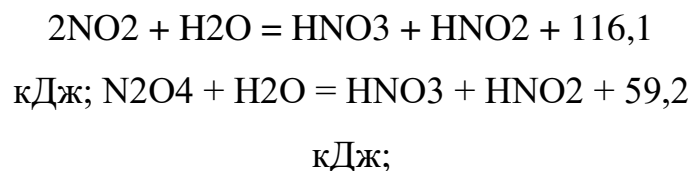


Рис.1.1. Залежність виходу NO від температури

Представлені дані показують, що крива залежності виходу NO від температури має затухаючий характер – зі збільшенням температури від 800 до 920 °С вихід NO збільшується незначно. Отже, оптимальний температурний режим окислення лежить в інтервалі 800-920 °С.. Необхідна температура окислення досягається за рахунок теплоти реакції і підігріву вихідної газової суміші.

В результаті окислення оксиду азоту (II) утворюються нітрозні гази, які містять в своєму складі NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Переробку оксидів азоту в азотну кислоту здійснюють шляхом поглинання окислених нітрозних газів водою або водним розчином азотної кислоти. При цьому протікають наступні реакції:



Азотистая кислота, що утворюється при абсорбції оксидів азоту, нестійка і розкладається з утворенням азотної кислоти і оксиду азоту (II) по реакції.



Потужність виробництва азотної кислоти в схемі, яка працює під тиском 0,716 МПа, визначається числом агрегатів. Відновлення оксидів азоту відбувається на двоступінчатому каталізаторі АПК-2. Вміст оксидів азоту в газах після каталітичного очищення не більше 0,005 % об. У схемах під підвищеним тиском одержують найбільш концентровану продукційну кислоту. Саме тому технологічну схему виробництва азотної кислоти за підвищеного (0,716 МПа) тиску розглянемо детальніше.

Атмосферне повітря, яке необхідне для окиснення аміаку, ретельно очищують у тканинному фільтрі. Очищене повітря стискають двоступеневим компресором. На першому ступені повітря стискається до 0,35 МПа, при цьому воно нагрівається до (165 ÷ 175) °С внаслідок адіабатичного стиснення.

Після проміжного охолодження (на схемі не показано) повітря подається на другий ступінь стиснення, де його тиск зростає до 0,716 МПа, а температура до  $(125 \div 135)$  °С. В підігрівачі воно нагрівається до  $(250 \div 270)$  °С теплотою нітрозних газів, а далі подається у змішувач, де змішується з аміаком.

Газоподібний аміак після випаровування скрапленого аміаку та очищення нагрівають у підігрівачі до температури 150 °С і подають у змішувач, оснащений керамічним фільтром. Тут аміак змішується з повітрям, а утворена аміачно-повітряна суміш (АПС) додатково очищається фільтрацією через керамічні трубки від залишків пилу, мастила тощо. Механічні домішки осідають на зовнішній поверхні трубок, а очищена АПС з вмістом аміаку не більше 10 % об. подається в контактний апарат. Окиснення аміаку відбувається на платино-родієвих сітках за температури  $(890 \div 910)$  °С. Ступінь окиснення  $\text{NH}_3$  до  $\text{NO}$  дорівнює 96 %. Гарячі нітрозні газид надходять в котел-утилізатор, який змонтований разом з контактним апаратом, де охолоджуються до температури 170 °С. У котлі-утилізаторі випаровується очищена деаерована вода, яка перетворюється в пару з тиском 1,5 МПа і температурою 230 °С; одержана пара подається споживачу.

Після чого нітрозні газид надходять в окиснювач, де  $\text{NO}$  окиснюється до  $\text{NO}_2$ . Цей апарат є порожнистим із розміщеним у верхній частині фільтра для вловлювання часточок платинового каталізатора. Унаслідок перебігу реакції окиснення температура нітрозних газів зростає до  $(300 \div 320)$  °С. Це тепло використовують для підігрівання повітря в підігрівачі. Охолоджені нітрозні газид надалі додатково охолоджуються в теплообміннику до температури 150 °С; при цьому відбувається нагрівання викидних (хвостових газів), які надходять на очищення. Подальше охолодження нітрозних газів відбувається в холодильнику-конденсаторі. Унаслідок цього з газів конденсується водяна пара й утворюється слабка азотна кислота, яку відділяють від газу в сепараторі і подають на  $(6 \div 8)$  тарілку абсорбційної колони. Нітрозні газид подають в нижню частину колони під першу тарілку. Колона зрошується охолодженим паровим конденсатом. Низько концентрований розчин азотної кислоти, який утворюється у верхній частині

колони, переміщуючись з тарілки на тарілку згори донизу, поступово концентрується внаслідок поглинання оксиду азоту(IV) і на виході з апарату концентрація кислоти сягає  $(60 \div 62)$  %. Вона містить до 1 % розчинених оксидів азоту, які надають їй жовтуватого забарвлення. Для їх вилучення розчин азотної кислоти подається у продувну колону, яку ще називають відбілюючою, бо кислота внаслідок віддування оксидів азоту знебарвлюється. Відбілена кислота подається на склад. Повітря, яке виходить з відбілюючої колони і містить оксиди азоту, подається в нижню частину абсорбційної колони – внаслідок цього досягається збільшення ступеня перетворення оксидів азоту до 99 %.

Хвостові (викидні) гази, які виходять з колони з температурою 35 °С, містять до  $(0,15 \div 0,2)$  % оксидів азоту, решта елементарний азот. У підігрівачі вони нагріваються до  $(110 \div 145)$  °С і надходять у топковий пристрій (камеру спалювання) установки каталітичного очищення. Процес окиснення ведуть так, щоб у газах містилось якомога більше оксиду вуглецю(II) та водню, бо саме вони є відновниками оксидів азоту до елементарного. Оскільки процеси окиснення метану є екзотермічними, то хвостові гази нагріваються до  $(390 \div 430)$  °С.

Недоліки даної технологічної схеми – найвища витрата каталізатора, що спричинено високим тиском.

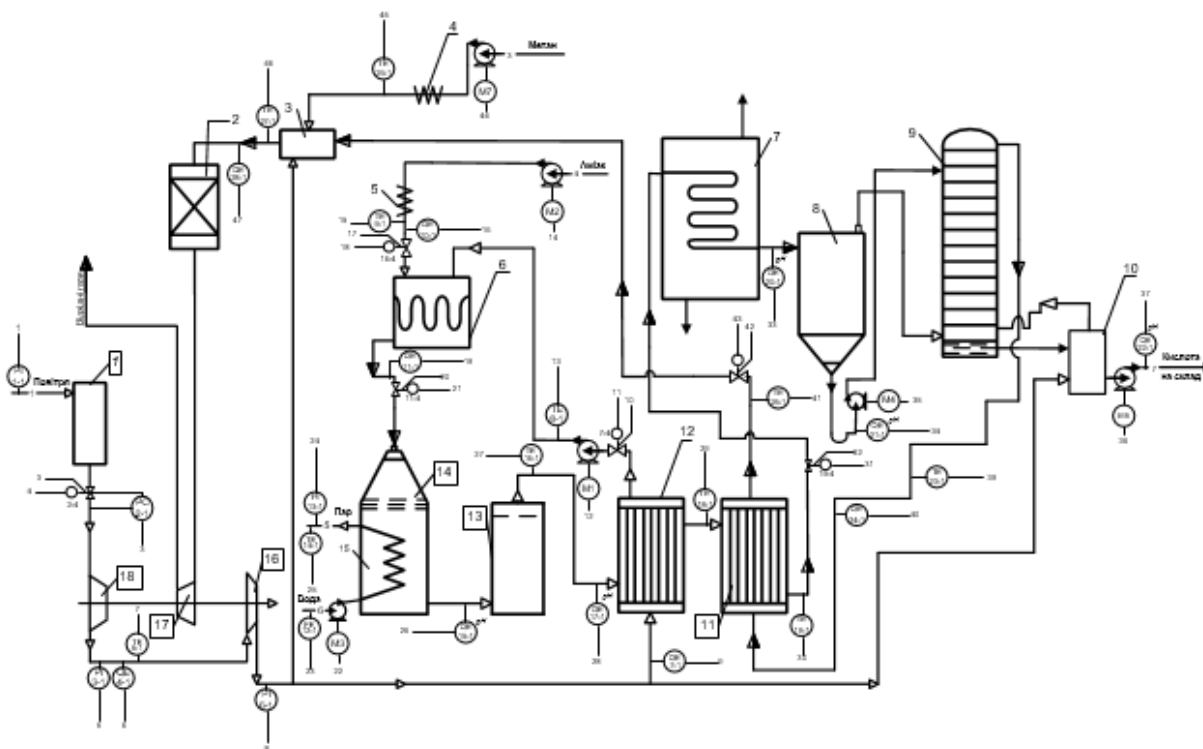


Рисунок 1.2. Технологічна схема виробництва азотної кислоти під високим тиском

1 – фільтр повітря; 2 – реактор каталітичної очистки; 3 – топочний пристрій; 4 – підігрівач метану; 5 – підігрівач аміаку; 6 – змішувач аміаку і повітря; 7 – холодильник-конденсатор; 8 – сепаратор; 9 – абсорбційна колона; 10 – продувочна колона; 11 – підігрівач відхідних газів; 12 – підігрівач повітря; 13 – посуд для окислення нітрозних газів; 14 – контактний апарат; 15 – котел-утилізатор; 16 – двоступеневий турбокомпресор; 17 – газова турбіна; 18 – двоступеневий турбокомпресор.

Технологічна схема включає наступні стадії: фільтрацію повітря від пилу, стиснення його до 0,412 МПа; випаровування рідкого аміаку під атмосферним тиском; фільтрацію газоподібного аміаку; змішання газоподібного аміаку з повітрям; фільтрацію аміачно-повітряної суміші; окислення (конверсія) аміаку киснем повітря; охолодження нітрозних газів з одночасно промиванням їх від нітратів амонію і отримання конденсату азотної кислоти концентрацією 40-45%  $\text{HNO}_3$ ; стиснення нітрозних газів до 1,079 МПа; охолодження сжатих нітрозних газів; абсорбцію оксидів азоту з утворенням 60%-ої азотної кислоти; підігрів вихлопних газів до 480- 500 ° С; каталітичну очищення їх від оксидів азоту з одночасним менним підігрівом їх до 750-770 ° С; розширення вихлопних газів в

газовій турбіні і охолодження розширених вихлопних газів в підігрівачі до 200 °С.

Атмосферне повітря після очищення від механічних домішок на фільтрах грубого і тонкого очищення в апараті 1 засмоктується осьовим повітряним компресором 2. Стисле повітря розділяється на два потоки, з яких основний потік прямує в апарати окислення аміаку 8, а другий потік (10-14% від загального витрати повітря на технологію) проходить послідовно підігрівач газоподібного аміаку 5, продувну колону 21 і змішується з нітрозними газами на лінії всмоктування нітрозного нагнітача 17.

Рідкий аміак надходить в змішувач 3 та у випарник 4, де в останньому випаровується за рахунок тепла циркулюючої води. Вологий газоподібний аміак нагрівається в підігрівачі 5 стисненим повітрям (а в холодну пору року – додатково в теплообміннику 6 паром).

Гарячий газоподібний аміак змішується з повітрям в змішувачі 7. Аміачноповітряна суміш піддається додатковому очищенні в фільтрі, вбудованому в контактний апарат. Окислення (конверсія) аміаку здійснюється на каталізаторних сітках з платино-родієво-паладієвого сплаву.

Гарячі нітрозні гази охолоджуються послідовно в котлі утилізаторі 8, розташованому під каталізаторними сітками, в економайзері 9, підігрівачі хімічно очищеної води 10, холодильнику-конденсаторі 11 і промивачі 12. У промивач 12 поряд з процесами охолодження нітрозного газу і конденсації парів з утворенням азотної кислоти здійснюється промивка нітрозних газів від аміаку, який не прореагував на каталізаторних сітках, і нітрат амонію, що утворюються з аміаку і оксидів азоту в тракці до промивача (особливо під час пуску).

Промивач 12 зрошується азотною кислотою, циркуляція якої здійснюється за допомогою насоса 13 через холодильник 14, охолоджуваний зворотною водою, в холодильник 15, охолоджуваний циркулюючою через випарники рідкого аміаку 4 захоложеною водою. З промивача 12 40-45%-ва азотна кислота насосом 18 подається в абсорбційну колону 20.

Охолоджений нітрозний газ надходить в нагнітач 17, стискається до 1,079 МПа, далі послідовно охолоджується в підігрівачі живильної води 19 і в холодильнику-конденсаторі 22, після чого надходить в абсорбційну колону 20. Абсорбційна колона зрошується паровим конденсатом і конденсатом сокового пару з виробництва аміачної селітри. Продукційна 60%-ва азотна кислота надходить в продувну колону 25, де при тиску 0,392 МПа з неї віддувають розчинені оксиди азоту повітрям, далі самопливом кислота наливається в сховища складу.

Вихлопні гази з абсорбційної колони направляються в пастку 24 з вбудованим теплообмінником 23, в якому вони підігріваються для випаровування захоплених дрібних бризок, а потім - в підігрівач 30. Протипотоковий підігрів стислих вихлопних газів здійснюється послідовно розширеними вихлопними газами з газової турбіни і димовими газами, утвореними при згорянні природного газу в пальниках радіаційної частини підігрівача 30. Нагріті вихлопні гази проходять в реактор каталітичного очищення 27 і змішуються з природним газом в змішувачі 26.

Суміш надходить в реактор каталітичного очищення 27, де на двухступінчатому каталізаторі при надлишку природного газу відбувається відновлення оксидів азоту до азоту з одночасним підігрівом вихлопних газів до 750-770 ° С. Гарячі вихлопні гази направляються на рекупераційну газову турбіну 28. Енергія розширення гарячих вихлопних газів практично повністю відповідає витратам механічної енергії на стиснення повітря і нітрозних газів; деякий недолік механічної енергії заповнюється роботою парової турбіни 29. Розширені вихлопні гази з турбіни надходять в підігрівач 30, охолоджуються і викидаються через вихлопну трубу в атмосферу.

В агрегаті АК-72 очищення повітря і аміаку від механічних домішок здійснюється шляхом триразової фільтрації через тканинні і тонковолокнисті фільтри так, щоб вміст пилу в аміачно-повітряній суміші не перевищувало  $0,007 \text{ м}^2 / \text{м}^3$ .

Окислення аміаку здійснюється в двох контактних апаратах діаметром 4 м і висотою 5,57 м на комбінованому катализаторі при температурі 850-870 ° С. Ступінь конверсії аміаку становить 96,5-97,0%. Втрати платиноїдного катализатора становлять 0,12 г / т HNO<sub>3</sub>.

## 1.2. Аналіз існуючих систем керування процесом виробництва азотної кислоти

Схема автоматизації виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском та її зменшена копія функціональної схеми автоматизації показана на рис.1.3.

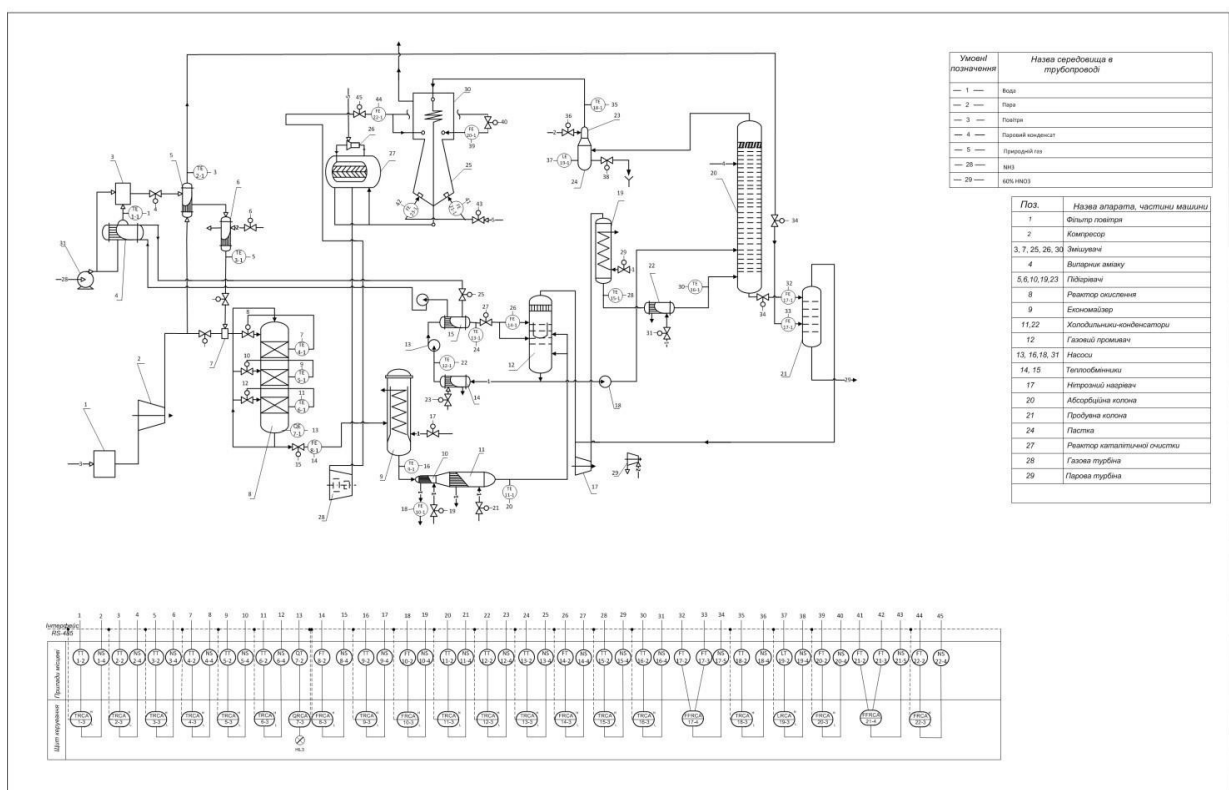


Рис.1.3. Функціональна схема автоматизації виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском.

Пристрої автоматизації у даному процесі відіграють важливу роль, адже від них значною мірою залежить те, наскільки якісно і ефективно буде працювати підприємство.

Тому можна виділити основні типи пристроїв автоматизації:

FE - вимірювачі витрати, вимірюють витрату води і повітря.

TE – вимірювачі температури.

QE – вимірювач концентрації.

LE – вимірювач рівня.

FT, LT, TT – пристрої автоматизації для передачі сигналу на відстань;

FRCA, LRCA, TRCA – пристрої для автоматичного регулювання, реєстрації та сигналізації технологічного параметру (витрати, рівня та температури);

HL – сигнальні лампочки;

NS – магнітний пускач;

KM – електромагнітне реле (контактор магнітний);

SB – кнопки вмикання/вимикання електродвигунів;

SA – кнопки відключення електромотора від фази електричної мережі.

Технологічний процес цукрового виробництва є в основному безперервно-потоким та здійснюється головним чином в безперервно діючому обладнанні,

Схема автоматичного контролю виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском включає в себе ряд контурів реєстрації, регулювання і сигналізації.

До контурів контролю входять контури контролю витрати, концентрації, рівня та температури.

Контур 1 забезпечує контроль температури на виході з випарника, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 1-1 – чутливий елемент термоелектричного перетворювача, а саме термопару; 1-2 –

вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 1-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 1-4 – магнітний пускач; 1-5 – виконавчий орган. Висновок:

Контур 2 забезпечує контроль температури повітряно-аміачної суміші на виході з підігрівача, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 2-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 2-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 2-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 1-4 – магнітний пускач; 2-5 – виконавчий орган.

Контур 3 забезпечує контроль температури повітряно-аміачної суміші на виході з підігрівача, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 3-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 3-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 3-3 – регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 1-4 – магнітний пускач; 3-5 – виконавчий орган.

Контур 4 забезпечує контроль температури повітряно-аміачної в першій полиці реактора окислення, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 4-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 4-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 4-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 4-4 – магнітний пускач; 4-5 – виконавчий орган.

Контур 5 забезпечує контроль температури повітряно-аміачної в другій полиці реактора окислення, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 5-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 5-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 5-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 5-4 – магнітний пускач; 5-5 – виконавчий орган.

Контур 6 забезпечує контроль температури повітряно-аміачної в третій полиці реактора окислення, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 6-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 6-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 6-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 6-4 – магнітний пускач; 6-5 – виконавчий орган.

Контур 7 забезпечує контроль концентрації повітряно-аміачної реакторі окислення, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 7-1 – концентратомір рідин кондуктометричний; 7-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 7-3 – регулятор температури МІК50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування.

Контур 8 забезпечує контроль витрати NO в трубопроводі після реактора окислення, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 8-1 – витратомір – діафрагма камерна; 8-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 8-3 – регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 8-4 – магнітний пускач; 8-5 – виконавчий орган.

Контур 9 забезпечує контроль температури NO в трубопроводі після охолодження в економайзері, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 9-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 9-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 9-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 9-4 – магнітний пускач; 9-5 – виконавчий орган.

Контур 10 забезпечує контроль витрати води в трубопроводі в підігрівачі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 10-1 – витратомір – діафрагма камерна; 10-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 10-3 – регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 10-4 – магнітний пускач; 10-5 – виконавчий орган.

Контур 11 забезпечує контроль температури в трубопроводі після холодильника конденсатора, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 11-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 11-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 11-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 11-4 – магнітний пускач; 11-5 – виконавчий орган.

Контур 12 забезпечує контроль температури NO<sub>2</sub> в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 12-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 12-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 12-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації,

архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 12-4 – магнітний пускач; 12-5 – виконавчий орган.

Контур 13 забезпечує контроль температури NO<sub>2</sub> в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 13-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 13-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 13-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 13-4 – магнітний пускач; 13-5 – виконавчий орган.

Контур 14 забезпечує контроль витрати води нітрозних газів в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 14-1 – витратомір – діафрагма камерна; 14-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 14-3 – регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 14-4 – магнітний пускач; 14-5 – виконавчий орган.

Контур 15 забезпечує контроль температури в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 15-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 15-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 15-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 15-4 – магнітний пускач; 15-5 – виконавчий орган.

Контур 16 забезпечує контроль температури в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 16-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме термопару; 16-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 16-3 – регулятор температури МІК-50, з функцією сигналізації, реєстрації,

архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 16-4 – магнітний пускач; 16-5 – виконавчий орган.

