

Микитів Юрій Іванович

Розробка та дослідження автоматизованої системи керування процесом виробництва сірчаної кислоти.

Керівник: доц. Миктник М.М.

Development and study of an automatic control system for sulfuric acid production

## *АНОТАЦІЯ*

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини роботи становить \_\_\_ слайдів.

Об'єм пояснювальної записки складає \_\_\_ друкованих сторінок формату А4 (210×297), об'єм додатків – \_\_\_ друкованих сторінок формату А4.

Робота складається з шести розділів, в яких нараховується \_\_\_ рисунків та \_\_\_ таблиць з даними.

В роботі використано \_\_\_ літературних джерел.

У роботі розроблено автоматизовану систему для управління процесом виробництва сірчаної кислоти з використанням програмованого логічного контролера Овен 110-60. Було вибрано вимірювальні датчики та виконавчі механізми для забезпечення автоматизованого контролю процесу. Було розроблено структурну схему системи та проведено комплексну автоматизацію технологічного процесу. Також в роботі було розроблено алгоритм функціонування системи.

Ключові слова: СІРЧАНА КИСЛОТА, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КОНТРОЛЕР, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>5</b>
<b>1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>7</b>
1.1 Сировинні джерела для сірчаноокислотного виробництва.....	7
1.1.1 Самородні сірчані руди .....	7
1.1.2 Сірчаний колчедан .....	8
1.1.3 Сірчаноокислі солі.....	9
1.1.4 Промислові відходи, що містять сірку.....	10
1.2 Методи виробництва сірчаної кислоти .....	11
1.2.1 Нітрозний метод.....	11
1.2.2 Контактний метод.....	14
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>15</b>
2.1. Характеристика початкового матеріалу та його властивостей. ....	15
2.2. Технологічний процес виготовлення кінцевого виробу. ....	16
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....</b>	<b>28</b>
3.1. Опис процесу отримання сульфатної кислоти та його технологічної схеми виробництва.....	28
3.2. Контроль і автоматика технологічного процесу.....	32
3.2.1. Вибір засобів автоматизації.....	33
3.3. Функціональна схема автоматизації.....	38
3.4. Опис приладів.....	40
3.5. Головний контролер системи .....	42
3.6. Модуль розширення додаткових входів/виходів для ПЛК .....	43
3.7. Підключення приладів до ПЛК і ПРМ. ....	44
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>46</b>
4.1. Ексергетичний аналіз.....	46
4.2. Концепція ексергії.....	47
4.2.1 Навколишнє середовище та мертві стани .....	49
4.3. Компоненти ексергії.....	50
4.3.1. Фізична ексергія.....	51
4.3.2. Хімічна ексергія .....	52
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>58</b>
5.1. Алгоритм роботи розробленої системи .....	58

<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>69</b>
<b>6.1. Розробка заходів з безпеки праці та охорони навколишнього середовища.....</b>	<b>69</b>
<b>6.2. Дія небезпечних і шкідливих факторів на організм .....</b>	<b>69</b>
<b>6.3. Токсичні властивості і вплив на навколишнє середовище виникають шкідливих речовин .....</b>	<b>71</b>
<b>6.4. Основні вимоги до упаковки, транспортування і зберігання сірчаної кислоти .....</b>	<b>73</b>
<b>6.5. Пропозиції щодо зменшення кількості викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище.....</b>	<b>74</b>
<b>ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ .....</b>	<b>76</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>77</b>

## ВСТУП

Сульфатна, або як її ще називають сірчана, кислота - це в'язка масляниста рідина, яка немає кольору та майже немає запаху. Температурою кипіння якої є приблизно 274 °С. Хімічна формула -  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Вона складає найбільший відсоток виробленого хімічного товару, який продається або комерційно використовується у світі. Її використовують в різних концентраціях: 78%, 93%, 96%, 98-99%, 100% та у вигляді різних олеумів.

Сірчану кислоту застосовують не тільки в хімічній промисловості, вона має ряд застосувань і в інших галузях. На сьогоднішній день найбільше її використовують при виготовленні фосфорних добрив. Вона відіграє важливу роль у переробці нафти, виробництві пігментів, миючих засобах, пластмасах та штучних волокнах, обробці сталі, електронних чіпах. Сірчану кислоту в різних кількостях використовують багато інших областей хімічної промисловості, такі як виробництво хімічних речовин фтору і різних фармацевтичних препаратів.