Контур 17 забезпечує співвідношення і контроль витрати в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 17-1 – витратомір – діафрагма камерна; 17-2 – вторинний перетворювач із сигналом 420 мА і передачею на відстань; 17-3 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 17-4 регулятор температури МК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 17-5 – магнітний пускач; 17-6 – виконавчий орган.

Контур 18 забезпечує контроль температури в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 18-1 – чутливий елемент термоелектричного [перетворювача](#), а саме терморезистор; 18-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 18-3 – регулятор температури МК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs485, передача даних на пульт керування; 18-4 – магнітний пускач; 18-5 – виконавчий орган.

Контур 19 забезпечує контроль рівня, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 19-1 – рівнемір радарний; 19-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 19-3 – регулятор температури МК-50, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування.

Контур 20 забезпечує контроль витрати в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 20-1 – витратомір – діафрагма камерна; 20-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 20-3 – регулятор температури МК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 20-4 – магнітний пускач; 20-5 – виконавчий орган.

Контур 21 забезпечує співвідношення і контроль витрати в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 21-1 – витратомір – діафрагма камерна; 21-2 – вторинний перетворювач із сигналом 420 мА і передачею на відстань; 21-3 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 21-4 регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 21-5 – магнітний пускач; 21-6 – виконавчий орган.

Контур 22 забезпечує контроль витрати в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 22-1 – витратомір – діафрагма камерна; 22-2 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 22-3 – регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 22-4 – магнітний пускач; 22-5 – виконавчий орган.

Контур 23 забезпечує співвідношення і контроль витрати в трубопроводі, оснащений технологічною реєстрацією і сигналізацією та включає: 23-1 – витратомір – діафрагма камерна; 23-2 – вторинний перетворювач із сигналом 420 мА і передачею на відстань; 23-3 – вторинний перетворювач із сигналом 4-20 мА і передачею на відстань; 23-4 регулятор температури МІК-51, з функцією сигналізації, реєстрації, архівації даних по rs-485, передача даних на пульт керування; 23-5 – магнітний пускач; 23-6 – виконавчий орган.

Пуск реактора окислення відбувається в декілька етапів: прогрів реактора окислення, розгін реактора та вихід на робочий режим. Газова суміш при температурі початку реакції входить в контактний апарат, що має кілька полиць з каталізатором. На кожній полиці реакція протікає адіабатично, причому розігрів не повинен перевищувати 10° С. Між полицями додається холодна газова суміш, що має температуру 35° С. Охолоджені на 10° С реакційні гази надходять на наступну полку. Розрахунок ведемо на число полиць кількістю 3 в

двох температурних інтервалах 160-170 і 170-180° С. Процес в контактному апараті можна уявити графічно подібно аперіодичній ланці другого порядку з деяким запізнення за рахунок каскадної конструкції шарів каталізатора в циліндричній структурі реактора. У шарах каталізатора відбувається реакція і адіабатичний розігрів газу за рахунок теплоти реакції, а в перфорованих трубках — перегрітий пар, який подається з турбін.

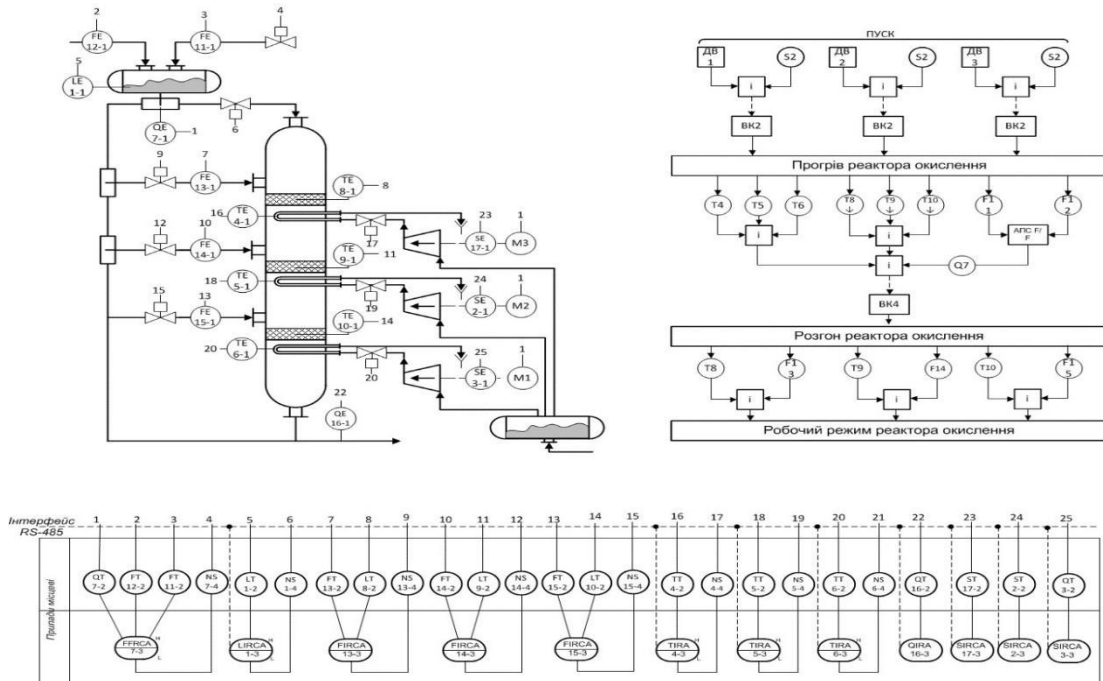


Рис.1.4. Функціональна Схема автоматизації пуску реактора окислення

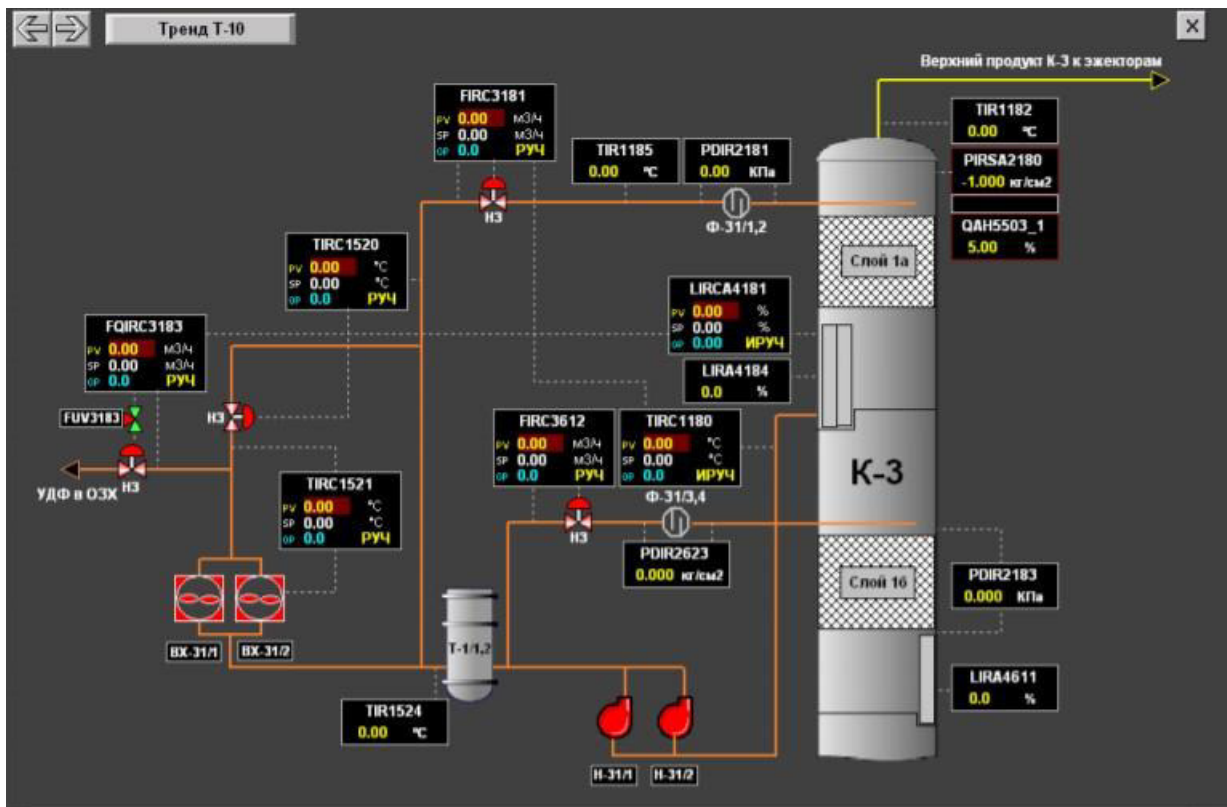


Рис. 1.5. Дисплейна мнемосхема реактора окислення в верхньому відділенні

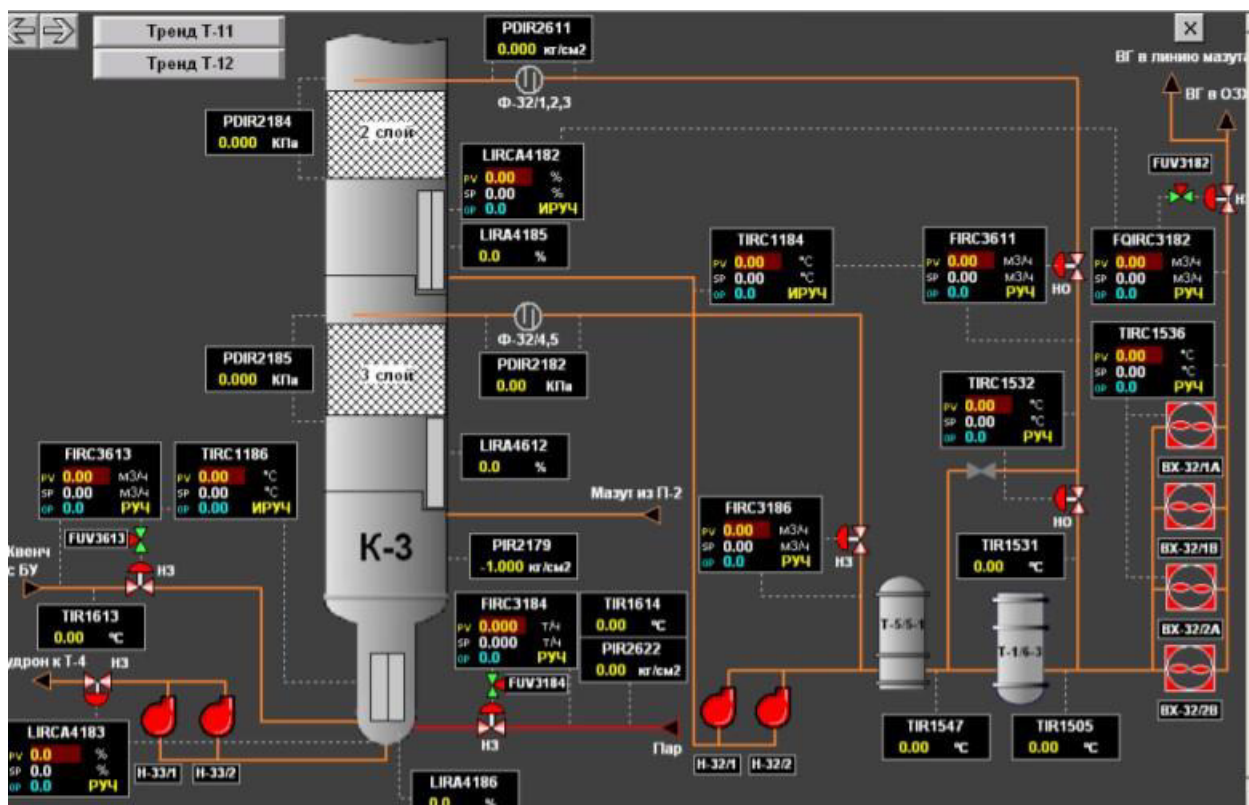


Рис. 1.6. Дисплейна мнемосхема окислення в нижньому відділенні

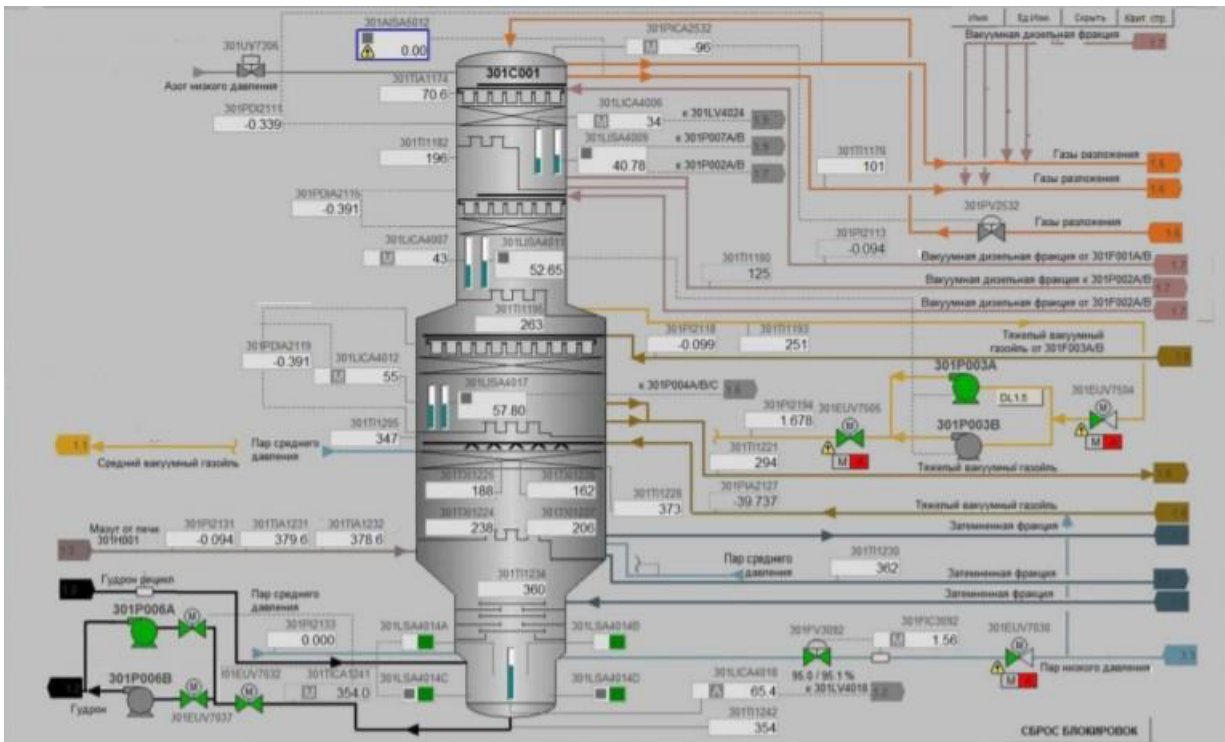


Рис. 1.7. Дисплейна схема комп'ютерно інтегрованої системи керування окислювальним реактором

Основні функції системи:

Теплообмін відбувається за принципом прямотоку, тобто прогрів відбувається перед останнім ступенем контактування. Більш повне використання теплоти реакції зі зниженням температури до кінцевої температури / (температура запалювання) проводиться в зоні першого шару. У великомасштабних виробництвах, що включають контактні апарати діаметром до 18 м, установка внутрішніх теплообмінників, що складаються з тисяч труб, значно ускладнює конструкцію і ускладнює обслуговування, зокрема зміну прогорілих труб. Тому застосовують контактні апарати, що включають 1-3 шарів каталізатора і виносні теплообмінники після кожного шару тому процес охолодження сіток каталізатору в робочому режимі не розглядаємо. Процеси, для яких значення цього параметра мало, характеризуються тим, що розігрів поверхні малий і безперервно змінюється із зміною зовнішніх умов. У разі таких процесів різницею температур між поверхнею і газом і розподілом температур по перетину контактного апарата можна знехтувати кожному перерізу контактного

апарата можна приписувати одну певну температуру, як це зазвичай і робиться в технічних розрахунках.

Розглянувши і проаналізувавши у літературі питання про розігрів контактних апаратів можна знайти в роботах Дамкелера питання оптимального пуску. Цей автор не помічає, проте, навіть того фундаментального обставини, що не завжди можливий стаціонарний тепловий режим, що відповідає протіканню реакції в кінетичній області. Він обмежується тим, що приймає розподіл температур по перетину за параболічне і обчислює максимальний розігрів в центрі. Якщо задатися малим значенням цього розігріву, то вийде вимога малих розмірів апарату або високої теплопровідності контактної маси, аналогічне нашому. Але те, що при збільшенні розмірів апарата повинен відбутися зрив режиму, стрибкоподібний перехід відразу до дуже великих значень температур в дифузійної області, залишається автору зовсім невідомим хоча саме це і спостерігається на практиці.

Перед пуском необхідно заповнити систему повітрям, включити циркуляційні компресори та відпрацювати параметри циркуляції газу, охолодження сіток тому, необхідно розігріти контактний апарат, подаючи в перфоровані трубки парогазову суміш. Потім потрібно направити повітря в змішувач по основному вводу для отримання аміако повітряної суміші. При досягненні концентрації аміаку в основному потоці газової суміші 5% газовий потік повинен переводитися на циркуляцію через основний контактний апарат з включенням необхідної подачі суміші в систему при умові що температури T8, T9, T10 мають однакове значення і не відрізняються один від одного більше ніж на 10 градусів. Температура в сітках повинна бути більше 200 °C, саме при такій температурі підпалюється каталізатор.

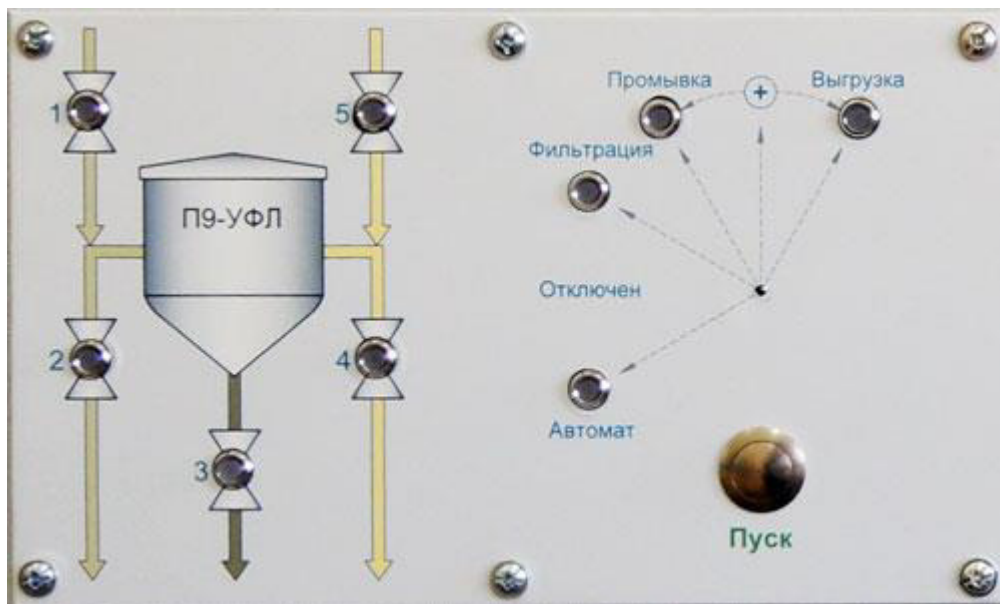
Попередню повинні бути запущені турбіни, які вийшли на робочий режим і мають встановлені оберти 10000 обр/хв, після таких умов відкриваються клапани, які контролюють процес розігріву. Система контролю температури в шарі, аналізує значення температури в шарі, і як тільки значення перевищує 200 °C відкриває клапан подачі АПС для розгону реактора, коли температура на

сітках виходить на режим 750-800 °С відкриваються байпасні потоки, які контролюють температуру в заданому робочому режимі. Встановлення в системі автоматизації контролю температури в шарах каталізатора, дозволяє пришвидшити процес пуску, за рахунок оптимального ведення процесу на етапі пуску. Це досягається плавним відкриття клапанів та врахуванням не лінійності в процесі окислення на байпасних потоках. Робочий режим спостерігається після успішного отримання значень концентрації на виході з реактора окислення.

Основні складові системи:

- щит управління з контролером Modicon M340 з портом Ethernet, об'єднаний мережею Modbus TCP з іншими станціями заводу установлений в цеху. Програми виконані в Unity 6.0.

- щит управління з розміщеними мнемосхемами реактору окислення, та пакетними перемикачами для вимикання з черги та вмикання стадій циклу кожного окремо:



- комп'ютер оператора розміщений поруч зі щитом безпосередньо в цеху

### **1.3. Аналіз інформаційного забезпечення, що обумовлює можливість застосування алгоритмів інтелектуального керування**

Основною метою та перевагами ефективного використання інтелектуальної системи управління (ІСУ) є забезпечення дотримання цілей контролю.

Вважається, що процес управління технологічно складними об'єктами (технологічними процесами, підрозділами, комплексами) відбувається в умовах невизначеності шляхом створення ієрархічної структури прийняття рішень та управлінської діяльності. Тому якість управління оцінюється на найвищому рівні, а найнижчий рівень - «об'єкт - координатор» - забезпечує фактичну вартість необхідних матеріалів та енергетичних ресурсів.

Загалом, непередбачені обставини можуть виникнути під час експлуатації об'єкта технологічно. У цьому випадку ефективність ІСУ залежить від рівня її інтелектуалізації, особливо від його здатності самоорганізуватися (адаптованість), здатності використовувати сучасні методи - бути надійними та раціональними з урахуванням прогнозів, прикладів тощо. У свою чергу, рівень інтелектуалізації визначається глибиною використовуваних даних, правилами, знаннями, інструментами технології обробки інформації та інтелектуальними розрахунками.

Розробка ІСУ для традиційних завдань автоматичного управління технологічними об'єктами включає підвищену надійність, можливість підтримувати необхідний рівень точності та надійності в нормальних та нестандартних ситуаціях експлуатації об'єктів за допомогою стандартних контролерів. Тому передбачається, що ІСУ створюється (розробляється) на основі існуючої системи автоматичного регулювання, тобто дотримується принцип "неруйнування рівня потужності", що підвищує продуктивність. Та техніко-економічні показники потужності об'єкта. Ефективним методом поглиблення інтелектуалізації ІСУ є комбіноване використання ПД- та нечітких контролерів.

Особливу роль в ієрархічних системах ІСУ вирішує проблема координації підсистем, що забезпечують узгодженість цілей підсистем і системи в цілому. При розробці ІСУ слід створити надійну базу знань, якщо це можливо, наприклад, для управління переважно нелінійними динамічними системами.

Розробка (проектування) ІСУ передбачає визначення стандартних типів забезпечення: програмного, інформаційного, технічного та організаційного, але національні стандарти, які часто відсутні, не визначені повністю. Тому створення ефективної системи управління базується на використанні певного набору інтелектуальних функцій, що стосуються науково-технічної проблеми з урахуванням вимог до експлуатації об'єкта.

Беручи до уваги можливість розробки ІСУ із самоорганізуючими властивостями, можна визначити його структурний склад:

- вимірювальна частина, включаючи інтелектуальний моніторинг умов праці об'єкта для отримання необхідної інформації у відповідній формі (обробка часових рядів, оцінка ситуації тощо);

- комп'ютерний пристрій для визначення керуючих дій на основі інформації про вимірювання з урахуванням основних алгоритмів;

- виконавча частина для здійснення контрольних дій (перетворювачі, виконавчі механізми тощо);

- система ідентифікації об'єктної моделі та зовнішнього середовища;

- інтелектуальна підсистема для синтезу законів управління та параметрів регулятора з урахуванням моделей будівлі та зовнішнього середовища;

- блок формування мети управління з урахуванням самодіагностики та виробничих ситуацій.

Варіанти структури ІСУ можуть суттєво відрізнятися залежно від типу об'єкта, умов його експлуатації, глибини інтелектуалізації та інших показників.

Міжнародний стандарт SysML (моделювання систем) - це об'єктно-орієнтована мова моделювання систем. Підтримує визначення, аналіз, проектування, перевірку та перевірку широкого спектра систем. Спочатку SysML був розроблений як частина проекту специфікації з відкритим кодом і має відкриту ліцензію на розповсюдження та використання. Як мова SysML є розширенням мовної частини UML.

У порівнянні з UML, орієнтованим на моделювання програмного забезпечення, SysML пропонує системному інженеру додаткові можливості:

- більша гнучкість та виразність. SysML усуває програмні обмеження UML, вводячи два додаткові типи діаграм: діаграми вимог та діаграми параметрів. Перший - це, очевидно, збір вимог, а другий - кількісна оцінка та аналіз результатів діяльності. Як результат, можна моделювати найрізноманітніші системи, які можуть включати обладнання, програмне забезпечення, інформацію, процеси, персонал та виробництво.

- SysML - це більш компактна мова, яку легше вивчати та впроваджувати, оскільки вона не має багатьох функцій програмного забезпечення UML;

- таблиці розподілу SysML підтримують поширені типи розподілу. Хоча UML надає лише обмежену підтримку;

- конструкції управління мовою моделей підтримують моделі, уявлення (англ. Views) та точки зору (англ. Viewpoints). Ці конструкції розширюють можливості UML і архітектурно відповідають IEEE-Std-1471-2000 (IEEE рекомендує практику архітектурного опису програм, завантажених програмним забезпеченням);

SysML визначає такі діаграми:

Структурні діаграми:

- Діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram – BDD), що замінює діаграму класів UML2;

- Внутрішня блокова діаграма або діаграма внутрішньої структури (Internal Block Diagram – IBD), що замінює діаграму композитних структур UML2;

- Параметрична діаграма (Parametric Diagram), розширення SysML для аналізу критичних параметрів системи;

- Діаграма пакетів (Package Diagram) залишається незмінною;

- Динамічні діаграми:

- Діаграма активності (Activity diagram) була злегка змінена в SysML;

- Діаграми послідовності, діаграми стану та випадків використання (sequence, state chart, and use case diagrams) залишаються незмінними;

- Діаграми вимог (Requirements diagrams) – це розширення SysML.

#### **1.4. Концептуальна схема системи інтелектуальної обробки даних**

У сучасному світі інформаційних технологій постійно зростає інтерес до методів інтелектуальної обробки даних. Такі тенденції пов'язуються із зростанням обсягом інформації внаслідок зберігання і інтеграції сховищ даних, а також із зростанням попиту на інформаційні послуги. Ці фактори проявляються як на рівні корпоративних інформаційних систем у галузі точних наук, статистика, економіка, прогнозування тощо.

Ефективність сучасного промислового підприємства в інформаційному суспільстві залежить від швидкості та якості задоволення потреб у службовій інформації кожного працівника. Сховища інформації корпоративних інформаційних систем можуть досягати величезних розмірів всередині компанії. Її інтеграція утруднена через неоднозначність використовуваної термінології, специфічної структури компонентів зберігання інформації, різні рівні компетенції працівників підприємства [28].

Інтелектуальний аналіз даних (ІАД) - це процес виявлення закономірностей та тенденцій, які допомагають обробляти інформацію та приймати рішення. Принципи інтелектуального аналізу даних відомі вже багато років, але вони набувають все більшого поширення у міру появи більше інформації. Оскільки інформація стає все більш різноманітною за своїм характером та змістом, великі обсяги інформації різко збільшили поширеність більш широких методів ІАД. Робота з великими наборами даних вже не є відносно простою та зрозумілою статистикою. Бізнес-вимоги призвели до більш складного ІАД, ніж простий пошук даних та статистичний аналіз. Для вирішення бізнес-проблеми необхідно проаналізувати інформацію, що дозволяє створити модель, що описує інформацію, що в підсумку призводить до створення кінцевого звіту. Цей процес показано на рис. 1.15.



Рис. 1.8. Процес інтелектуального аналізу даних

Процес ІАД, дослідження, вилучення та моделювання даних часто повторюється, оскільки потрібно знайти та визначити різноманітну інформацію, яку можна витягти. Необхідне розуміння, як зв'язувати, конвертувати та комбінувати їх з іншими даними, щоб отримати результат. Після виявлення нових елементів та аспектів даних підхід до ідентифікації джерел та форматів даних, а потім порівняння цієї інформації з даним результатом може змінитися [29].

Інтелектуальний аналіз даних - це не лише інструменти та програмне забезпечення баз даних. ІАД можна здійснити за допомогою відносно слабких систем баз даних та простих інструментів, включаючи створення власних або використання готових програмних пакетів. Складний аналіз даних базується на досвіді та алгоритмах, визначених існуючим програмним забезпеченням та пакетами, з різноманітними методами в поєднанні з різноманітними спеціалізованими інструментами. Наприклад, IBM SPSS дозволяє створювати ефективні моделі прогнозування на основі минулих тенденцій та надавати точні прогнози. IBM InfoSphere Warehouse забезпечує пошук джерел даних, попередню обробку та вилучення в одному пакеті, що дозволяє витягувати інформацію з вихідної бази даних безпосередньо в остаточний звіт. Кластерна великомасштабна обробка даних дозволяє всебічно узагальнити результати групового аналізу даних та порівняння даних. Сьогодні доступний цілий новий спектр інструментів та систем, включаючи комбіновані системи зберігання та обробки даних. Кластеризовані бази даних, такі як Hadoop, Cassandra, CouchDB та Couchbase Server, зберігають дані та отримують доступ до них способами, які не відповідають традиційній структурі таблиці. Зокрема, більш гнучкий формат

зберігання бази даних документів дає новий напрямок та ускладнює обробку інформації. Бази даних SQL суворо регламентують структуру і суворо дотримуються схеми, що спрощує запити та аналіз даних із відомим форматом і структурою. Базами даних документів, що відповідають стандартній структурі JSON, або файлами з машиночитаною структурою також легко керувати, хоча вони можуть бути ускладнені різноманітною та змінною структурою [30].

В останні десятиліття автоматизовані інформаційні системи інтенсивно розробляються, зокрема в таких сферах, як мережеві технології Інтернету, методи зберігання та презентації знань, мови та засоби програмування, методи штучного інтелекту, алгоритми розподілених та хмарних обчислень тощо.

Науково-технічний прогрес у галузі штучного інтелекту вплинув на формування нових та трансформацію старих класів інформаційних систем - інтелектуальних інформаційних систем, систем інтелектуального аналізу даних, експертних систем, комп'ютерних систем. Підтримка прийняття рішень тощо. На жаль, в більшості випадків усі сучасні засоби є самостійними, частково вирішують значні проблеми або підпорядковуються класу систем. Однак рівень їх автоматизації дозволяє зробити висновок про можливість розробки "суперсистеми", яка у своєму складі інтегрує всі найдосконаліші засоби (підходи, методи, моделі, алгоритми, технології) у вигляді інтелектуального зберігання даних. знання та автоматизація інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень.

Підвищення ефективності використання електронно накопиченої інформації (бази даних, сховища, бази знань тощо) Інтеграція та уніфікація форматів сховищ та процедур обробки призвела до розвитку веб-технологій, заснованих на методах видобутку даних. Тому ідея створення інтегрованої веб-системи для інтелектуального зберігання знань та автоматизації процесу інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень стає актуальною [31].

Специфіка інтелектуальної системи обробки даних залишає значний слід у методології та технології її розробки. Технологія створення інтелектуальної

системи обробки даних має свої основні характеристики і відрізняється від процесу проектування та розробки інших комп'ютерних систем та програмного забезпечення. Ці відмінності значною мірою визначаються тим фактом, що інтелектуальні системи обробки даних - це інтелектуальні інформаційні системи, засновані на ідеях, принципах і методах штучного інтелекту. Для їх реалізації такі системи вимагають спеціалізованих підходів, методів і технологій, які сильно відрізняються від звичайних методів розробки програмного забезпечення. Однак зростаючий інтерес до штучного інтелекту сприяє ширшому розгортанню та застосуванню інтелектуальних систем у різних додатках. Розвиток систем штучного інтелекту (системи, орієнтовані на експертів, видобуток даних, переклад, системи машинного зору тощо) поступово виходить на промисловий рівень і набуває характеристик галузі. Як результат, ці системи мають ті самі вимоги, що і традиційні програмні продукти [32].

Особливістю обробки інтелектуальної інформації є те, що розробка та впровадження інтелектуальних інформаційних систем - це тривалий і складний процес, який ще не повністю розроблений і часто вимагає нових ідей та рішень, а також вимагає використання нових підходів, методів, технологій та інструментів. Тому ефективність та якість системи, що формується, значною мірою визначається талантом та досвідом її розробників. Крім того, проблема впровадження також пов'язана з вибором правильних інструментів розробки, що є особливо складним завданням. Сучасні аналітичні інформаційні системи опановують характеристики та функціональність програмних систем, заснованих на алгоритмах видобутку даних, експертних системах, системах штучного інтелекту та машинному навчанні.

Представимо такі ключові характеристики системи обробки інформації, яку експерти визначають як інструмент прийняття рішень:

- здатність вирішувати різні проблеми в деяких сферах неформальних проблем;
- здатність вчитися на даних і подавати їх у формі формалізованих моделей знань;

- моделювання механізмів інтелектуальної діяльності людини; - застосування знань з теми;

- використання евристичних методів вирішення проблем;
- здатність інтерпретувати рішення; - висока продуктивність та ін.

Платформа ІАД включає такі функції:

- забезпечує робочу область (автентифікація та авторизація, інструменти завантаження та редагування файлів);

- розробка готових аналітичних підсистем та алгоритмічних бібліотек, включаючи: класифікацію, агрегування, дерева і дерева рішень, нейронні мережі, генетичні алгоритми, статистичні алгоритми тощо;

- інструменти для створення автоматизованих спільних рішень на основі алгоритмів;

- інструменти для аналізу ефективності навчання на основі даних;
- імпорт/експорт вхідних даних та результати навчання;
- опис результатів випробувань.

Стратегічний план включає можливість розширення функцій користувача та налаштування окремих розділів бібліотеки алгоритмів.

- редактор для складання нових алгоритмів на основі металевої мови;  
- можливість представити алгоритм широкому загалу;  
- здатність створювати альтернативи за допомогою аналітичних алгоритмів;

- інтеграція з бізнес-операціями замовника/клієнта (після завершення аналізу або навчання сервер автоматично надсилає персоналізовані дані на сервер користувача, забезпечуючи, таким чином, автоматичний введення даних в систему користувача);

- робота сервера (автоматичний введення даних в інтелектуальні системи обробки даних).

Інтелектуальна система обробки даних - це складне програмне та апаратне забезпечення, яке можна налаштувати, використовуючи різні класи розпізнавання, мови та формати даних та знань, пристрій синтезу та аналізу

подання моделей. Комплекс поєднує в собі високопродуктивне обладнання (включаючи потужні комп'ютерні сервери, пам'ять на диску) та ефективне програмне забезпечення, розроблене для вирішення широкого спектру інтелектуального аналізу даних та дозволяє налаштувати та розширити відповідальні функції.

Інтелектуальна система обробки даних характеризується наступними особливостями:

- доступ до системи забезпечується через Інтернет. Це дозволяє використовувати більшість функціональних можливостей системи через інтерфейс веб-браузера, попрацювати над конфіденційною інформацією, система забезпечує шифрування переданих та збережених даних (а саме для доступу можна використовувати протокол HTTPS);

- більшість послуг та системних ресурсів надаються лише зареєстрованим користувачам. Деякі ресурси системи, як певні довідкові документи, не є відкритими для громадськості та не вимагають використання реєстрації.

- зареєстровані користувачі можуть отримати доступ до повного спектру послуг та системних ресурсів. Усі послуги та ресурси, що надаються, а також якісні та кількісні характеристики та межі послуг визначаються в системі відповідно до статусу користувача і з часом можуть зростати відповідно до його потреб та обов'язків;

- робота в рамках системи здійснюється відповідно до концепції "проекти". Для вирішення своїх проблем користувач використовує системну програму для організації (створення) одного або декількох проектів. Для кожного проекту користувач може найняти та використовувати послуги та ресурси, необхідні для виконання відповідних завдань (в рамках існуючих обмежень). Автор (власник) проекту може надати доступ до проекту іншим користувачам або їх групам, а при необхідності надати кожному користувачеві або групі набір прав, що визначають можливості та операції, які існують під час роботи над цим проектом.

- розумна система управління даними надає програмний інтерфейс, що дозволяє стороннім програмам та веб-сайтам взаємодіяти з системою через HTTP та використовувати її ресурси відповідно до конкретних функцій;

- користувачі, які потребують більшої безпеки та/або які з якихось причин не хочуть або не можуть передавати та зберігати свої дані в цій системі, мають можливість отримувати та встановлювати свої комп'ютери Спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє офлайн (без підключення до мережі) використовувати основні функції інтелектуальної системи обробки даних та здійснювати звітування даних та огляд дому. За наявності підключення до Інтернету використання клієнтом за потреби та під контролем користувача може здійснити повну або часткову інтеграцію планів та системи;

- система розширюється відповідно до підтримуваних функцій і, як така, адаптується до різних груп завдань. Система включає програмні засоби та програмне забезпечення (API), які дозволяють своїм користувачам додавати нові функції та модулі та робити їх доступними для інших користувачів.

Основні функції інтелектуальної системи обробки даних [33]:

- система пропонує інструменти для вирішення проблем у таких сферах: статистична обробка даних (кореляційний та регресійний аналіз, дисперсійний аналіз тощо), розпізнавання зразків (класифікація з навчанням), кластеризація (класифікація без навчання), ідентифікація (виявлення впізнаваних характеристик досліджуваних об'єктів), прогнозування (визначення тенденцій розвитку процесів), вилучення знань з даних (аналіз даних) та текстів (обробка тексту). Завдяки відкритій архітектурі та API системи набір підтримуваних класів завдань можна легко доповнити, включаючи використання сторонніх модулів;

- система підтримує імпорт даних з різних джерел, включаючи текстові файли у форматі CSV, XML та HTML, електронні таблиці в Excel та OpenDocument, реляційні бази даних, а також із додатків та веб-служб, таких як електронні таблиці Google, база даних Zoho Creator. Крім того, дані можна вводити, змінювати та редагувати довільно через системний інтерфейс. Дані та

результати можна експортувати у файли різних форматів, включаючи CSV, XML, HTML, PDF, RTF, Excel, JPEG, PNG. На додаток до вищезазначеного, інші перетворювачі імпорту/експорту можуть бути інтегровані в систему, забезпечуючи роботу з певними форматами та джерелами даних;

- система містить інструменти, які надають можливості для візуалізації та графічного представлення вихідних даних і результатів їх обробки в різних формах, в тому числі у вигляді графіків і діаграм, а також для створення різних звітів, які можуть бути опубліковані в системі. або експортовані для подальшого використання поза системою;

- система включає інтерактивні керівництва, довідники та тестові модулі по темі інтелектуальної обробки даних, покликані навчити користувачів ефективно вирішувати актуальні системні проблеми, а також розширити їх знання про моделі і методах обробки даних. Крім того, система надає можливості для організації на основі електронних навчальних курсів і автоматичних тестів знань з різних галузей.

Інтелектуальна система управління даними - це програмний пакет, який дозволяє автоматизувати процес управління в цілому. Проектні рішення у розробці інтелектуального зберігання знань та автоматизації процесів інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень разом із технологіями інтелектуального аналізу даних, методами штучного інтелекту, моделями подання інформації, електронними базами даних у різних предметних областях служать інструментом підвищення ефективності досліджень, інновацій, також у промисловості тощо.

### **1.5. Постановка задачі дослідження**

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесів реактора на азотних підприємствах шляхом створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень відносно зміни режимів функціонування обладнання та суміжних відділень.

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

– провести аналіз технологічного процесу окиснення, проаналізувати існуючі системи автоматизації;

– проаналізувати інформаційне забезпечення, що сприяє можливості використання інтелектуальної системи, схеми систем інтелектуального аналізу даних;

– розробити підсистему управління процесом окиснення в реакторі підприємство, описати функції що інтелектуалізуються;

– розробка діаграми варіантів застосування методів формування керувальних дій та оцінка дій осіб що є відповідальними, за прийняття рішень;

– розробка діаграми вимог для режимів роботи реактора окиснення;

– розробка діаграми для забезпечення розробки інтелектуальної системи прийняття рішень;

– розробка програмного забезпечення для процесу окиснення;

– побудова структури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНИХ РІШЕНЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

#### **2.1. Розробка підсистеми управління процесом окислення суміші в реакторі**

Для узгодженої роботи системи керування необхідно, щоб технічні засоби автоматизації (ТЗА) відповідали певним критеріям (узгодженість між сигналами вхід/вихід, діапазони вимірювання т.д.).

Перед вибором будь-якого елемента необхідно впевнитись, що він пристосований до умов роботи (температура, витрата та ін.).

Для первинного вимірювального пристрою необхідно, щоб діапазон вимірювання зазначений у паспорті приладу відповідав робочому діапазону вимірюваної величини. Необхідно зважати на вихідні сигнали, які видає даний ТЗА (тип, клас і величина).

Враховуючи величину асортименту в переважній більшості випадків є можливість підібрати необхідний ТЗА, проте існує ряд випадків коли неможливо обійтись без нормуючого або перетворюючого пристрою. В результаті перед вторинним показуючим приладом, найчастіше мікропроцесорним, за необхідністю, додається нормуючий перетворювач. Якщо після вторинного приладу стоїть регулятор (найчастіше дискретний), його вибирають у відповідності до об'єкту, закону керування, необхідних характеристик систем і економічних показників. Вихідний сигнал з регулятора направляють до виконавчого механізму. В залежності від потужності та типу виконавчого механізму, додатково на його вході, після регулятора, за необхідністю, встановлюють або підсилювач, або перетворювач, або їх комбінацію.

Зважаючи на всі вимоги до створення схем автоматизації було відповідно підібрано найбільш використовувані в сфері автоматизації та сучасні технічні засоби автоматизації.

Схема автоматизації процесу виробництва азотної кислоти включає системи технологічного контролю за технологічними параметрами, системи автоматичного регулювання технологічних параметрів, системи технологічної

сигналізації та захисту, системи дистанційного керування виконавчими механізмами, систему контролю наявності ризиків. Призначення системи автоматичного регулювання полягає в забезпеченні стабілізації якості виробництва азотної кислоти й зниження витрати вихідних реагентів при заданій продуктивності. Інакше кажучи, ця система призначена для підтримки параметрів в різних апаратах процесу.

У процесі виробництва азотної кислоти вкрай необхідно, забезпечувати автоматичний контроль технологічних параметрів таких як: тиск, температура, витрата і концентрація на різних стадіях проходження процесу.

Контроль потрібно забезпечувати з метою отримання продукту необхідної якості, контрольовані параметри обов'язково повинні бути в межах встановленого технологічного регламенту процесу.

Враховуючи особливості технологічного процесу виробництва азотної кислоти слід забезпечити автоматичний контроль таких параметрів:

- Рівень рН (контур 7) , буйкового рівнеміра УБ-ПВ(4-1), електричний блок з формування вихідного сигналу ІТМ 11(4-2), ПІД-регулятор багатфункціональний мікропроцесорний МІК-21(4-3).
- Температура (контур 8), термоперетворювач ТХАУ–0289 (8-1), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу ДИСК-250 (8-2).
- Витрата (контур 9), діафрагма камерна ДКС2,5-100 (11-1), тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення Сапфір 22ДД 2450 (11-2) , автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (11-3).
- Рівень рН розчину (контур 14), аналізатор рідини кондуктометричний, реєструвальний АЖК-3101К (12-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (12-2).
- Температура (контур 11) термоперетворювач ТХАУ–0289 (15-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (15-2).

Промивний фільтрат, поступаючи в середину рамки, скидає осад. Тривалість промивки задається часом регенерації фільтра.

По закінченню регенерації фільтр переходить в режим відстоювання. Після чого цикл фільтрування починається наново.

Для того, щоб підтримувати задане технологічному регламенті значення параметрів для процесу було розроблено контури для регулювання таких технологічних параметрів:

- Тиск (контур 1) за допомогою вимірювального перетворювача SITRANS P420 (1-1), пневмоелектричного перетворювача P310(1-2), вторинного показувального і реєструвального приладу P 320(1-3), пневматичного показувального вторинного приладу з стацією керування P DS III (1-4).
- Температура (контур 4) за допомогою термоперетворювача ТХАУ–0289 (2-1), автоматичного показувального і реєструвального вторинного приладу ДИСК-250 (2-2), ПІД-регулятора багатofункціонального мікропроцесорного МІК-21(2-3).
- Витрата (контур 6), діафрагма камерна ДКС2,5-100 (3-1), тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення Сапфір 22ДД 2450 (3-2), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (3-3), ПІД-регулятор багатofункціональний мікропроцесорний МІК-21 (3-4).
- Контроль рН потоку суміші (контур 9), проточний блок для вимірювання рН рНD SC Siemens (5-1), аналізатор рідини кондуктометричний, реєструвальний АЖК-3101К (5-2), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (5-3), ПІД-регулятор багатofункціональний мікропроцесорний МІК-21 (5-4).
- Витрата (контур 10), діафрагма камерна ДКС2,5-100 (6-1), тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення Сапфір 22ДД 2450 (6-2), автоматичний показувальний і реєструвальний

вторинний прилад ДИСК-250 (6-3), ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний МІК-21 (6-4).