Також в деяких джерелах вона згадується як «надійний барометр промислової діяльності», саме кількість її споживання часто вважають показником загального стану розвитку країн. Зараз є й багато інших важливіших промислових показників (наприклад, споживання електроенергії), проте показник споживання саме сірчаної кислоти досі не втратила актуальності і вже протягом багатьох років відповідає загальноекономічним тенденціям світу [1].



# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Сировинні джерела для сірчаноокислотного виробництва

Вихідними речовинами для промислового виробництва сірчаної кислоти є сірчаний газ, кисень та вода. З цих вихідних речовин сірчаний газ є промисловим напівпродуктом сірчистих металів і спалення самородної сірки. З природних сірчистих металів спеціально для сірчаноокислотного виробництва використовують пірит або сірчаний колчедан, який складається в основному з сірчистого заліза  $\text{FeS}_2$ . Пірит добувають спеціально для цих цілей або отримують паралельно при добуванні природних сірчистих з'єднань кольорових металів. Їх в процесі виробництва піддають процесу обпалення, під час цього в якості побічного продукту одержують також сірчаний газ, який необхідний для отримання сірчаної кислоти.

Крім самородної сірки і металів сірчистого типу (свинцю, цинку, міді, заліза та інших), сірку в природі можна зустріти також у вигляді сірчаноокислих (кальцію, барію, магнію, натрію, заліза та інших). Сірка міститься в нафті і кам'яному вугіллі. Загальний вміст сірки в земній корі становить 0,1%. Основною сировиною при сірчаноокислому виробництві також можуть застосовувати певні відходи з інших промислових виробництв, наприклад фосфогіпс, кислі гудрони та різні травильні розчини [1].

### 1.1.1 Самородні сірчані руди

Поклади самородних сірчаних руд зустрічаються в трьох видах:

- осадові родовища;
- вулканічні родовища;
- поклади в брилях соляних куполів.

Для отримання сірчистого газу, з якого виготовляють сірчану кислоту, самородні сірчані руди піддаються обпаленню. Руди, які підходять для цього процесу повинні містити в собі приблизно 20% сірки.

### 1.1.2 Сірчаний колчедан

Головною сировиною для сірчаноокислих виробництв до сьогодні служить сірчаний колчедан, головною складовою частиною якого є двосірчисте залізо  $\text{FeS}_2$ , що містить 53,46% S і 46,54% Fe. Двосірчисте залізо існує в двох кристалічних типів:

- пірит, кристалізується в кубічній системі (густина 4,95 - 5,0 г /  $\text{см}^3$ );
- марказит, кристалізується в ромбічній системі (густина 4,55 г /  $\text{см}^3$ ).

Відомі наступні види сірчаного колчедану:

- звичайний сірчаний колчедан, що видобувається спеціально або паралельно при видобутку мідистих сірчистих руд;
- флотаційний колчедан, одержуваний як відходи при флотаційному збагаченні вмістимих мідь сірчистих руд;
- вуглистий колчедан, що отримується у вигляді відходів при видобутку та збагаченні вкопного вугілля.

У сірчаному колчедані міститься від 25 до 52% S і від 35 до 44% Fe.

Колір колчедану - зеленувато-сірий.

Сірчаний колчедан - найпоширеніший з сірчистих сполук матеріал: він зустрічається у всіх зонах земної кори.

Флотаційний колчедан отримують при виплавці міді з бідних міддю сірчистих руд, що містять від 3 до 8% міді.

Метод флотації заснований на різне ставлення до змочування водою різних мінералів. При флотації створюються такі умови, що частинки мінералів, які не змочуються водою, прилипають до бульбашок повітря і піднімаються вгору, а частинки мінералів, що змочуються водою, осідають на дно посудини.



Збагачена частина руди називається концентратом, а інша частина руди - флотаційними хвостами або флотаційним колчеданом. Із збагачувальної фабрики виходить дуже вологий флотаційний колчедан, до 80% і для використання в якості сировини він повинен бути попередньо відфільтрований і просушений.

Флотаційні піритні хвости містять 32 - 40% сірки. Якщо флотаційний колчедан піддати вторинній флотації для відділення піриту від порожньої породи, то вміст сірки в отриманому піритом концентраті можна підвищити до 46 - 50%.

Сірка в тій або іншій кількості міститься у всьому викопному вугіллі. Вона присутня в ньому у вигляді сірковмісних органічних сполук, сірчаноокислотних молей і піриту.

### **1.1.3 Сірчаноокислі солі**

У природі зустрічаються поклади сірчаноокислих солей різних металів. Особливо численні поклади гіпсу - водного сірчаноокислого кальцію.