- Температура (контур 11), термоперетворювач ТХАУ-0289 (7-1), автоматичний показувальний і реєструвальний SIEMENS RDJ100 (7-2), ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний МІК-21 (7-3).
- Витрата (контур 15), діафрагма камерна Siemens 7ME6920-1AA30-1AA0 (9-1), тензоперетворювач різниці тиску з квадратичною функцією перетворення Сапфір 22ДД 2450 (9-2), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад ДИСК-250 (9-3), ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний МІК-21 (9-4).
- Температура (контур 17), термоперетворювач SITRANS TF (10-1), автоматичний показувальний і реєструвальний ДИСК-250 (10-2), ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний МІК-21 (10-3).
- Температура (контур 21), термоперетворювач SITRANS TW 7NG3242 (13-1), автоматичний показувальний і реєструвальний ДИСК-250 (13-2), ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний МІК-21 (13-3).

Тиск (контур 3) за допомогою вимірювального перетворювача Сапфір 22ДД (14-1), пневмоелектричного перетворювача ППЭ-ДУ(14-2), вторинного показувального і реєструвального приладу КП-140Е(14-3), пневматичного показувального вторинного приладу з стацією керування ФК0071(14-4).

Автоматизована система управління передбачає два типу режиму управління.

Автоматичний режим роботи, за обраною програмою. Алгоритм роботи системи передбачає виконання наступних операцій:

- повернення мутного осаду з фільтру і режиму фільтрування на всіх фільтрах станції включених в роботу;

- операцію регенерації фільтра або регенерацію та зброс тільки одного фільтру з циклічним обслуговуванням включених в роботу фільтрів в порядку зростання їх номерів.

Ручний режим роботи, за даним режимом оператор може управляти дистанційно заслонками фільтрів, виконуючи наступні операції:

- повернення;
- фільтрація;
- регенерація;
- регенерація;
- зброс.

Сигналізація, блокування і захист являються надзвичайно важливими елементами а схемі автоматизації, адже захищають обладнання від поломок внаслідок збоїв у процесі виробництва продукції, а також повідомляють оператору про відхилення від технологічного регламенту параметрів, які впливають на якість продукції, що випускається, тому цим системам (сигналізації, блокування і захисту) варто приділити значну увагу.

Блокування та сигналізація можуть спрацьовувати в декількох випадках:

- Падіння тиску в трубопроводі(HL1, HL9).
- Відхилення витрати сировини за максимальне значення (HL3, HL5, HL6).
- Відхилення температури за максимальне значення (HL2, HL7, HL8, HL7, HL8).
- Відхилення значення концентрації за максимальне значення (HL4)
- Увімкнення та вимкнення двигунів(HL10-HL15).

Падіння тиску в насосах (HL16-HL21)

Автоматизована система управління реакторами періодичної дії повинна бути однорівневою, відноситись до нижнього ієрархічного рівня АСУ ТК. Система складається з технічних засобів автоматизації, промислового логічного контролера (ПЛК), персонального комп'ютера (ПК), що може мати інтерфейсний зв'язок із сервером та диспетчерсько-координуючою станцією підприємства.

Для дистанційного запуску електродвигунів насосів використовуються магнітні пускачі МП1-МП3, які керуються з щита керування кнопками SB1, SB3, SB5 - для увімкнення та SB2, SB4, SB6 - для вимкнення. Сигнальні лампи HL10, HL12, HL14 - є індикаторами увімкнення та HL11, HL13, HL15 - вимкнення двигуна. SA1-SA3 - кнопки запобіжного відключення, які знаходяться на двигуні. Дистанційному керуванню підлягають:

- двигун відцентрового насоса M1 (SB1, SB2);
- двигун відцентрового насоса M2 (SB3, SB4);
- двигун відцентрового насоса M3 (SB5, SB6);

Система управління повинна передбачати контроль роботи складових елементів – датчиків, функціональних частин мікропроцесорних пристроїв, виконавчих механізмів.

Система повинна функціонувати як в автоматичному, так і в дистанційному режимах роботи.

Система управління повинна адаптуватись до поточної технологічної ситуації на заводі. Якість реалізації функцій АСУ визначається точністю, швидкодією, надійністю. Швидкодія системи визначається часом вироблення управляючої дії, який не повинен перевищувати 5 с.

До автоматизованої системи управління (АСУ) ділянкою окислення поставлені наступні вимоги:

- швидка та якісна передача даних по мережі;
- забезпечення необхідної якості управління технологічними процесами з використанням мікропроцесорних контролерів;
- супервізорний контроль та управління проходження технологічного процесу за допомогою дисплейних мнемосхем (SCADA - програми);
- забезпечення необхідним програмним забезпеченням.

Умови експлуатації системи автоматизації – режим кругло добовий, сезонний.

Основні параметри:

- температура навколишнього повітря – від +10 до +40 °С;
- відносна вологість – від 40 до 87 %;
- гранично допустима відносна вологість – не більше 90 %;
- атмосферний тиск – від 620 до 800 мм рт. ст.;
- запиленість повітря в приміщенні не повинна перевищувати 0,70 мг/м<sup>3</sup>

при розмірах частинок не більше 3 мкм;

- повітря робочої зони не повинно містити шкідливі та агресивні гази та пари в концентраціях, перевищуючих гранично-допустимі норми.

Розробка завдання на автоматизацію процесу виробництва азотної кислоти наведена у табл. 2.1.

Ефективне та оперативне автоматизоване управління технологічним процесом виробництва кислоти забезпечить якісний контроль та регулювання над основними технологічними параметрами даного процесу забезпечить значне зменшення втрат сировини та електроенергії.

Таблиця 2.1. Розробка завдання на автоматизацію

№ Конт.	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1.	Трубопровід повітря (на вході до фільтра)	Тиск	0,41 МПа ±5%	Контроль, регулювання
2.	Трубопровід повітря (після першого ступеня турбокомпресора)	Тиск	0,64 МПа ±5%	Контроль, регулювання
3.	Трубопровід повітря (після	Тиск	0,761 МПа ±3%	Контроль

	другого ступеня турбокомпресора)			
4.	Трубопровід повітря (після підігрівача)	Температура	327К ±3%	Контроль
5.	Трубопровід аміаку (після підігрівача)	Температура	467 К ±12%	Контроль, регулювання
6.	Трубопровід на виході з змішувача	pH	0,4 ±12%	Контроль
7.	Трубопровід на виході з контактного апарату	pH	0,35 ±6%	Контроль
8.	Трубопровід на виході окиснювача	Температура	327К ±3%	Контроль
9.	Трубопровід на виході окиснювача	pH	0,3 ±6%	Контроль
10.	Трубопровід на виході підігрівача повітря	Температура	312К ±3%	Контроль
11.	Трубопровід на виході підігрівача відкидних газів	Температура	297К ±3%	Контроль
12.	Трубопровід на виході холодильника-конденсатора	pH	0,3 ±6%	Контроль
13.	Трубопровід на виході сепаратора	pH	0,3 ±6%	Контроль
14.	Трубопровід на виході установки	pH	0,26 ±6%	Контроль

При розробці математичних моделей хіміко-технологічних процесів експериментально-аналітичним методом необхідно встановити чисельні константи, від яких залежить швидкість хімічних реакцій, і термодинамічні характеристики останніх. Оскільки для процесу окислення такі данні, що відносяться до технології виробництва азотної кислоти, відсутні в довідковій літературі, розробці математичної моделі передувало експериментальне визначення зазначених характеристик.

Об'єктом моделювання є процес безперервного окислення за технологією виробництва азотної кислоти.

Вивчення механізму хімічних взаємодій, супроводжуваних процесом окиснення сировини у виробництві азотної кислоти, - важливе і складне завдання. Разом з тим, для ефективного вирішення таких технічних питань, як проектування технологічних процесів і розробка автоматичних систем управління ними, необхідно мати дані про феноменологічну спостерігаючу кінетику.

При окисненні аміаку в залежності від умов проведення процесу можуть бути отримані різні продукти - оксид азоту (II) NO, оксид азоту (I) N<sub>2</sub>O або елементарний азот. Для отримання азотної кислоти необхідно при окислення отримати оксид азоту, для цього застосовують платиновий каталізатор.

У реактор подавали розраховану кількість суміші аміаку (NH<sub>3</sub>) і повітря (O<sub>2</sub>). Після досягнення заданої температури підпалу каталізатора платинового типу подавали вхідну аміачно-повітряну суміш. З метою отримання ізотермічного режиму процесу температуру вхідної суміші підтримували на 1012°C нижче, ніж в реакторі, для компенсації теплового ефекту реакції нейтралізації.

В процесі моделювання визначили, що велика швидкість протікання процесу не дозволяє з допустимою похибкою оцінити зміну концентрації азоту при періодичному вимірюванні на виході. Найбільш вірогідною прохід процесу можна було судити по відносній зміні концентрації азоту в реакційній суміші. Змодельовані досліди при різних швидкостях реакції показали, що при  $n = 13001600$  хв<sup>-1</sup> швидкість витрати каталізатора на окислення при інших рівних умовах практично не змінюється.

Перша серія з чотирьох дослідів була проведена при  $T = 973$  К. Отримані експериментальні криві з погрешністю, що не перевищує 3%, апроксимуються експоненційною залежністю виду

$$X(t) = \frac{c - c_0}{c - c_{\infty}} = \exp(-kt) \quad (3.1)$$

де  $X(t)$  - відносний вміст NO в реакційній суміші в момент часу  $t$ ;  $C$  - концентрація NO в реакційній суміші, % (мас.);  $C_0$  - початкова концентрація NO

(відновлена по лінії зміни електропровідності в логарифмічних координатах), % (мас.);  $k$  - константа швидкості процесу,  $\text{с}^{-1}$ .

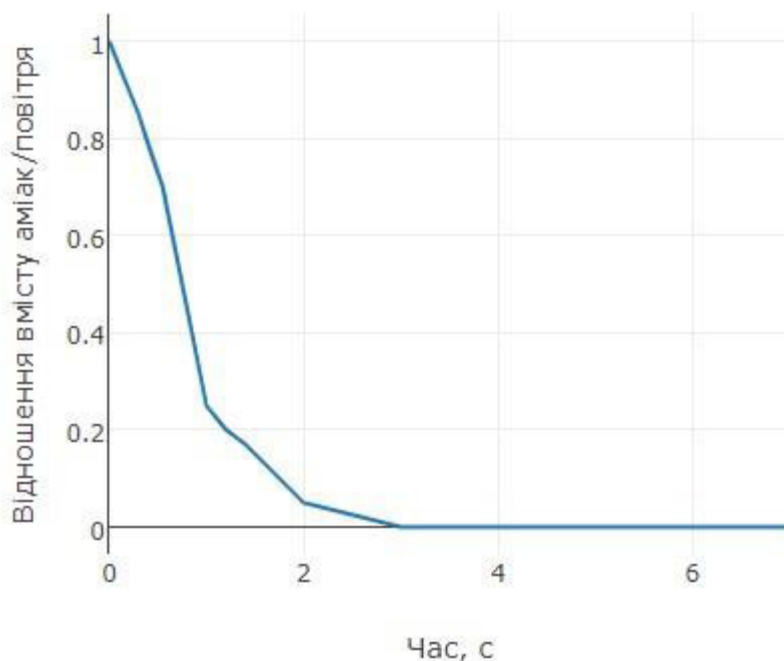


Рис.2.1 Кінетичні залежності процесу окислення за технологією виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском

Для середнього з отриманих в чотирьох дослідях значень (0,60; 0,65; 0,62; 0,63) константи швидкості  $k_{\text{ср}} = 0,62 \text{ с}^{-1}$  на рис. 3. 1 представлена кінетична крива 1. З рівняння (3. 1) очевидно, що швидкість процесу описується диференціальним рівнянням першого порядку:

$$\omega = dX/dt = -kX, X(0) = 1 \quad (3.2)$$

При визначенні температурної залежності швидкості реакції виявилось, що отримання кінетичних-кривих у всьому діапазоні робочих температур (973-1073 K) важко через сильне зростання швидкості процесу при температурах вище 993- 1013 K. Тому були проведені дві серії дослідів при 993 і 1013 K. Отримані експериментальні криві з похибкою, що не перевищує 3,5%, апроксимувати залежністю виду (2.1): при 1013 K з чотирьох дослідів (1,23; 1,00; 1,13; 0,89)  $-k_{\text{ср}} = 1,06 \text{ с}^{-1}$  (крива 2), а при 1033 K з п'яти дослідів (1,56; 1,56; 1,76; 1,97; 1,83)  $-k_{\text{ср}} = 1,74 \text{ с}^{-1}$  (крива 3).

За середнім значенням константи швидкості при 993 і 1013 K з рівняння Арреніуса розраховані енергія активації і предекспоненціальний множник:

$E = 172442$  Дж/моль,  $k_0 = e^{59,30} \text{ c}^{-1}$ . Для температур 993 і 1033 К величина  $E = 175131,5$  Дж/моль,  $k_0 = e^{60,24} \text{ c}^{-1}$ .

Усреднюючи ці константи, отримаємо:  $E = 173414,9$  Дж/моль,  $k_0 = e^{59,65} \text{ c}^{-1}$ .

Щоб визначити вплив початкової концентрації реагентів в реакційній суміші на швидкість процесу (в області реальних значень для виробництва азотної кислоти), були проведені при 973 К три досліди для  $C_0 = 0,30$  і  $C_0 = 0,40$  моль/л. Отримані середні значення константи швидкості (для першої початкової концентрації  $k_0 = 0,60 \text{ c}^{-1}$ , для другої  $k_0 = 0,61 \text{ c}^{-1}$ ) не суттєво відрізняються від раніше наведеного для  $C_0 = 0,35$  моль/л.

Додатково змодельовані експерименти для окислення аміаку з концентрацією 9 і 11% показали, що вплив цих факторів на швидкість процесу вельми несуттєвий.

Отримані результати дозволяють розглядати процес окислення як незворотній процес першого порядку і прийняти в якості формального виразу для константи швидкості процесу окислення у виробництві азотної кислоти рівняння:

$$k = \exp [59,65 - 173414,9/(RT)] \quad (3.3)$$

Окислення аміаку повітря відноситься до екзотермічного процесу.

Відомі літературні дані про тепловиділення при окисненні аміаку і їх похідних [11, 13] (54010-58615 Дж / моль) мають відносно великі розбіжності, що не дозволяє використовувати їх при складанні математичної моделі процесу, так як це може призвести до істотних погрешностей і неадекватності математичного опису об'єкту дослідження. У той же час, оскільки більшість авторів [13, 14] сходяться в тому, що теплові ефекти практично мало відрізняються для швидкості реакції, наведені вище дані можна використовувати для оцінки достовірності розрахованих і експериментальних значень теплового ефекту.

Ряд авторів розглядають процес окислення як чисто іонний. При такому підході парниковий ефект, обчислений по температурам утворення складових для реакції утворення оксид азоту дорівнює:

Для визначення теплового ефекту процесу окислення, зокрема окислення аміаку, запропонований експериментальний метод. Це дозволило максимально наблизити умови отримання значень теплового ефекту до тих, які спостерігаються в технології виробництва азотної кислоти під атмосферним тиском.

Тепловий ефект визначали з використанням модернізованого універсального термометричного концентратоміра типу УТМК. У приладі реалізований метод термометричного титрування.

Специфікація приладів та засобів автоматизації процесу окислення наведена у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Специфікація приладів та засобів автоматизації

№ п/п	№ позиції за схемою	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, марка	Одиниця вимірювання	К-ть	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1	1а,1б	Вимірювальний мікропроцесорний перетворювач температури з вбудованим платиновим термометром опору Pt100 в захистній трубці із нержавіючої сталі, показуючий з світловою сигналізацією. Вихідний сигнал 4-20 мА Вимірювальний діапазон температур -50..+200 °С.	Sitrans TF2	°С	1	Siemens
2	2а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °С, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м <sup>3</sup> /год	1	Siemens
3	2б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м <sup>3</sup> /год	1	Siemens
4	2в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, Т=-20С+70С	УТ-1300	-	1	InterApp
5	2г	Заслінка регулююча поворотна дискова між	P226	-	1	UKSPA

		фланцева нержавіюча, макс. P=1,6 МПа, T <sub>макс</sub> =325 °C				
6	3а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °C, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens

Продовження табл. 2.2.

1	2	3	4	5	6	7
7	3б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens
8	3в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, T=-20C+70C	YT-1300	-	1	InterApp
9	3г	Заслінка регулююча поворотна дискова між фланцева нержавіюча, макс. P=1,6 МПа, T <sub>макс</sub> =325 °C	P226	-	1	UKSPA
10	4а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °C, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens
11	4б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens
12	4в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, T=-20C+70C	YT-1300	-	1	InterApp
13	4г	Заслінка регулююча поворотна дискова між фланцева нержавіюча, макс. P=1,6 МПа, T <sub>макс</sub> =325 °C	P226	-	1	UKSPA

14	5а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °С, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м³/го д	1	Siemens
----	----	--	-------------	---------	---	---------

Продовження табл. 2.2.

1	2	3	4	5	6	7
15	5б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м³/го д	1	Siemens
16	5в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, Т=-20С+70С	УТ-1300	-	1	InterApp
18	5г	Заслінка регулююча поворотна дискова між фланцева нержавіюча, мак. Р=1,6 МПа, Тмак=325 °С	P226	-	1	UKSPA
19	6а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °С, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м³/го д	1	Siemens
20	6б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м³/го д	1	Siemens
21	6в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, Т=-20С+70С	УТ-1300	-	1	InterApp

22	6г	Заслінка регулююча поворотна дискова між фланцева нержавіюча, макс. P=1,6 МПа, T <sub>макс</sub> =325 °C	P226	-	1	UKSPA
23	7а	Чутливий елемент - сенсор, температура вимірювального середовища (-30...150) °C, електроди Platinum Hastelloy.	MAGFLO 1100	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens

Продовження табл. 2.2.

1	2	3	4	5	6	7
24	7б	Мікропроцесорний вимірювальний перетворювач для сенсора, вихід струмовий, релейний та цифровий, точність ±0.5%	MAG 6000	м <sup>3</sup> /го д	1	Siemens
25	7в	Електро-пневмо-позиціонер, вх. сигнал 4-20мА, монтажний кронштейн, для пн. привода, T=-20C+70C	YT-1300	--	1	InterApp
26	7г	Заслінка регулююча поворотна дискова між фланцева нержавіюча, макс. P=1,6 МПа, T <sub>макс</sub> =325 °C	P226		1	UKSPA
27	8а,8б	Ємнісний рівнемір кабельний з занурювальним зондом Pointek CLS 300. Довжина зонду в межах 0,5– 25м. Вихідний уніфікований сигнал 4 – 20 мА.	SITRANS LC 300	%	1	Siemens
28	9а,9б	Ємнісний рівнемір кабельний з занурювальним зондом Pointek CLS 300. Довжина зонду в межах 0,5– 25м. Вихідний уніфікований сигнал 4 – 20 мА.	SITRANS LC 300	%	1	Siemens
29	10а	Вимірювальний перетворювач тиску для неагресивних та агресивних газів, пару та рідин. Межі	Sitrans P серія MS	бар	1	Siemens

		вимір. 0,03 – 400 бар. Вих. сигнал 4-20 мА.				
30	11a	Частотний перетворювач для асинхронних двигунів змінного струму потужністю 90 кВт, діапазон вих. част. 0,1..500Гц, живл. 380-480 В.	ATV650	об	1	Schneider Electric

## 2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються

Функції ІСУ створюються шляхом декомпозиції на основі цілей системи. Потім кожен функцію можна розділити на кілька завдань та підзавдань.

Опис автоматизованих функцій ІСУ пояснює та вказує роботу системи. Зокрема, зазначаються:

- перелік функцій/завдань, частоту та тривалість їх виконання;
- перелік сигналів та даних, що формують інформаційний зв'язок між функціями та завданнями;
- вимоги до частоти сигналу та відновлення даних при введенні функції/завдання.

Оскільки ІСУ може виконуватися як на рівні АСУ ТП, так і на рівні виробництва АСУ, залежно від мети, розробляється табличний опис цих функцій залежно від завдання.

Функції АСУ для процесу окислення показуються відповідно до змінних процесу. Перелік змінних АСУ наведені у табл. 2.3.

Тут кожен запис має технологічні параметри, а поля - це функції та уточнення. Оскільки на нижчому рівні використовуються лише вимірювальні прилади і при виконанні управляючих дій для них позначаються окремі поля з різними точками.

Детальний опис цих та інших функцій показуються на розробленій схемі автоматизації для процесу окислення в виробництві азотної кислоти. Для ПЛК ФІЛ показуються наступні функції: У1- відповідає за напрямок передачі сигналу, С1 – відповідає за контур і алгоритм, де використовується дана змінна.

SCADA ФІЛ включає поля функцій, які у ній задіяні, а саме: «Y2» відображає напрямок передачі даних; «I2» – відображає періодичність оновлення параметру на екрані оператора-технолога; «HC2» - відображає можливість ручного управління; «Rtr2» - відображає періодичність і глибину запису значення у архіві тренду; «Rlg2» - відображає глибину архіву повідомлень; A2» - відображає умови спрацювання алармів - тривоги;

Таблиця 2.3. Перелік змінних для АСУТП ФЛ

№ п/п	Найменування змінної	Польові ТЗА ФЛ		ПЛК ФЛ		SCADA ФЛ						
		E0	V0	Y1	C1	Y2	I2	HC2	Rtr2	Rlg2	A2	Alg2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	T_неф_с дійсне	-50.. 200 <sup>0</sup> C	-	IN	T1C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<80 <sup>0</sup> C >90 <sup>0</sup> C	1 міс
2.	T_неф_с задане	-	-	-	T1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
3.	T_неф_с Min	-	-	-	T1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
4.	T_неф_с Max	-	-	-	T1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
5.	L_нап.неф_с дійсне	0-100 %	-	IN	L1C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<2 % >85 %	1 міс
6.	L_нап_неф_с задане	-	-	-	L1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
7.	L_нап_неф_с Min	-	-	-	L1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
8.	L_нап_неф_с Max	-	-	-	TLC1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
9.	F_1 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F1C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60 м3/год >80 м3/год	1 міс
10.	F_1 задане	-	-	-	F1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
11.	Кл подачі ф.с з 1 апарату	-	0-100%	OUT	F1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
12.	Per F_1 p/a	-	-	-	F1C1	IN/OUT	нс	+	змін, 1міс	1міс	-	-
13.	Per F_1 Min	-	-	-	F1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
14.	Per F_1 Max	-	-	-	F1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
15.	Per F_1 Kp	-	-	-	F1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
16.	Per F_1 Ti	-	-	-	F1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17.	F_2 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F2C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60 м3/год >80 м3/год	1 міс
18.	F_2 задане	-	-	-	F2C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
19.	Кл подачі ф.с з 2 апарату	-	0-100%	OUT	F2C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
20.	Per F_2 Min	-	-	-	F2C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
21.	Per F_2 Max	-	-	-	F2C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
22.	Per F_2 Kp	-	-	-	F2C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
23.	Per F_2 Ti	-	-	-	F2C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
24.	F_3 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F3C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60 м3/год >80 м3/год	1 міс
25.	F_3 задане	-	-	-	F3C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
26.	Кл подачі ф.с з 3 апарату	-	0-100%	OUT	F3C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
27.	Per F_3 Min	-	-	-	F3C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
28.	Per F_3 Max	-	-	-	F3C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
29.	Per F_3 Kp	-	-	-	F3C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
30.	Per F_3 Ti	-	-	-	F3C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
31.	F_4 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F4C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60м3/г од >80 м3/год	1 міс
32.	F_4 задане	-	-	-	F4C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
33.	Кл подачі ф.с з 3 апарату	-	0-100%	OUT	F4C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
34.	Per F_4 Min	-	-	-	F4C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
35.	Per F_4 Max	-	-	-	F4C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36.	Per F_4 Kp	-	-	-	F4C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
37.	Per F_4 Ti	-	-	-	F4C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
38.	F_5 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F5C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60 м3/год >80 м3/год	1 міс
39.	F_5 задане	-	-	-	F5C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
40.	Кл подачі ф.с з 5 апарату	-	0-100%	OUT	F5C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
41.	Per F_5 Min	-	-	-	F5C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
42.	Per F_5 Max	-	-	-	F5C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
43.	Per F_5 Kp	-	-	-	F5C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
44.	Per F_5 Ti	-	-	-	F5C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
45.	F_6 дійсне	0-300 м3/год	-	IN	F6C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<60 м3/год >80 м3/год	1 міс
46.	F_6 задане	-	-	-	F6C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
47.	Кл подачі ф.с з 6 апарату	-	0-100%	OUT	F6C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
48.	Per F_6 Min	-	-	-	F6C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
49.	Per F_6 Max	-	-	-	F6C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
50.	Per F_6 Kp	-	-	-	F6C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
51.	Per F_6 Ti	-	-	-	F6C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
52.	L_зб_неф_с дійсне	0-100 %	-	IN	L2C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<2 % >85 %	1 міс
53.	L_зб_неф_с задане	-	-	-	L2C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
54.	L_зб_неф_с Min	-	-	-	L2C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
	L_зб_неф_с Max	-	-	-	L2C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-

Продовження табл. 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
55.	L_зб_ф_с дійсне	0-100 %	-	IN	L3C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	<8 % >24 %	1 міс
56.	L_зб_ф_с задане	-	-	-	L3C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
57.	L_зб_ф_с Min	-	-	-	L3C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
58.	L_зб_ф_с Max	-	-	-	L3C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
59.	Насос відкачки аміаку оберти дійсне	0-150 А	-	IN	M1C1	IN	1с	-	10с,1міс	-	-	1 міс
60.	Насос відкачки філ.аміаку оберти задане	-	-	-	M1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	1 міс	-	-
61.	Швид.оберт. насосу відкачки відфільтр.аміаку	-	0-100%	OUT	M1C1	IN/OUT	1с	+	10с,1міс	-	-	-
62.	Рег швид.оберт. насосу відкачки р\а	-	-	-	M1C1	IN/OUT	нс	+	змін, 1міс	1міс	-	-
63.	Рег швид.оберт. насосу відкачки Min	-	-	-	M1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
64.	Рег швид.оберт. насосу відкачки Max	-	-	-	M1C1	IN/OUT	нс	+	10с,1міс	-	-	-
65.	Рег швид.оберт. насосу відкачки Кр	-	-	-	M1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-
66.	Рег швид.оберт. насосу відкачки Ті	-	-	-	M1C1	IN/OUT	нс	+	-	-	-	-

«Alg2» - відображає глибину архіву аварійних повідомлень; «-» - відображення на полях означає відсутність використання функції.

Для функцій АСУ ТП та інтелектуальної системи керування у графічному вигляді наводяться функції, що використовуються для рівня АСУ ТП із деталізацією інформаційно-інтелектуальної взаємодії. Перелік таких змінних наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Перелік змінних для АСУ ТП та ІСУ

№	Найменування змінної	Джерело	ІСК			Примітка
			УЗ	ІЗ	АЗ	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Витрата аміаку	Трубопровід	IN	1 с.	<60 м3/год >80 м3/год	
2.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<2 % >85 %	
3.	Температура	Трубопровід	IN	1 с.	<80 <sup>0</sup> С >90 <sup>0</sup> С	
4.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<60 м3/год >80 м3/год	
5.	Витрата аміаку	Трубопровід	IN	1 с.	<60 м3/год >80 м3/год	
6.	Тиск	Трубопровід	IN	1 с.	<0,09 Bar >0.87 Bar	
7.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<2 % >85 %	
8.	Витрата повітря	Трубопровід	IN	1 с.	<60 м3/год >80 м3/год	

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
9.	Витрата фільтрованого повітря	Трубопровід	IN	1 с.	<60 м3/год >80 м3/год	
10.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<2 % >85 %	
11.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<8 % >24 %	
12.	Рівень рН	Трубопровід	IN	1 с.	<8 % >90 %	
13.	Тиск в колекторі подачі аміаку	Трубопровід	IN	1 с.	<0,09 Bar >0.87 Bar	

### 2.3. Визначення функцій користувачів Use Case diagram

Існує велика кількість інструментів, що використовуються для реалізації проекту інтелектуальної системи управління (ІСУ) від фази аналізу до створення програмного коду. Існує окремий поділ між інструментами верхнього рівня (upper CASE tools) та інструментами нижчого рівня (lower CASE tools).

До основних проблем із використанням інструментів вищого рівня належать проблеми з їх адаптацією до конкретних проектів, оскільки вони суворо регламентують процес розробки та не дозволяють організувати роботу на рівні окремих елементів проекту. Альтернативою може бути використання інструментів на нижчому рівні, але їх використання спричиняє інші проблеми - труднощі в організації взаємодії між командами, які працюють над різними елементами проекту.

Уніфікована мова моделювання (UML) - це спосіб інтеграції цих підходів. Переваги UML включають ряд інструментів, які підтримують життєвий цикл ІСУ та дозволяють налаштовувати та переглядати особливості розробника різних елементів проекту.

Основними характеристиками об'єктно-орієнтованої мови моделювання UML є:

- організація взаємодії замовник-розробник (група розробників) ІВ шляхом створення репрезентативних візуальних моделей;

- спеціалізація основних символів для певної галузі предмета.

Базовий набір діаграм UML включений у велику кількість інструментів моделювання. Оскільки кожна програма має свої особливості і не вимагає всіх понять у кожній програмі, мова надає користувачам такі функції, як:

- моделювання з використанням лише основних інструментів для типових додатків;

- моделювання з використанням інших символів, якщо відсутні у "ядрі", або позначення спеціалізації та обмеження для даної області предмета.

Для підтримки моделювання різних фаз життєвого циклу ІСУ UML пропонує набір діаграм.

У нотації UML визначені такі типи канонічних діаграм:

- варіантів використання (use case diagram);
- класів (class diagram);
- кооперації (collaboration diagram);
- послідовності (sequence diagram);
- станів (statechart diagram);
- діяльності (activity diagram);
- компонентів (component diagram);
- розгортки (deployment diagram);

Список цих діаграм та їх назв є канонічним у тому сенсі, що вони є невід'ємною частиною графічного позначення мови UML. Крім того, процес об'єктно-орієнтованого проектування нерозривно пов'язаний із процесом побудови цих діаграм. Створений таким чином набір діаграм є самодостатнім в тому сенсі, що він містить всю інформацію, необхідну для реалізації складного системного проекту (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Класифікація груп діаграм UML

Кожна з цих діаграм докладно описує та конкретизує різні уявлення про модель складної системи з точки зору UML. У цьому випадку діаграма використання - це найпоширеніша концептуальна модель складної системи, яка є джерелом для побудови всіх інших діаграм. Діаграма класів по суті є логічною моделлю, яка відображає статичні аспекти структурної побудови складної системи.

Діаграми кооперації і послідовності - це своєрідна логічна модель, яка відображає динамічні аспекти функціонування складної системи. Діаграми стану та діяльності використовуються для моделювання поведінки системи. Діаграми компонентів і розгортання використовуються для представлення фізичних компонентів складної системи і, отже, відносяться до її фізичної моделі. На додаток до графічних елементів, визначених для кожної канонічної діаграми, вони можуть відображати текстову інформацію, яка розширює семантику основних елементів.

Однією з діаграм, яка використовується на етапі проектування логічної ІСУ-моделі, є діаграма варіантів використання (use case diagram), призначена для створення концептуальної моделі рівня роботи системи в середовищі.

Основними елементами для створення прецедентної моделі на діаграмі є:

- Гравець - елемент, що вказує на роль користувача, що взаємодіє з певною сутністю;

- Прецедент - елемент, що відображає дії, вжиті системою (включаючи вказівку на можливі варіанти), що призводять до результатів, що спостерігаються суб'єктами.

Можуть бути встановлені взаємозв'язки між прецедентами в моделі, такими як:

- узагальнення (Generalization) - вказує на спільність ролей;
- включення (include) - вказує співвідношення багаторазового використання, основне з яких завжди використовує функціональну поведінку пов'язаних прецедентів;
- розширення (extend) - вказує на зв'язок між базовим випадком використання та випадками використання, які є його конкретними випадком

Для процесу окислення в виробництві кислоти діаграма Use Case diagram для вибору методу керувальних дій показана на рис. 2.3. Так як процес виробництва є періодичним і може працювати по повному циклу чи напівциклу.

Під час проходження технологічного процесу, можуть виникати різного роду ситуації, які можуть бути пов'язані із зміною технологічних параметрів процесу, несправності роботи обладнання систем автоматизації або електрообладнання тощо. Тому, досить важливим є вчасно діагностувати ситуації, приймати найкращі рішення та їх реалізовувати.

Сукупність рішень керівників різних рівнів за певного підпорядкування - це ієрархія прийняття рішень, що визначає структурні взаємозв'язки між ними. У процесі формування ієрархії можуть переважати різні тенденції:

- знизу вгору (загальні рішення на вищому рівні приймаються на основі рішень, прийнятих на нижчих рівнях). Ця конструкція характерна для прийняття інформаційних рішень;

- зверху вниз, типово для прийняття організаційних рішень;

- навпаки - рішення нижчого рівня приймаються за певних умов і в межах рішень вищого рівня, а рішення вищого рівня приймаються з урахуванням рішень, раніше прийнятих на нижчих рівнях. Така конструкція характерна для технологічних рішень.

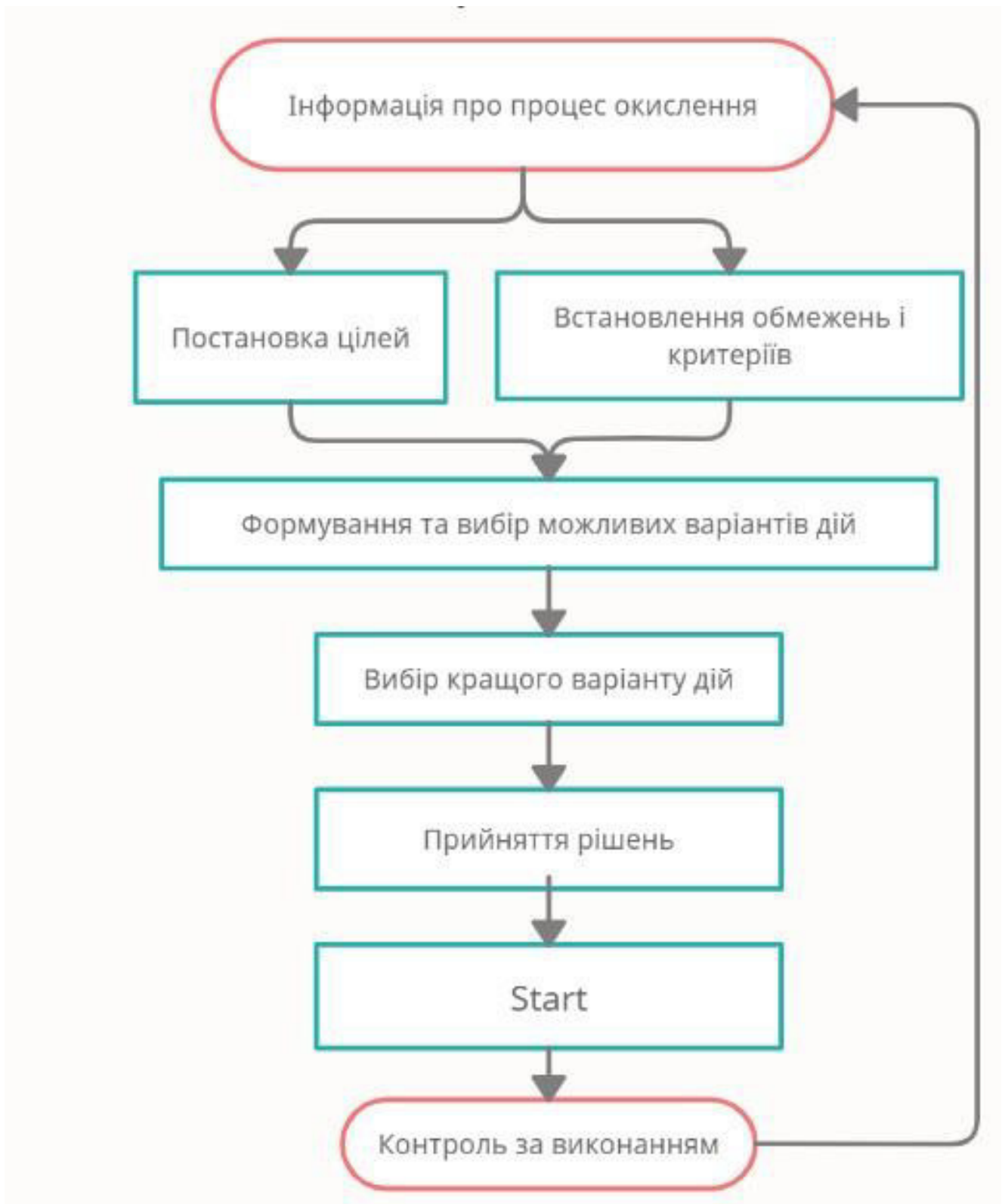


Рис. 2.3. Use Case diagram системи вибору методу керувальних дій

Постійне вдосконалення системи прийняття рішень та причинно-наслідкові зв'язки між ними становлять логічну основу, на якій будується вся діяльність. Оскільки кожне рішення приймається з урахуванням відношення до інших рішень, існують обмеження щодо допустимої мінливості рішень. Тож рішення

можуть бути різними, вони можуть змінюватися, але їх можна приймати в певних межах. Слід зазначити, що для забезпечення послідовності рішень недостатньо враховувати обмеження. Це вимагає від керівника цілеспрямованого та цілісного мислення. Велике значення має зміст рішень вищих рівнів ієрархії та контроль за виконанням рішень зверху вниз. Такий нагляд також включає затвердження рішень від нижчих рівнів до вищих рівнів. Методологія їх підготовки залежить від визначення ієрархії рішень.

У практиці управління існує два підходи до прийняття рішень: індивідуальний та груповий (колективний).

В рамках індивідуального підходу централізація прийняття рішень надзвичайно важлива. У груповому підході до прийняття рішень керівник кожного рівня управління залучає до цього процесу працівників. У цьому випадку старший керівник, відповідальний за прийняття цього рішення, передає повноваження нижчому рівню управління. Участь у прийнятті рішень працівників окремих структурних підрозділів визначається вирішенням їх інтересів, що суттєво підвищує ефективність рішення.

У процесі прийняття рішень необхідно враховувати два аспекти:

- прийняття рішень, як правило, відносно легке, але ефективне прийняття рішень важко;

- Прийняття рішень - це психологічний процес, тому методи, які використовує для цього керівник, можуть бути як стихійними, так і глибоко логічними.

Процес прийняття рішень складний і багатогранний. Він включає кілька етапів та заходів. Керівники по-різному вирішують, як і на яких етапах повинен відбуватися процес прийняття рішень, який конкретний зміст кожного з них. Це залежить від кваліфікації керівника, особливої ситуації, стилю управління та організаційної культури. Процес прийняття рішень включає етапи, які можна поєднувати як із прямим, так і із зворотним зв'язком. В особливих випадках, особливо при розробці масивних "стандартних" рішень, окремі етапи

опускаються або інтегруються. Таким чином, фактична кількість етапів визначається проблемою як такою.

### **I етап. Діагностика, формулювання та обґрунтування ситуації.**

Ситуація - це складне теоретичне або практичне питання, яке вимагає вивчення, дослідження та прийняття рішень. Це відображає потенціал підвищення ефективності або різницю між існуючим та бажаним станом системи.

Процес прийняття рішення починається з отримання інформації безпосередньо про проходження технологічного процесу та роботи суміжних відділень. У процесі її обробки визначається ймовірність та повнота інформації. Управління інформацією є необхідною умовою прийняття багатьох рішень. Кожне управлінське рішення приймається лише на основі спеціально підбраного аналізу інформації. При аналізі інформації слід враховувати її характеристики. Вивчення формалізованої інформації здійснюється за допомогою логічного мислення, порівняння, аналогії, аналізу, синтезу, індукції тощо. Кількісні методи широко використовуються для обробки формально отриманої інформації: складання статистичних таблиць, графіків, регресійний аналіз, логіко-математичні методи тощо. Структура та аналіз оброблюваної інформації, її поєднання об'єктивних та суб'єктивних факторів дозволяють керівнику визначити ступінь важливості проблеми та обґрунтувати необхідність її вирішення. Після того, як проблема була виявлена, головне завдання керівника чи оператора-технолога чітко сформулювати її. Важливим елементом управлінського рішення виступає визначення цілей і завдань, що залежать від формулювання проблеми. Постановка мети або цілей, яких потрібно досягти під час вирішення проблеми, дозволяє вказати завдання, рішення яких забезпечує досягнення цілей.

**II етап. Формулювання обмежень та критеріїв прийняття управлінських рішень.** Обмеження щодо коригувальних дій обмежені у можливостях прийняття рішень. Перш ніж переходити до наступного етапу прийняття рішення, оператор-технолог повинен чітко визначити обмеження і

лише потім визначити альтернативи. Загальні обмеження включають: недостатню кількість працівників з відповідною кваліфікацією та досвідом, необхідність використання передових технологій, відсутність необхідних матеріальних ресурсів тощо.

Під час процесу прийняття рішень вони можуть бути формалізовані, якщо критерій ефективності визначений кількісно, та неофіційні, якщо їх логічно аналізувати.

Критерії вибору рішення можуть мати ряд показників, наприклад максимальне використання обладнання. Якщо рішення приймається на основі одного критерію (показника), це просте рішення. Рішення, прийняте за кількома критеріями, називається складним.

### **III етап. Формулювання та вибір можливих варіантів керуючих дій.**

При формуванні альтернативних рішень оператор-технолог завжди керує невизначеністю. Таким чином, подальша обробка інформаційних даних є прогнозом, який допомагає передбачити результати реалізації кожного рішення. Після прогнозу ви можете вибрати бажані варіанти з безлічі можливих варіантів, які позначені бажаними результатами. Послідовне встановлення інших обмежень значно зменшує кількість варіантів. Таким чином, проблема визначення оптимального рішення зменшується вдвічі. Перша частина проблеми полягає в тому, як вибрати раціональні варіанти з безлічі можливих варіантів, а друга частина - вибрати найкращий із раціональних варіантів. При підборі варіантів також використовується евристика на основі логіки.

**IV етап. Виберіть кращого варіанту дій.** В даний час багато переважних рішень визначають альтернативи та обирають найкращі. З цією метою реалізація кожного варіанту ретельно розглядається і порівнюється з критерієм (або критеріями) для цієї проблеми. На основі результатів порівняння варіантів рішення вибирається найбільш підходящий варіант для конкретних умов, що забезпечує найбільш ефективне здійснення поставленої мети. В основному, це рішення проблеми. Таким чином, процес прийняття рішень оператором-

технологом - це досить складний процес, що складається з безлічі постійних етапів, кількість яких визначається складністю проблеми, що вирішується.

**Етап V. Прийняття рішення.** Значення цього етапу визначається повнотою реалізації рішень, передбачених системою управління для забезпечення реальних результатів та змісту (значення).

«Впровадження» рішення є важливим показником ефективності системи управління, яка повинна працювати за принципом «одна проблема - одне рішення». Як тільки рішення не прийнято, нові рішення з того самого питання не можуть бути прийняті.

Після прийняття рішення є період для його реалізації. Реалізація рішення - складний процес. Досвідчені особи, що приймають рішення, оцінюють складність його реалізації та створюють необхідні умови для його реалізації.

Організаційно загальне навантаження ділиться на окремі компоненти. Виконавці та відповідальні особи рішуче налаштовані виконати роботу. При реалізації рішення виконавці окремих справ мають бути забезпечені певними правами та повноваженнями та нести відповідальність залежно від завдань, що вирішуються. Це стосується принципу делегування відповідальності, який передбачає розподіл відповідальності між усіма учасниками як розробки рішення, так і його реалізації. При розподілі обов'язків слід враховувати кваліфікацію виконавців та досвід. Система оцінки форми залучення особи, яка буде задіяна в залежності від ситуації, яка сталася під час процесу окислення в реакторі показано на рис. 2.4.