Сірчаноокислий кальцій зустрічається також у вигляді:

- безводної солі - ангідриду  $\text{Ca SO}_4$ ;
- безводної солі - тенардиту  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- десятиводної солі - мірабіліту  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Значні також поклади важкого шпату (сірчаноокислого барію), купоросного сланцю (сірчаноокислого заліза), кізериту (сірчаноокислого магнію), алуніта (сірчаноокислого алюмінію у вигляді квасців).

Поряд з природним гіпсом для виробництва сірчаної кислоти може бути використаний також фосфогіпс, який являє собою відходи виробництва концентрованих фосфорних добрив.

Роботи по використанню гіпсу для сірчанокислового виробництва ведуться в наступних напрямках:

- розщеплення з отриманням сірчистого газу;
- відновлення до сірчистого кальцію, витіснення сірководню і подальша переробка останнього на сірчану кислоту і сірку;
- переробка в іншу сірчанокислу сіль, технічно більш важливу.

#### **1.1.4 Промислові відходи, що містять сірку**

У випалювальних печах ступінь вигорання сірки може коливатися від 25 до 75%. Газ, який отримують при цьому процесі, за складом не відрізняється від газу, який отримують при випаленні колчедану, і його можна застосовувати для виробництва сірчаної кислоти.

Коли спалюють вугілля в печах котельних установок, то сірка яка міститься в ньому у вигляді піриту і органічних сірковмісних сполук, перетворюється на сірчистий газ, який разом з відхідним газом котельних установок викидається в трубу. А під час процесу коксування вугілля з вмістом сірки приблизно 50% перетворюється в «коксвий» газ. Під час цього процесу більша частка сірки, яка переходить в газ (до 95%) попадає в нього у вигляді сірководню. У такому газі сірководень міститься 5 -25 г / м<sup>3</sup> сірки.

Сірчана кислота, яку застосовують для очищення нафтопродуктів, переходить у відходи виробництва нафтоперегінних заводів - кислі гудрони. По складу кислі гудрони - вельми складна суміш сірчаної кислоти, різних органічних сульфосполук та ін. Вміст кислоти в них стрибає від 20 до 50%. Отриманий таким чином сірчистий газ може бути направлений в сіркокислу установку, де її переболять в сірчану кислоту.

## 1.2 Методи виробництва сірчаної кислоти

Двоокис сірки безпосередньо з киснем не реагує, внаслідок чого для переробки її в кислоту використовують спеціальні методи. На сьогоднішній день існує два методи отримання сірчаної кислоти, відрізняє їх лише спосіб окислення  $\text{SO}_2$  [1].

- Контактний метод – його основною особливістю є те, що окиснення  $\text{SO}_2$  відбувається на твердих каталізаторах (контактах).
- Нітрозний метод – метод, під час якого для окису  $\text{SO}_2$  використовують окиси азоту, які отримують з азотної кислоти.

### 1.2.1 Нітрозний метод

За нітрозним методом окислення сірчистого газу відбувається завдяки окисам азоту. При цьому вищі окиси азоту (двоокис азоту  $\text{NO}_2$ , триокис  $\text{NO}_3$  азоту) відновлюються до окису азоту  $\text{NO}$ . Тоді окис азоту знову окислюється до вищих окисів безпосередньо киснем. Таким чином окиси азоту у виробництві сірчаної кислоти грають роль передавача кисню.

Нітрозний процес отримання сірчаної кислоти можна також розділити на 2 способи:

- Камерний
- Баштовий

### Камерний спосіб синтезу сірчаної кислоти

Принципальна схема виробництва сірчаної кислоти камерним способом зображена на рисунку 1.1.

У башті 1 на зустріч сірчистому газу, отриманому обпаленням сировини, течуть по насадці окиси азоту в сірчаній кислоті. У цьому розчині, який називають нітрозним, містяться різні окиси азоту ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) так, що в загальний їх склад відповідає  $\text{N}_2\text{O}_3$ . При дії на нітрозу гарячого

сірчастого газу (температура вхідного газу 280 - 400<sup>0</sup>С, а вихідного - 120<sup>0</sup>С) з неї виділяються окиси азоту, які разом із двоокисами сірки та киснем поступають у камери 2.