Після того, як план реалізації рішення буде розроблений, він буде повідомлений виконавцям в обов'язковому порядку. Повідомлення управлінського рішення виконавцям супроводжується поясненням його змісту та значення, а також очікуваних результатів.

**VI етап. Процес реалізації керуючих дій** тісно пов'язаний з моніторингом його виконання. Ефективний контроль за виконанням рішення неможливий без чіткого запису про виконання окремих робіт. Реальність прийнятих рішень та

швидкість їх виконання в кінцевому рахунку залежать від ефективності контролю.

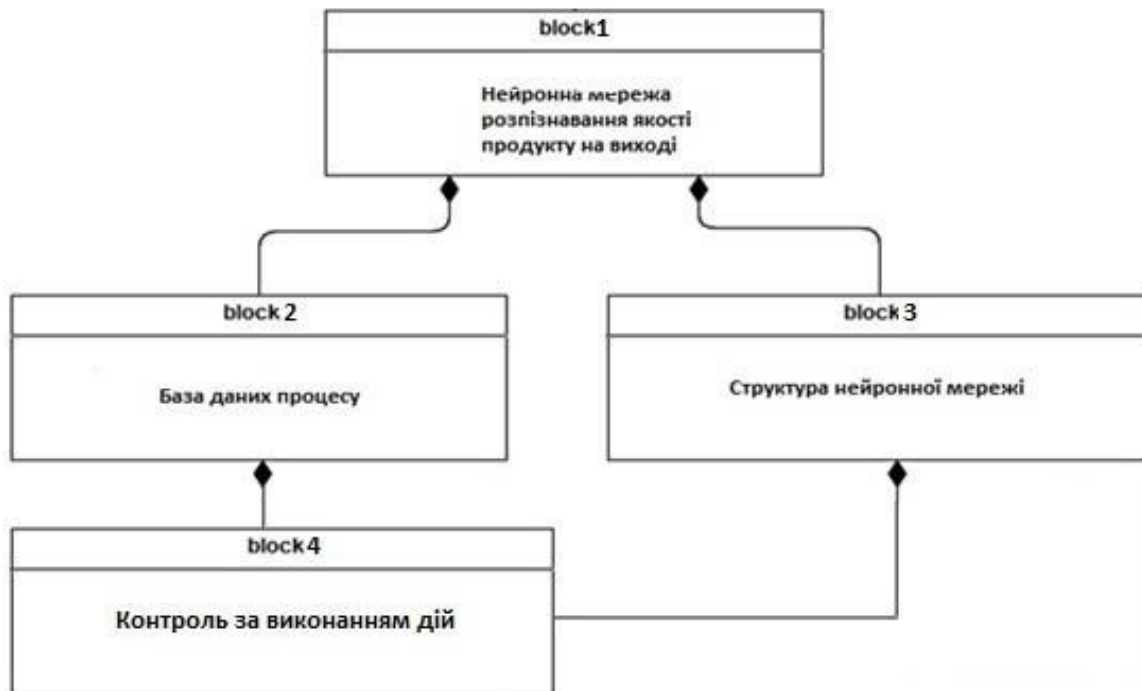


Рис. 2.4. Діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram) виробництва

Незалежно від стану реалізації, результати виконання керуючих дій повинні бути узагальнені. Це перевірка ефективності системи для прийняття та реалізації наступних рішень.

Для перевірки виконання певних дій, використовуються наступні типи контролю:

- попередній (спрямований на надання більш детального обґрунтування причин рішення);
- поточний (з його допомогою вносяться корективи в процесі реалізації рішення);
- остаточний (застосовується для перевірки ефективності рішення).

Контроль є об'єктивною необхідністю в процесі прийняття керуючих дій, оскільки він реалізує технологічні плани та контролює якість у їх реалізації.

## **2.4. Розробка діаграми вимог до інтелектуальної системи управління (Requirements diagram)**

Вимога визначає здатність або умову, які повинні бути задоволені. Вимога може визначати функцію, яку повинна виконувати система, або умову продуктивності, яку повинна досягти система. SysML надає конструкції моделювання для представлення вимог, заснованих на тексті, та їх співвідношення з іншими елементами моделювання. Діаграма вимог може зобразити вимоги у графічному, табличному або деревоподібному форматі. Вимога може також з'являтися на інших діаграмах, щоб показати її зв'язок з іншими елементами моделювання. Конструкції моделювання вимог покликані забезпечити міст між традиційними засобами управління вимогами та іншими моделями SysML.

Вимога визначається як стереотип класу UML, що підпадає під набір обмежень. Стандартна вимога включає властивості, щоб вказати його унікальний ідентифікатор та вимогу до тексту. Додаткові властивості, такі як статус підтвердження, можуть бути вказані користувачем.

Вказано кілька взаємозв'язків вимог, які дозволяють людині, що проводить моделювання співвідносити вимоги з іншими вимогами, а також з іншими елементами моделі. Сюди входять відносини для визначення ієрархії вимог, виведення вимог, задоволення вимог, перевірки вимог та уточнення вимог.

SysML визначає нові типи асоціацій (стереотипні залежності):

- Derive (успадковування): одна або декілька вимог, що впливають із вимоги;

Satisfy (забезпечують, задовольняють): один або кілька модельних елементів виконують вимогу;

- Verify (перевірка): один або кілька модельних елементів, наприклад тестова система, перевіряє виконання вимог;

- Refine (уточнення): один або кілька модельних елементів, наприклад use case, додатково уточнює вимогу;

- Copy (перенесення): один або кілька модельних елементів системи переноситься на інший елемент;

- Trace (прослідковування): один або кілька модельних елементів системи відслідковуються на інші елементи.

SysML визначає нові типи визначень, генерує гіпотези, дозволяє інтерпретації пов'язувати з організаціями чи компонентами моделі::

- Problem (проблема): ідея, що визначається конкретною проблемою чи потребою, після відсутності, обмеження або відмови не одного чи декількох компонентів вибірки;

- Rationale (обґрунтування): коментар який описує причину чи обґрунтування рішення, пов'язаного із асоціацією чи елементом.

На діаграмі вимог прийняття рішень відповідно до зміни режимів роботи окислювального обладнання в залежності від ситуацій показано на рис. 2.4. На даній діаграмі розглядаються вимоги до встановлення потужності роботи окислювальних апаратів в залежності від потужності заводу, а також вимоги при нормальному режимі та із відхиленням.

В UML під взаємодією об'єктів розуміють обмін інформацією між ними. У цьому випадку інформація набуває форми повідомлення. Окрім того, що повідомлення містить певну інформацію, воно також певним чином впливає на одержувача.

Діаграма послідовності відноситься до діаграм взаємодії UML, які описують поведінкові аспекти системи, але враховують взаємодію об'єктів у часі. Іншими

словами, схема послідовності показує часові характеристики передачі та прийому повідомлень об'єктами.

Діаграма послідовності показує лише ті об'єкти, які безпосередньо беруть участь у взаємодії і не показують можливих статичних асоціацій з іншими об'єктами. Для діаграми послідовностей ключовим моментом є динаміка взаємодії об'єкта в часі. Діаграма послідовності має щонайменше два виміри. Один - зліва направо у вигляді вертикальних ліній, кожна з яких показує лінію життя окремого об'єкта, що бере участь у взаємодії.

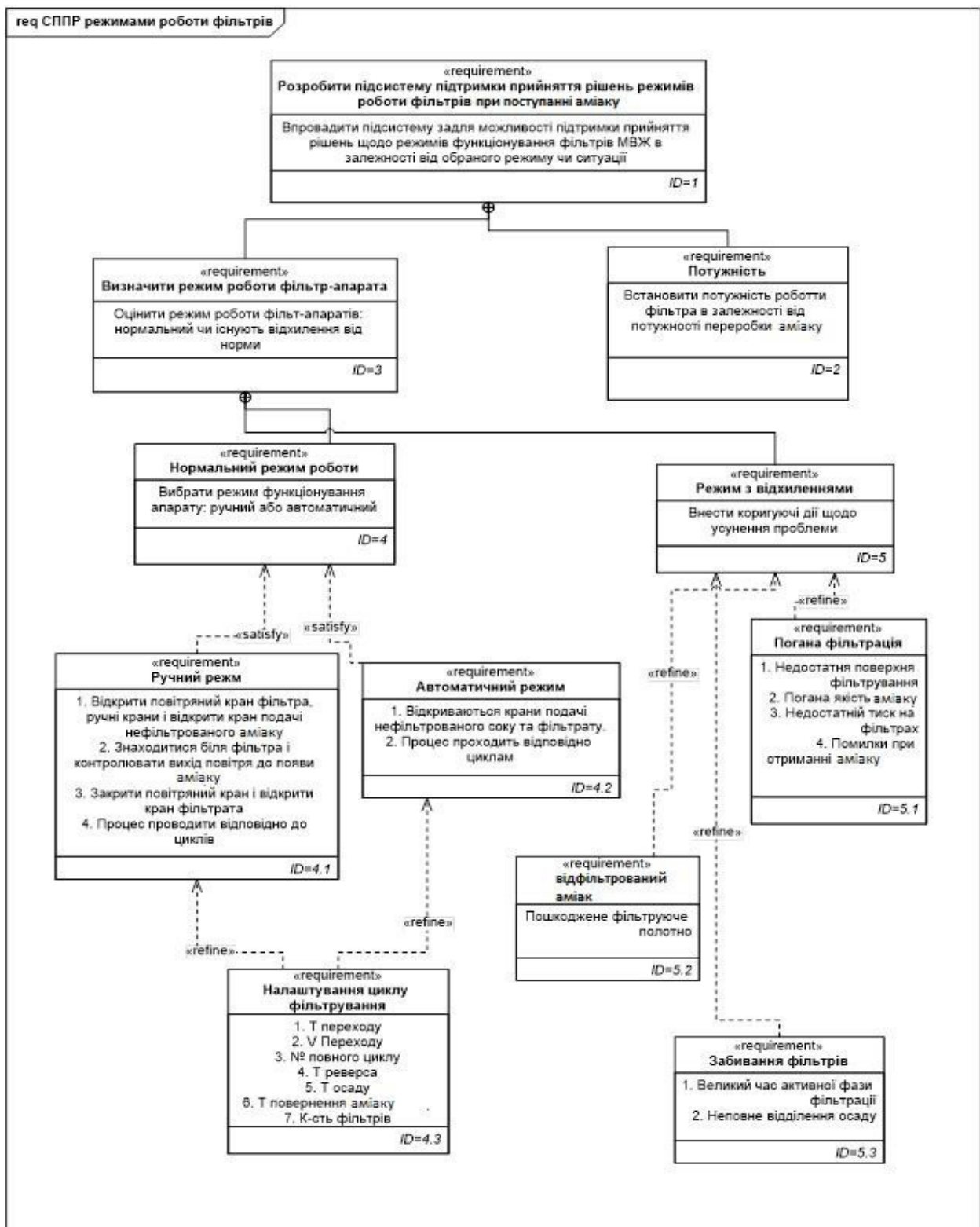


Рис. 2.5. Діаграма вимог до режимів роботи реактора окислення

## 2.5. Розробка етапів створення інтелектуальної системи управління (Sequence diagram)

Графічно кожен об'єкт представлений прямокутником і розташований у верхній частині його життєвої лінії. У крайньому лівому куті діаграми показано

об'єкт, який ініціював взаємодію. Праворуч знаходиться інший об'єкт, який безпосередньо спілкується з першим. Таким чином, усі об'єкти на діаграмі послідовностей утворюють послідовність, яка визначається ступенем активності цих об'єктів при взаємодії. Інший вимір діаграми послідовностей - вертикальна вісь часу, спрямована зверху вниз.

Початковому моменту часу відповідає сама верхня частина діаграми. Таким чином, взаємодія здійснюється за допомогою повідомлень, що передаються від одного об'єкта до іншого. Повідомлення відображаються у вигляді горизонтальних стрілок з назвою повідомлення та формують замовлення, коли вони з'являються. Іншими словами, послання на верхній графік були розпочаті раніше ніж нижчі.

Діаграми послідовного послідовності можуть бути використані і повинні використовуватися для покращення діаграм продуктивності, більш детального опису концепції випадків розгортання.

Послідовні зображення часто містять записи сценарію, повідомлення, якими вони обмінюються, і повертають результати, пов'язані з повідомленнями. Однак повторювані результати відображаються лише в тому випадку, якщо це не зрозуміло в контексті.

Лінія життєдіяльності об'єкта (життєва лінія об'єкта) представлена пунктирною вертикальною лінією, пов'язаною з одним об'єктом на діаграмі послідовностей. Рятувальний круг використовується для позначення періоду часу, протягом якого об'єкт існує в системі, і тому потенційно може брати участь у всіх його взаємодіях. Якщо об'єкт постійно існує в системі, його життєва лінія повинна проходити по площині діаграми послідовностей зверху вниз.

Окремі об'єкти, виконавши свою роль у системі, можуть бути знищені, щоб звільнити займані ними ресурси. Для таких об'єктів лінія життя обривається в момент його знищення. Для позначення моменту знищення об'єкта в мові UML використовується спеціальний символ у формі латинської букви "X".

Мета взаємодії в контексті мови UML полягає в тому, щоб специфікувати комунікацію між множиною взаємодіючих об'єктів. Кожна взаємодія описується

набором повідомлень, в яких задіяні об'єкти обмінюються між собою. У цьому сенсі повідомлення - це повна інформація, яка передається від одного об'єкта до іншого. Таким чином, отримання повідомлення ініціює виконання певних дій, спрямованих на вирішення конкретного завдання цим об'єктом, на який було надіслано це повідомлення.

Таким чином, повідомлення не тільки передають певну інформацію, але й вимагають або припускають, що отримуючий об'єкт виконає очікувані дії. Повідомлення можуть запускати операції з об'єктом відповідного класу, а параметри цих операцій передаються разом із повідомленням. На діаграмі послідовності всі повідомлення класифікуються за часом їх появи в модельованій системі.

У цьому контексті кожне повідомлення має напрямок від об'єкта, який ініціює повідомлення і відправляє його до об'єкта-одержувача.

Як правило, повідомлення представлені на схемі послідовності горизонтальними осями, що з'єднують напрямки життя, або центрами управління двома об'єктами.

В UML кожне повідомлення пов'язане з якоюсь дією, яку повинен виконати об'єкт, який його отримав. Таким чином, дія може мати аргументи або параметри, які оцінюють ефективність прийняття різних результатів.

Відповідні параметри матимуть це повідомлення про дію та тригер. матиме повідомлення, яке ініціює цю дію. Крім того, значення окремих параметрів повідомлення можуть включати умовні вирази, що складають мережу або альтернативні шляхи основного потоку управління.

Кожне повідомлення повинно мати ім'я, яке відповідає його призначенню. Діаграми послідовностей можуть містити три різні повідомлення, кожне зі своїм унікальним графічним зображенням.

Розробка ЕС має суттєві відмінності від розробки звичайного програмного продукту. Досвід створення ЕС показав, що використання при їх розробці методології, прийнятої в традиційному програмуванні, або надмірно затягує процес створення ЕС, або взагалі призводить до негативного результату.

Використовувати ЕС слід тільки тоді, коли розробка ЕС можлива, виправдана і методи інженерії знань відповідають розв'язуваній задачі. Щоб розробка ЕС була можливою для цього додатка, необхідно одночасне виконання принаймні таких вимог:

1) існують експерти в цій галузі, які вирішують задачу значно краще, ніж початківці фахівці;

2) експерти сходяться в оцінці пропонованого рішення, інакше не можна буде оцінити якість розробленої ЕС;

3) експерти здатні вербалізувати (висловити природною мовою) і пояснити використовувані ними методи, в іншому випадку важко розраховувати на те, що знання експертів будуть "витагнуті" і вкладені в ЕС;

4) рішення задачі вимагає тільки міркувань, а не дій;

5) завдання не повинна бути занадто важкою (тобто її рішення повинне займати у експерта декілька годин або днів, а не тижнів);

6) завдання хоч і не повинна бути виражена в формальному вигляді, але все ж повинна ставитися до досить "зрозумілою" і структурованої області, тобто повинні бути виділені основні поняття, відносини і відомі (хоча б експерту) способи отримання рішення задачі;

7) рішення задачі не повинно в значній мірі використовувати "здоровий глузд" (тобто широкий спектр загальних відомостей про світ і про спосіб його функціонування, які знає і вміє використовувати будь-яка нормальна людина), так як подібні знання поки не вдається (в достатній кількості) вкласти в системи штучного інтелекту.

Етапи створення інтелектуальної системи управління на базі експертної системи процесу окислення в залежності від режимів функціонування обладнання та технологічних ситуацій показано за допомогою діаграми послідовності Sequence diagram та представлено на рис. 2.5.

Розробка експертної системи складається з наступних етапів:

1. Етап ідентифікації проблем - визначаються завдання, які підлягають вирішенню, виявляються цілі розробки, визначаються експерти і типи користувачів.

2. Етап вилучення знань - проводиться змістовний аналіз проблемної області, виявляються використовувані поняття і їх взаємозв'язки, визначаються методи розв'язання задач.

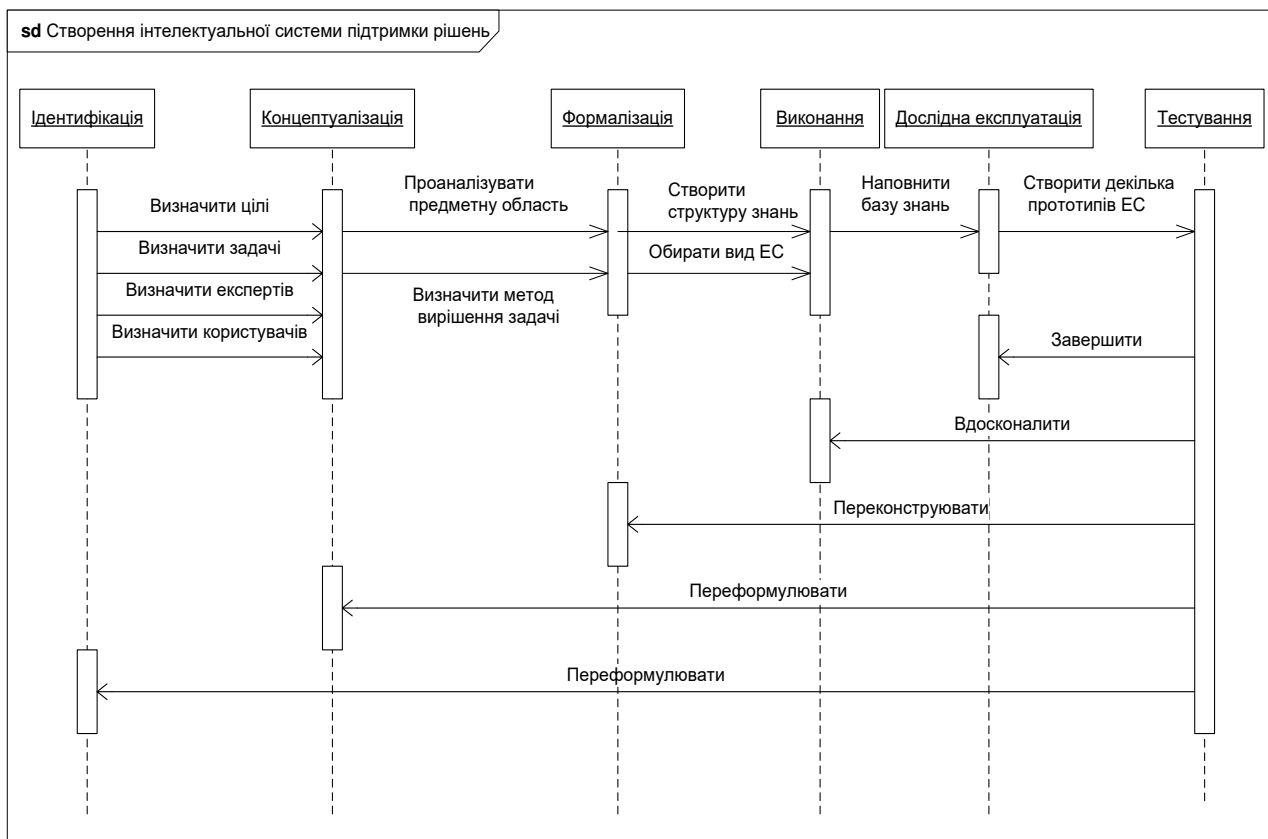


Рис. 2.6. Діаграма послідовності створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

3. Етап структурування знань - вибираються ІС і визначаються способи подання всіх видів знань, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації знань, моделюється робота системи, оцінюється адекватність цілям системи зафіксованих понять, методів рішень, засобів представлення та маніпулювання знаннями.

4. Етап формалізації - здійснюється наповнення експертом бази знань. У зв'язку з тим, що основою ЕС є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки ЕС. Процес придбання знань

розділяють на вилучення знань з експерта, організацію знань, що забезпечує ефективну роботу системи, і уявлення знань у вигляді, зрозумілому ЕС. Процес придбання знань здійснюється інженером по знаннях на основі аналізу діяльності експерта по вирішенню реальних завдань.

5. Реалізація ЕС - створюється один або кілька прототипів ЕС, вирішальні необхідні завдання.

6. Етап тестування - проводиться оцінка обраного способу представлення знань в ЕС в цілому.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

#### 3.1. Вибір програмного забезпечення для компонентів системи

У магістерській роботі використано мікропроцесорний контролер від Schneider Electric, який широко застосовується при розробці і впровадженні систем автоматизації у різноманітних галузях промисловості.

Модулі процесора M340 відрізняються функціональністю, кількістю входів/виходів, швидкістю обробки інструкцій, які може обробляти процесор, кількістю спеціальних каналів, доступною оперативною пам'яттю та засобами зв'язку, вбудованими в модуль ЦП.

Кожен модуль процесора може мати один чи два взаємопов'язаних канали зв'язку: послідовний RS-232/RS-485 послідовний Modbus, Ethernet TCP/IP і CANOpen. На додаток до взаємозамінних функцій та інших пристроїв у системі, Modbus RTU (послідовний) та Modbus TCP/IP (Ethernet) дозволяють отримати доступ до програмного центру UNITY PRO до контролера.

Дискретні модулі вводу-виводу M340 - це стандартні модулі, що займають один слот. Ці модулі відрізняються залежно від типу каналів ((вхідні, вихідні, змішані), кількості каналів, типу вхідних та вихідних каналів та способу підключення. Ці модулі можуть бути встановлені на будь-якому місці всередині шасі, за винятком блоку живлення (RS) та модуля процесора. Дозволяється гаряча заміна модулів при умові, що живлення буде ввімкнуте.

Дискретні модулі можуть характеризуються входами/виходами постійного струму (DC) на 24 VDC та 48 VDC з позитивною (sink) чи негативною (source) логікою підключення, чи змінного струму (AC) на 100-240 VAC.

Також є модулі з транзисторними чи релейними виходами. Виходи мають змогу бути захищеними від короткого замикання. Всі дискретні входи і виходи ізольовані від внутрішньої шини.

Модулі аналогових входів/виходів M340 представляють собою стандартні модулі, котрі займають один слот. Аналогові модулі аналогічно до дискретних

розрізняються за типом каналів (вхідні, вихідні, змішані), їх кількістю, характеристикою та діапазоном сигналів (напруга, термометри опору, струм тощо), наявністю гальванічного розподілення та способом підключення. Дані модулі можуть бути встановлені у будь-яке посадкове місце шасі, окрім місця для живлення (PS) і процесорного модуля. Дозволяється гаряча заміна модулів (при включеному живленні).

Контролер Modicon M340 для технологічного процесу виробництва кислоти під тиском відповідно до розробленої схеми системи автоматизації компонується із наступних модулів, що показані на рис. 3.1. Специфікація комплексних засобів наведена у табл. 3.1.

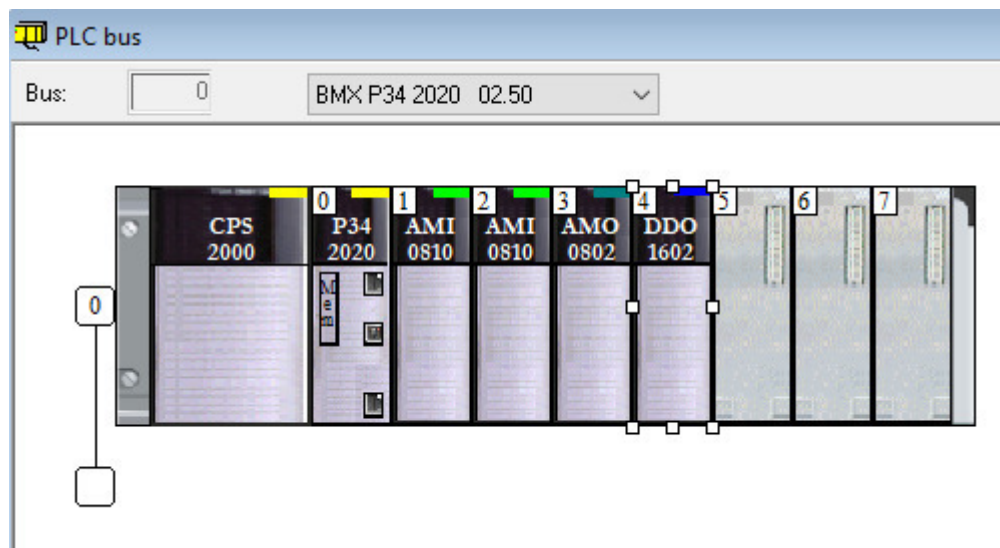


Рис. 3.1. Проектне компонування контролера M340 процесу виробництва кислоти

Таблиця 3.2. Специфікація комплексних засобів

№	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код об'єднання	Завод-виробник	Одиниця виміру	Кількість
1	2	3	4	5	6	7
Програмований логічний контролер Modicon M340						
1	Модуль живлення 100...240 VAC, 20 Вт BMX CPS 2000	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
2	Процесорний модуль BMX P34 2020	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1

3	Модуль аналогових вхідів BMX AMI 0810	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		2
---	---------------------------------------	-----------------------	--	--------------------	--	---

Продовження табл. 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
4	Модуль аналогових виходів BMX AMO 0802	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
5	Модуль дискретних виходів BMX DDO 1602	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		1
6	20 контактна знімна колодка з гвинтовими зажимами BMX FTB 2010	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		2
7	28 контактна знімна клемна колодка BMX FTB 2820	Каталог Modicon M 340		Schneider Electric		2

Принципова схема підключення контурів вимірювання, управління і сигналізації розроблені для процесу окислення в реакторі на основі схеми автоматизації. Схема підключення має у своєму складі вхідні і вихідні модулі мікропроцесорного контролера. На них показують датчики і виконавчі елементи та спосіб їх підключення до контролера. Схема підключення наведена на листі 2 графічної частини і міститься у Додатку 2.

.Для регулювання витрати аміаку після кожної фільтрації, температури, рівня в реакторі, фільтрах, витрати повітря та аміаку використовуються датчики із вихідним сигналом 4-20 мА.

Передбачено автоматичний та ручний режими роботи відцентровим насосом перекачки аміаку.

Система автоматизації має аварійну світлову та звукову сигналізацію процесу за допомогою світлодіодної лампи HL1 та сирени HA1.

Для всіх контурів на схемі поставлені плавкі запобіжники з 2-ма виводами пристрою F1-F3 на 0,35 А. Сигналізація технологічних параметрів реалізована за

допомогою SCADA програми на персональному комп'ютері (ПК). Блок-схема алгоритму функціонування фільтрів реактора показано на рис. 3.2.

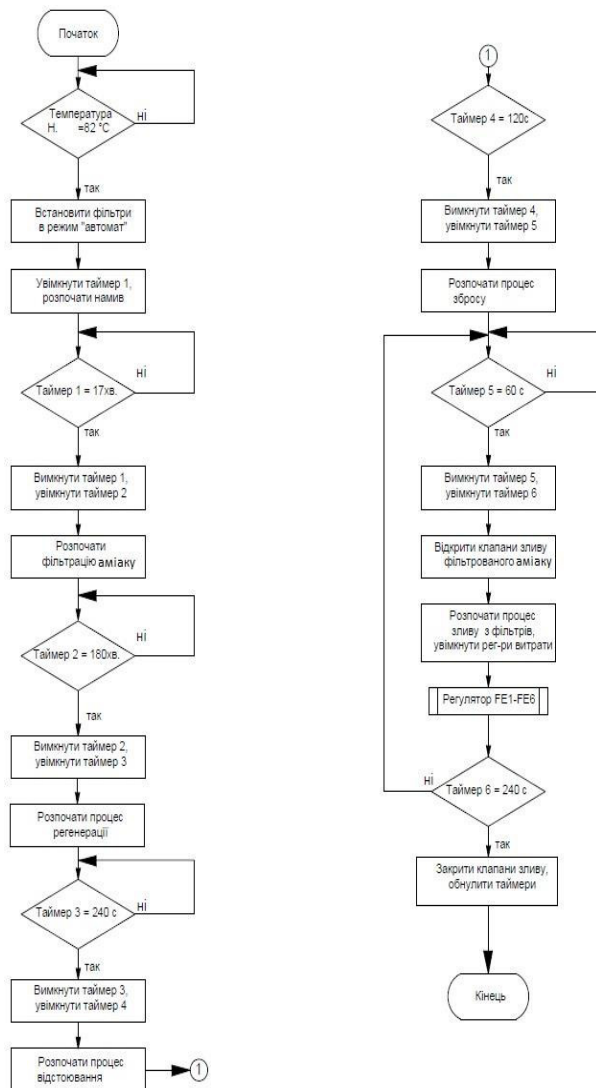


Рис. 3.2. Алгоритм роботи реактора окислення

### 3.2. Дисплейна мнемосхема процесу виробництва азотної кислоти

Vijeo Citect, який є частиною програмного забезпечення Collaborative, також є частиною PlantStruxure, нової архітектури автоматизації процесів Schneider Electric і використовується для побудови систем диспетчеризації.

Vijeo Citect - це надійна та гнучка система з високою продуктивністю, розроблена для використання в будь-якій галузі промисловості в системах управління даними та збору даних.

Системи диспетчеризації створюються за допомогою зручних потужних засобів візуалізації та функціональних можливостей, що дозволяє оператору

повністю контролювати хід технологічного процесу та вчасно реагувати на можливі ситуаційні відхилення, тим самим підвищувати його ефективність. Інструменти конфігурації Vijeo Citect у поєднанні із потужними функціональними можливостями дозволяють досить швидко та легко розробляти різноманітні рішення для систем диспетчеризації будь-якого розміру.

Деталізація використання SCADA - програми фільтрів аміаку періодичної дії типу МВЖ показана на рис. 3.3-3.5.

Таблиця 3.2. Таблиця аналогових на дискретних змінних для SCADA програми

Ім'я змінної	Адреса	Настроювання						
		Пер. опит.	Перетворення		Аварійні межі			
			Конт. одиниці	Фіз. Одиниці	Ав. мін.	Перед ав. мін.	Перед ав. макс.	Ав. макс.
1	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура нефільтрованого аміаку	%IW0.1.0	0,1с	0-10000	56 °С	80	81	83	84
Витрата повітря МВЖ №1	%IW0.1.2	0,1с	0-10000	65 м³/год	74	75	77	78
Витрата аміаку МВЖ №2	%IW0.1.3	0,1с	0-10000	61 м³/год	70	71	73	74

Продовження табл. 3.2.

1	3	4	5	6	7	8	9	10
Витрата аміачної і повітряної суміші МВЖ №3	%IW0.1.4	0,1с	0-10000	52 м³/год	66	67	69	70
Витрата повітря МВЖ №4	%IW0.1.5	0,1с	0-10000	44м³/год	64	65	67	68
Витрата повітря МВЖ №5	%IW0.1.6	0,1с	0-10000	52 м³/год	62	63	65	66
Витрата аміаку МВЖ №6	%IW0.2.0	0,1с	0-10000	46 м³/год	60	61	63	64

Рівень в збірнику	%IW0.2.1	0.1с	0-10000	0-2 м	0.5	1	5.2	5.5
Рівень в реакторі	%IW0.2.2	0.1с	0-10000	0-5 м	0.5	1	5.2	5.5
Тиск в трубопроводі перед фільтром	%IW0.2.3	0.1с	0-10000	3 кПа	4.8	4.9	5.9	5.2
Рівень в реакторі	%IW0.2.4	0.1с	0-10000	0-3 м	0.5	1	3.2	3.5
Клапан подачі аміаку МВЖ № 1	%QW0.3.0	0,1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Клапан подачі повітря МВЖ № 2	%QW0.3.1	0,1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Клапан подачі повітря МВЖ № 3	%QW0.3.2	0,1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Клапан подачі аміаку МВЖ № 4	%QW0.3.3	0,1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Клапан подачі повітря МВЖ № 5	%QW0.3.4	0.1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Клапан подачі повітря МВЖ № 6	%QW0.3.5	0.1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Магнітний пускач аміаку	%Q0.4.0	0.1с	0-10000	0-1	0	0	1	1

Продовження табл. 3.2.

1	3	4	5	6	7	8	9	10
Світлова аварійна сигналізація	%Q0.4.2	0.1с	0-10000	0-1	0	0	1	1
Звукова аварійна сигналізація	%Q0.4.3	0.1с	0-10000	0-1	0	0	1	1

Таблиця 3.3. Таблиця мнемосхем проекту

Назва мнемосхеми	Тип мнемосхеми	Призначення мнемосхеми
1	2	3

<p>Загальний вигляд процесу окислення</p>	<p>Постійна</p>	<p>Головна мнемосхема проекту. На ній зображена спрощена машино-апаратна схема відділення окислення в реакторі. На мнемосхемі нанесені елементи візуалізації процесу у вигляді динамічних зображень рівня, елементів для виведення значень технологічних параметрів, кольорова індикація цих параметрів для сигналізації критичних значень величин та елементи керування процесом: кнопки для управління клапанами, кнопки переходу в інші мнемосхеми.</p>
<p>Тренд об'єму фільтрації і витрати після фільтрів</p>	<p>Спливаюча</p>	<p>На даній мнемосхемі можна спостерігати за зміною регульованих змінних у вигляді трендових діаграм в режимі реального часу, ведення історії процесу, перехід на головну мнемосхему, зміна заданих значень параметрів в реальному часі (зміна витрати фільтрованої аміачної суміші після фільтрів).</p>
<p>Налаштування режимів фільтрації</p>	<p>Спливаюча</p>	<p>На даній мнемосхемі зображено циклограму роботи режиму окислення його етапи. Наочно показано, в якому режимі перебуває кожен з 6-ти фільтрів МВЖ. Вказано час тривалості кожного етапу фільтрації.</p>
<p>Налаштування роботи МВЖ фільтрів</p>	<p>Спливаюча</p>	<p>На даній мнемосхемі зображено вікно налаштувань роботи МВЖ фільтрів, в якому передбачено вибір типу управління, часу етапів фільтрації, режим виводу і т.д.</p>

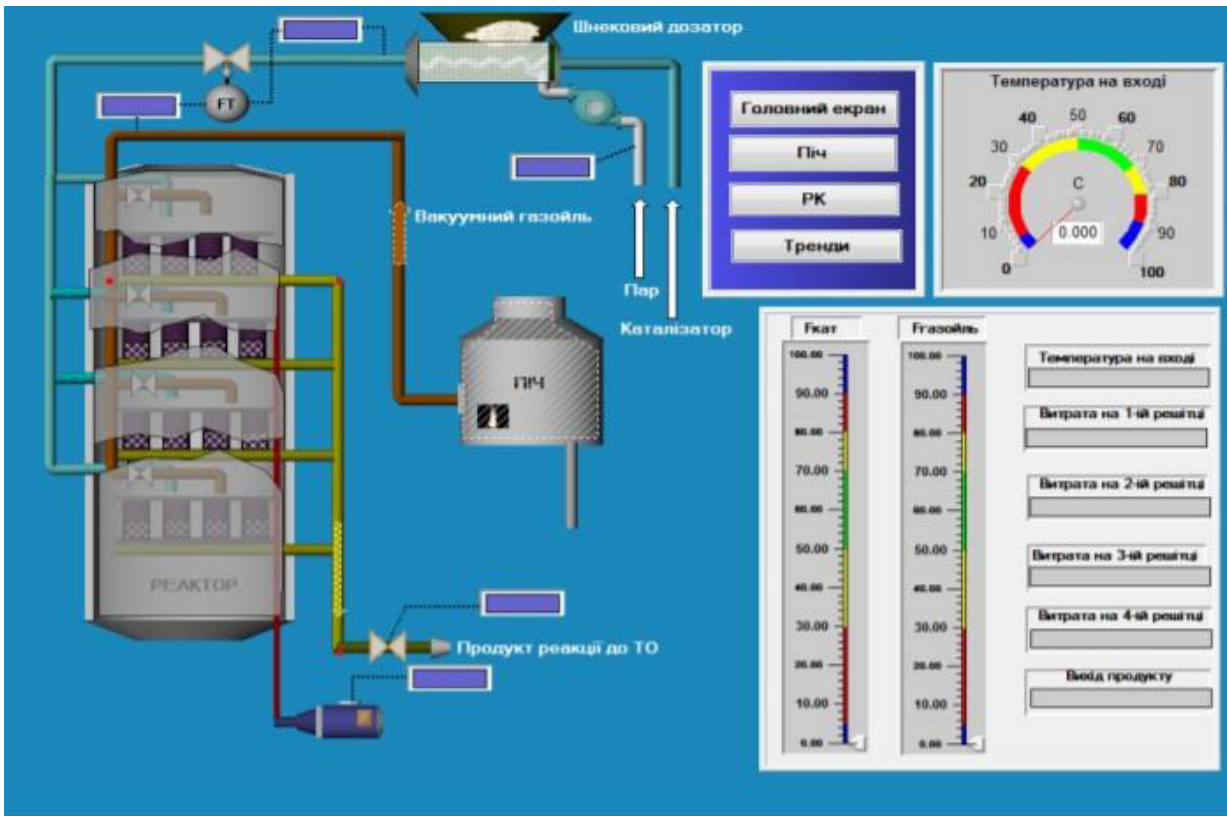


Рис. 3.3. Мнемосхема SCADA – програми процесу окислення в реакторі при виробництві азотної кислоти

Циклограма роботи МВЖ-фільтра

№	Режим	Цикл	Етапи фільтрації										Час етапу (хв:сек)	
			Стоп	Набір	Намив	Фільтр	Пауза	Реген	Відстій	Пауза	Зброс сусп.	Пауза		Зброс фільтр.
1	Обслуг.	п.цикл1	0	1	2	3	8	4	5	9	6	10	7	0:00
2	Автомат	цикл												2:22
3	Обслуг.	п.цикл1												0:00
4	Автомат	цикл												14:08
5	Автомат	п.цикл1												1:40
6	Рез.вив.	п.цикл1												9:32
7														
8														
Настройки часу (хв:сек)			T2 намив		2:50		T5 відстій		1:00					
			T3 фільтр.		14:20		T6 Н.сік		0:30					
			T4 реген.		0:25		T7 Ф.сік		0:40					
													Esc Вихід	

Рис.3.4. Дисплейна мнемосхема настрій режимів фільтрування

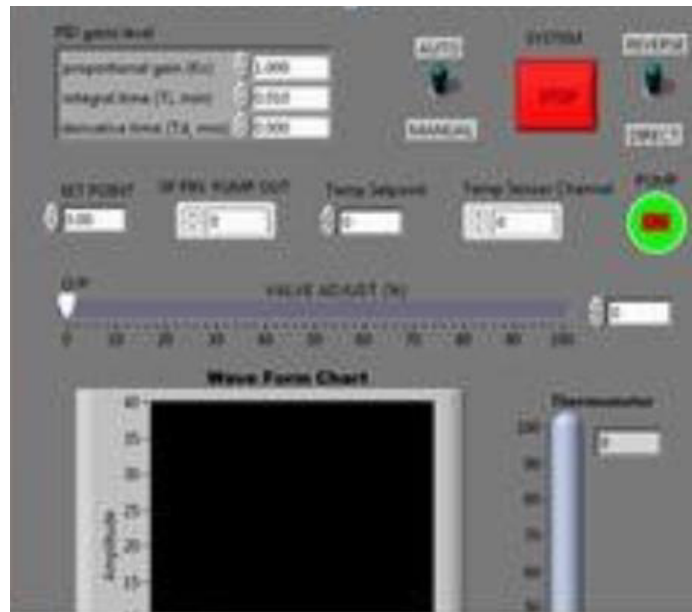


Рис.3.5. Дисплейна мнемосхема налаштувань роботи при окислювальному процесі в реакторі

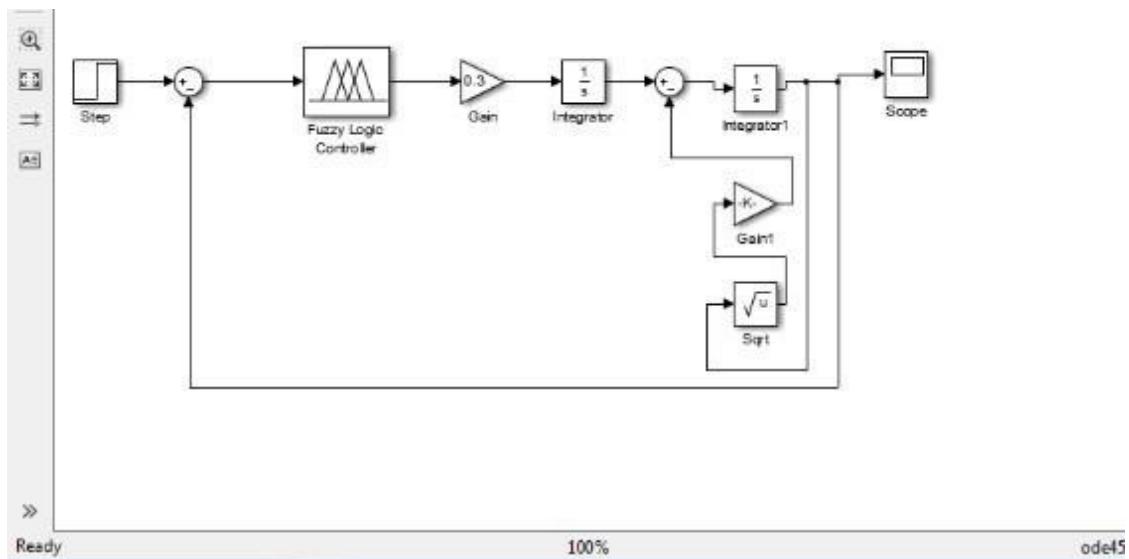


Рис.3.6. Схема об'єкта з нечітким регулятором виконана в MATLAB

### 3.3. Побудова структури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

Важливою задачею комп'ютеризації технологічних процесів є впровадження комп'ютерних інформаційних систем (у тому числі аналітичних систем підтримки прийняття рішень – СППР). Відсутність інформаційних систем широкого профілю призводить до неможливості застосування будь-яких інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Таким чином, актуальною задачею є створення єдиної інформаційної системи із самою широкою аналітичною підтримкою діяльності користувачів. Це означає, що необхідно

створювати єдину базу знань і даних (БЗД) з уніфікованим форматом представлення даних, проектувати і створювати програмні реалізації інтерфейсів для роботи з БЗД, а також комп'ютерну систему підтримки прийняття рішень (СППР), що використовує інформацію з цієї бази знань і даних. При такому підході автоматично створюються умови для отримання інформації у стандартизованому представленні, що надає можливість застосовувати належну аналітичну обробку.

Отже, виникають передумови для впровадження у технологічну діяльність підприємства формалізованих систем підтримки прийняття рішень (наприклад, таких, що використовують алгоритми розв'язання оптимізаційних задач, прогнозування, планування, аналізу тощо). Накопичені дані і алгоритмічні процедури можуть стати основою для бази знань потужнішої інтелектуальної системи – експертної системи з широким колом поставлених задач.

Таким чином, повноцінна комп'ютеризація діяльності підприємства, в тому числі і технологічного процесу (незалежно від типу системи, що проектується), спирається на ядро інформаційної системи у вигляді бази знань і даних і відповідних чисельних процедур для обробки даних з метою моделювання і прогнозування відповідних технологічних процесів.

Структурна експертної системи підтримки прийняття рішень наведена на рис. 3.7.

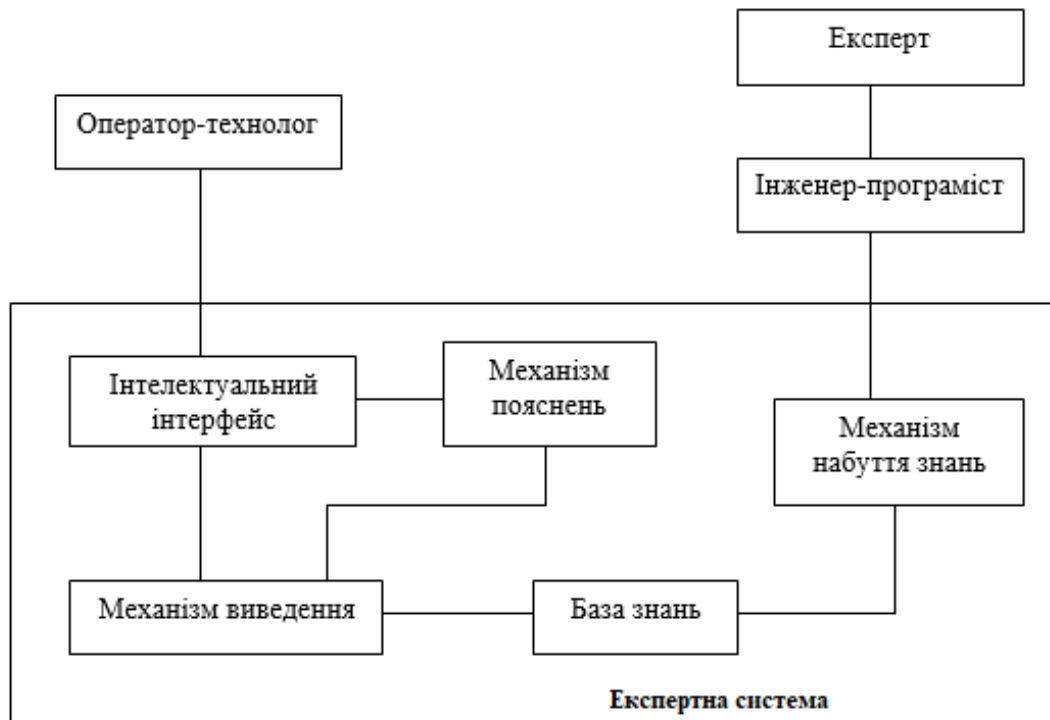


Рис. 3.7. Структура експертної системи

Центральним компонентом експертної системи є база знань, яка виступає по відношенню до інших компонентів як змістовна підсистема, складова основну цінність.

**База знань** - це сукупність одиниць знань, які представляють собою формалізоване за допомогою деякого методу подання знань відображення об'єктів проблемної області та їх взаємозв'язків, дій над об'єктами і, можливо, невизначеностей, з якими ці дії здійснюються.

В якості методів представлення знань найчастіше використовуються або правила, які об'єкти (фрейми), або їх комбінація.

**Інтелектуальний інтерфейс.** Обмін даними між кінцевим користувачем і ЕС виконує програма інтелектуального інтерфейсу, яка сприймає повідомлення користувача і перетворює їх в форму подання бази знань і, навпаки, переводить внутрішнє уявлення результату обробки у формат користувача і видає повідомлення на необхідний носій.

Найважливішим вимогою до організації діалогу користувача з ЕС є природність, яка не означає буквально формулювання потреб користувача пропозиціями природної мови, хоча це і не виключається в ряді випадків.

Важливо, щоб послідовність розв'язання задачі була гнучкою, відповідала уявленню користувача і велася в професійних термінах.

**Механізм виведення.** Цей програмний інструментарій отримує від інтелектуального інтерфейсу перетворений у внутрішнє представлення запит, формує з бази знань конкретний алгоритм вирішення задачі, виконує алгоритм, а отриманий результат надається інтелектуальному інтерфейсу для видачі відповіді на запит користувача. В основі застосування будь-якого механізму виведення лежить процес знаходження відповідно до поставленої мети і описом конкретної ситуації (вихідних даних), що відносяться до вирішення одиниць знань (правил, об'єктів, прецедентів тощо) і зв'язування їх при необхідності в ланцюжок міркувань, що приводить до певного результату.

**Механізм пояснень.** В процесі або за результатами рішення задачі користувач може запросити пояснення або обґрунтування ходу рішення. З цією метою ЕС повинна надати відповідний механізм пояснення.

Пояснювальні здатності ЕС визначаються можливістю механізму виведення запам'ятовувати шлях вирішення завдання. Тоді на питання користувача "Як?" і "чому?" отримано рішення або запитані ті чи інші дані, і система завжди може видати ланцюжок міркувань до необхідної контрольної точки, супроводжуючи видачу пояснення заздалегідь підготовленими коментарями. У разі відсутності рішення задач пояснення повинен видаватися користувачеві автоматично.

Корисно мати можливість і гіпотетичного пояснення рішення задачі, коли система відповідає на питання, що буде в тому чи іншому випадку. Однак не завжди користувача цікавить повне виведення рішення, що містить безліч непотрібних деталей. В цьому випадку система повинна вміти вибирати з ланцюжка тільки ключові моменти з урахуванням їх важливості і рівня знань користувача. Для цього в базі знань необхідно підтримувати модель знань і намірів користувача.

Якщо ж користувачеві все ще не зрозумілий отриману відповідь, то система повинна бути здатна в діалозі на основі підтримуваної моделі проблемних знань

навчати користувача тим чи іншим фрагментам знань, тобто розкривати більш докладно окремі поняття і залежності, якщо навіть ці деталі безпосередньо у висновку не використовувалися.

**Механізм набуття знань.** База знань відображає знання експертів (фахівців) у цій проблемній області про дії в різних ситуаціях або процесах рішення характерних завдань. Виявленням подібних знань і подальшим їх поданням до бази знань займаються фахівці, інженери-програмісти. Для введення знань в базу і їх подальшого оновлення ЕС повинна володіти механізмом придбання знань. У найпростішому випадку використовується інтелектуальний редактор, який дозволяє вводити одиниці знань в базу і проводити їх синтаксичний і семантичний контроль, наприклад, на несуперечливість. У більш складних випадках інженер-програміст повинен залучати знання шляхом спеціальних сценаріїв інтерв'ювання експертів, або з введенням прикладів реальних ситуацій, як у випадку індуктивного виводу, або з текстів, або з досвіду роботи самої інтелектуальної системи.

Отже, експертна система - це система штучного інтелекту, побудована на основі глибоких спеціальних знань про деяку предметну область (отриманих від експертів-фахівців цієї області). Експертні системи - один з небагатьох видів систем штучного інтелекту, які набули широкого поширення і знайшли практичне застосування.

Технологія експертних систем є одним з напрямків нової галузі дослідження, яка отримала найменування штучного інтелекту (Artificial Intelligence - AI). Дослідження в цій області сконцентровані на розробці і впровадженні комп'ютерних програм, здатних емулювати (імітувати, відтворювати) ті області діяльності людини, які вимагають мислення, певної майстерності і накопиченого досвіду.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи відповідно до поставленої мети були отримані наступні результати:

- проведений аналіз технологічного процесу виробництва азотної кислоти, зокрема процесу у реакторі окислення, проаналізовано існуючі системи автоматизації;

- проаналізовано інформаційно-програмне забезпечення, що надало можливість використати інтелектуальні системи, схеми систем інтелектуального аналізу даних;

- провести розробку управління процесу виробництва на основі контролера М340 від фірми Schneider Electric, описано функції що інтелектуалізуються;

- використання і розробка діаграм варіантів використання Use case diagram методології розробки плану дій та оцінки форм залучення осіб, що відповідальні за прийняття рішень;

- розробили діаграми вимог Requirements diagram режиму та роботи обладнання при процесі виробництва азотної кислоти;

- реалізована розробка діаграм послідовностей Sequence diagram створення інтелектуальної системи для стимуляції прийняття рішень;

- складена мнемосхема процесу окислення з використанням SCADA-програми Vijeo Citect;

- розроблена структура інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. Часть 1. / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др. – К.: Цукор України, 2003. – 352 с
2. Сапронов А. Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 436с.
3. Обоснование автоматического регулирования производственных процессов сахарных заводов / С.А. Ляшенко, А.М. Фесенко, А.С. Ляшенко и др. // Сборник докладов и каталог второй всероссийской конференции. Реконструкция химической промышленности – 2010. Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2015/fkita/kyrychok/library/article4.htm>
4. Ляшенко С. А. Концепции повышения эффективности АСУ ТП при производстве сахара в Украине / С.А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 74. - С. 54-63.
5. Стратегия автоматизации производства сахара / В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, О. А. Потапов и др. // Сахар. – 2002. – №1. – С. 28-33.
6. Волошин З.С. Автоматизация сахарного производства. 2-е изд. перероб. и доп. / З.С. Волошин, Л.В. Макаренко, П.В. Янковский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
7. Ладанюк А.П. Управление технологическими комплексами в компьютерно-интегрированных системах / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, В.Д. Кишенько // Проблема управления и информатики, 2000. - №2. - с. 72-79.
8. Ладанюк А .П. Комп'ютерно-інтегровані системи управління в харчовій промисловості / А .П. Ладанюк, В.Г. Трегуб // Наукові праці УДУХТ, 2000. - №8.-  
с. 56-61.

9. Скаковский, Ю. М. Автоматизированная система управления технологическими потоками и производительностью сахарного завода : автореф. дис. канд. техн. наук. Одеса, 1988. – 16 с.

10. Ладанюк А.П. Сучасні системи автоматизації бурякоцукрового виробництва / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб // Цукор України. – 2005. – с. 39-41.

11. Соколов В.А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности: Учеб. / В.А. Соколов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 445 с.

12. Современные технологии в АСУ ТП [Электронный ресурс] / ООО «ТОМИУС-ПРОЕКТ», 2010. Режим доступа: <http://tomics.tomsk.ru/site/pages.php>

13. Ляшенко С. О. Автоматизація процесів керування технологічними відділеннями цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу : дис. д-ра техн. наук : 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / С. О. Ляшенко; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2015. – 417 с.

14. Сорокин С. Micro PC и PC/104: два похода / С. Сорокин. – Современные технологии автоматизации. – № 1/1996. – с. 16-20. Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/326602.pdf>

15. Меркеев И. Фирма Octagon Systems / И. Меркеев. – Современные технологии автоматизации. – № 1/1996. – с. 42-43. Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/326607.pdf>

16. Чернобровцев А. Ethernet в промышленности / А. Чернобровцев // Computerworld Россия. -2000. - № 32. Режим доступа: <https://www.osp.ru/cw/2000/32/6461/>.

17. Стратегия автоматизации производства сахара / В.Ю. Белоусов, А.Ф. Литвинов, О.А. Потапов, Ю.Н. Горчинский //Сахар. – 2002. - №1.

Режим доступу: <http://www.loes.ru/main/publication/1-02-2002-p.html>.

18. Обоснование автоматического регулирования производственных процессов сахарных заводов / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». – Харків, 2009. – Вип. 88. – С. 104-109.

19. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : [монографія] / А. П. Ладанюк, О. А. Ладанюк, Р. О. Бойко та ін. – К. : Інтер Логістик Україна. - 2015. - 408 с.

20. Прокопенко Т. О. Інтелектуальна інформаційна система оцінки ефективності підприємств цукрової промисловості : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.06 “Інформаційні технології” / Т. О. Прокопенко. – К. - 2004. – 21 с.

21. Методи сучасної теорії управління / А. П. Ладанюк, В. Д. Кишенько, Н. М. Луцька та ін. – К. : НУХТ, 2010. – 190 с.

22. Комплексный подход к автоматизации сахарного производства. [Электронный ресурс] // Комплексные технологические системы : [сайт] / Комплексный подход к автоматизации сахарного производства. – Режим доступу: <http://www.cts.com.ua/ru/solutions/solution1/>

23. Белоусов В. Ю. Консалтинг и автоматизация производства [Электронный ресурс] / В. Ю. Белоусов, А. Ф. Литвинов, Ю. Н. Горчинский // Сахар. -2003.- № 1. Режим доступу: <http://www.loes.ru/main/publication/1-02-2003.html>.

24. Teplocom. Energy saving solutions / ООО "Теплоком", 2010.

25. Система автоматизації фільтрів П9-УФЛ. Режим доступу:  
[https://www.magmas.com.ua/projects/gnidava/gnidava\\_filters.php](https://www.magmas.com.ua/projects/gnidava/gnidava_filters.php)

26. Система автоматизації фільтрів МВЖ. Режим доступу:  
[https://www.magmas.com.ua/projects/dubno/dubno\\_filters.php](https://www.magmas.com.ua/projects/dubno/dubno_filters.php)

27. Система автоматизації фільтрування Режим доступу:  
[https://www.magmas.com.ua/projects/knd/knd\\_filters.php](https://www.magmas.com.ua/projects/knd/knd_filters.php)

28. Яковлев О. Системы автоматизации технологических процессов сахарного производства / О. Яковлев, С. Танцюра, А. Войтюк и др. - Современные технологии автоматизации. – № 1/2000.- с. 44-53. Режим доступу:  
<https://www.cta.ru/cms/f/366648.pdf>

29. Гаскаров Д.В. Интеллектуальные информационные системы; Интеллектуальная информационная технология, экспертные системы: Учеб. пособие / Д.В. Гаскаров, Д.В. Сикулер, В. В. Фомин, И.К. Фомина. СПб.; СПГУВК, 2004. - 362 с.

30. Попов Э.В. Искусственный интеллект: В 3 кн. Ки. Ё. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э. В. Попова. М: Радио и связь, 1990. - 464 с.

31. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Бриллюэн Л.; [пер. с фр. Е.В. Гайдукова и Н.Н. Родман]. М.: Физматгиз, 1960. - 749 с.

32. Марманис Х. Алгоритмы интеллектуального Интернета / Х. Марманис, Д. Бабенко [пер. с англ.], СПб.; Символ- Плюс, 2011. - 480с.

33. Фомин В.В. Автоматизация логического моделирования программного обеспечения с применением формального аппарата семиотических систем. / В.В.Фомин СПб.: Энергоатомиздат, Санкт Петербургское отделение, 2000. -250 с.

34. Трегуб В.Г. Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем. Метод. вказівки до викон. курс. проекту для студ. спец. 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. / В.Г.Трегуб, А.П.

Ладанюк, І.В.Ельперін. – К.: НУХТ, 2002. (бібл. номер – 6055)

35. Трегуб В.Г. Основи проектування систем автоматизації: Метод. вказівки до вивч. дисципліни та викон. контрол. роботи для студ. напряму підготовки 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч./ В.Г.Трегуб. – К.: НУХТ, 2006. (бібл.номер – 6717)

36. Трегуб В.Г. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч./ В.Г.Трегуб. – К.: НУХТ, 2008. (бібл. номер – 7058)

37. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навч. посіб. / І.В. Ельперін. – К.:НУХТ,2003.- 320 с.

38. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 1 / А.Л. Нестеров: – СПб. Издательство: ДЕАН. 2006. – 844 с.

39. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 2. / А.Л. Нестеров: - СПб. Издательство: ДЕАН. 2009. – 944 с.

40. Попович М.Г Теорія автоматичного керування: Підручник./ М.Г. Попович., О.В. Ковальчук -К.: Либідь, 1997.

41. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: Навчальний посібник./ В.Г. Трегуб – К.: НУХТ, 2006 – 139 с.

42. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник./ О.М. Пупена, І.В.Ельперін, Н.М.Луцька, А.П. Ладанюк – К.:Вид.-во "Ліра-К", 2011. - 552 с.

43. Трегуб В.Г. Методичні вказівки до проектування пунктів управління мікропроцесорних систем автоматизації в курсовому й дипломному проектуванні / В.Г. Трегуб. - К: КТІХП, 1993. - 36 с-

44. Трегуб В.Г. Методичні вказівки до проектування принципів схем мікропроцесорних систем автоматизації при виконанні курсових та дипломного проекту / Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Карнаух А.О. - К.: УДУХТ, 1994. - 56 с.

45. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник / В.Г. Трегуб. - К.:Видавництво Ліра-К, 2019. – 344 с.

46. Технологические отклонения в сахарном производстве (причины, предупреждение, устранение) под ред. А. Коваржика: перевод с чешского, предисловие и редакция И.Ф. Бугаенко. – М.:Агропромиздат, 1986. – 262 с.

47. Мацяшек Л.А. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML 2.0, 3-е изд. : Пер. с англ. — М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2008. — 816 с.

48. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с/

49. A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. 2-d ed/ /Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, Elsevier Inc. 2012.

50. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Б90 Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: Пер. с англ. Мухин Н. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 496 с.

51. Проектування інформаційних системи на основі уніфікованої мови моделювання. Режим доступу:

[https://elearning.sumdu.edu.ua/free\\_content/lectured:de1c9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/204841/index.html](https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:de1c9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/204841/index.html)

52. Богуш В. М. Теоретичні основи захищених інформаційних технологій : навч. посібн. / В. М. Богуш, О. А. Довидьков, В. Г. Кривуца. — К. : ДУІКТ, 2010. – 454 с.

53. Буйницька Оксана. Інформаційні технології та технічні засоби навчання :навчальний посібник / Оксана Буйницька. – К.:ЦУЛ. – 2019. – 240 с.

54. Бутко М.П. Теорія прийняття рішень: підручник /М.П. Бутко, І. М. Бутко, В.П. Мащенко, М.І. Мурашко, Л.Д. Оліфіренко, Т.В. Пепа, Г.М. Самійленко. – К.: ЦУЛ. – 2018. – 360 с.

55. Волошин, О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет". - 2010. – 336 с.

56. Гаркуша О.В. Моделі і методи прийняття рішень в аналізі та аудиті: навч. посіб. / Н.М. Гаркуша, О.В. Цуканова, О.О. Горошанська. К.: Видавництво «Знання». – 2012. – 591 с.

57. Демиденко М.А. Системи підтримки прийняття рішень : навч. посіб. / М.А. Демиденко; Нац. гірн. ун-т. — Електрон. текст. дані. – Д. : 2016. – 104 с. – Режим доступу: <http://nmu.org.ua>

58. Остапенко Ю.О., Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів вищих закладів освіти, що навчаються за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – К.: Задруга, 1999. – 424 с.

59. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; Под ред. А.С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

60. Лукінюк М. В., Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2007. – 436 с.

61. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448 с.

62. Грищенко А.З., Автоматическое управление в производстве химических волокон. – М.: Химия, 1975. – 296 с.

63. Лукінюк М. В., Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології» – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.

64. Общая химическая технология: учебное пособие: в 2 ч. / К.В. Брянкин, Н.П. Утробин, В.С. Орехов, Т.П. Дьячкова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 2 – 172 с.

65. Моделирование систем: метод. указания / сост.: С.В. Фролов, А.А. Третьяков, С.Б. Путин, С.А. Скворцов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 32 с.

66. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев – К: Наука, 1965 - 524с.

67. Брянкин, Н.П. Утробин, В.С. Орехов, Т.П. Дьячкова Общая химическая технология [Текст]: учебное пособие: в 2 ч. / К.В. . – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 2 – 172 с.

68. Шишов, О.В. Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие / О.В. Шишов. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 397 с.

69. Автоматизація настройки систем управління / В.Я. Ротач, В.Ф. Кузищин, А.С. Ключев і ін. - М.: Вища школа, 1984. - 272 с.

70. Технологія зв'язаного азоту і азотних добрив, Мінськ : БГТУ, 2011.

71. Бесекерский В.А., Попов О.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972. - 768 с.

72. Дорф Р., Бішоп Р. Сучасні системи управління / Пер. з англ.

73. Б.І. Копилова. - М.: Лабораторія базових знань, 2002. - 832 с.

74. Ємельянов С.В., Коровін С.К. Нові типи зворотного зв'язку. - М.: Наука, 1997. - 352 с.

75. Каляев А.В. Багатопроцесорні системи з архітектурою, що програмується. - М.: Радио и связь, 1984. - 240 с.

76. Спицын А.В., Мазуров В.М. Высококачественная адаптивная система управления с ПИ-регулятором // Изв. ТулГУ. – 1997. – Т. 1, вып. 2. – С. 11–17.

77. Філіпс Ч., Харбор Р. Системи управління зі зворотним зв'язком. - М. :  
Лабораторія базових знань, 2001. - 616 с.

78. Шидловський С.В. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник. - Томськ: Вид-во НТЛ, 2005. - 40 с.

79. Попок Е. В. Моделирование промышленного реактора низкотемпературного синтеза метанола / Е. М. Юрьев, А. В. Кравцов // Фундаментальные исследования. – Химические науки. – 2012. № 3. – С. 446–451.

80. Бродський Б. Е. Про завдання якнайшвидшого виявлення моменту зміни імовірнісних характеристик випадкової послідовності / Б. Е. Бродський, Б. С. Дарховський // Автоматика і телемеханіка. – 1983. – № 10. – С. 125–131.

81. Бродський Б. Е. Непараметрический метод виявлення моментів перемикання двох випадкових послідовностей / Б. Е. Бродський, Б. С.

82. Дарховський // Автоматика і телемеханіка. – 1989. – № 10. – С. 66-74.

83. Кербер М. Л. Термопластичные полимерные композиционные материалы для автомобилестроения / М. Л. Кербер, Т. П. Кравченко // Пластические массы. – 2000. – № 9. – С. 34–40.

84. Автоматизація типових технологічних процесів і установок: навч. посіб. [для студент. вищ. навч. закл.] / А. М. Коритін, Н. К. Петров, С. Н. Радімов. К. : ІЗМН, 1988. – 432 с.

85. Строганов Р. П. Комп'ютерне управління технічними системами. [для студ. вищ. навч. закл.] / Р. П. Строганов, Л. В. Бабко, В. С. Корольов. – К. : ІЗМН, 1999. – 110 с.

86. Дворецький С. В. Основи проектування хімічних виробництв / С. В.

87. Дворецький, Р. С. Кормильцин. – М. : издво «Машинобудування-1», 2005. – 280 с. 8. Новий довідник хіміка і технолога. Загальні відомості. Будова речовини. / під.заг. ред. А. В. Москвіна. – СПб.: АНО НВО «Професіонал». 2006. – 1464 с. – ISBN: 5-94365-046-06.