У камері синтез сірчаної кислоти відбувається окислення двоокису сірки в наслідок присутності парів води:

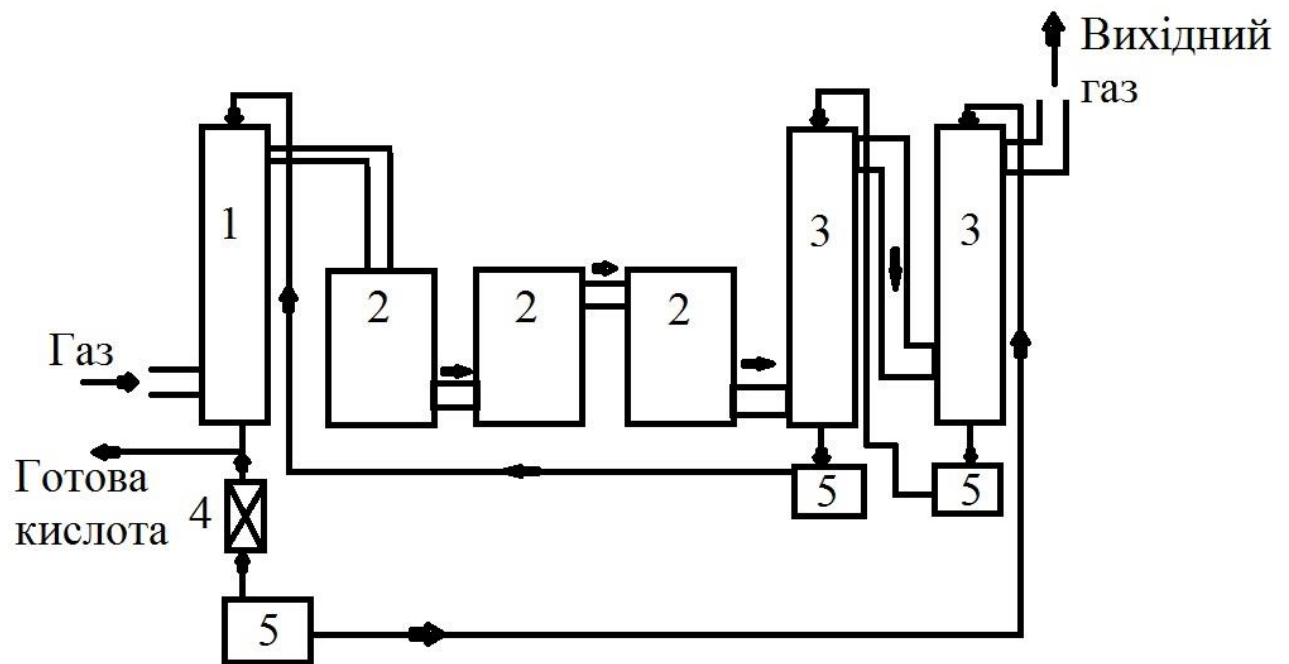
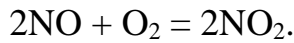
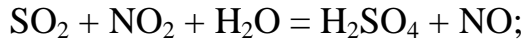
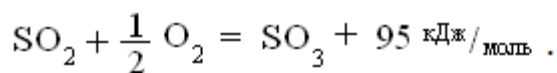


Рисунок 1.1 – Умовне зображення виробництва сірчаної кислоти камерним методом.

1 - денітраційна башта; 2 - камери; 3 - поглинальні башти; 4 - холодильник; 5-збірники кислоти.



До того, коли газ вийде з останньої камери 2 закінчується процес окислення двоокису сірки, і окиси азоту знову досягають ступеня окислення, в середньому вони відповідають  $\text{N}_2\text{O}_3$ . З камери 2 газ поступає в поглинальні башти 3, де вмістимі в них окисли азоту абсорбується кислотою. Створена в поглинальних баштах 3 нітроза подається на зрошення башти 1, з якого

витікає нагріта кислота, звільнена від окисів азоту. Частина її відбирають у якості готового продукту, а частина через холодильник 4 подається на зрошення поглинальних башт 3. Процес окислення двоокису сірки починається вже в 1 башті.

### **Баштовий спосіб синтезу сірчаної кислоти**

Схема отримання кислоти баштовим способом зображена на рисунку 1.2.

У баштових системах сірчаний газ, одержаний випленням колчедану, проходить через ряд башт. Перші башти 1, 2, 3 орошуються нітрозою, що містить до 6%  $N_2O_3$ , у них відбувається окислення двоокисів сірки окисами азоту, що знаходяться в нітрозі. Частина окисів азоту переходять з нітрози в газову фазу.

В баштах 5, 6, 7 азотні окиси абсорбуються нітрозою. Окиси азоту краще всього абсорбуються кислотою у вигляді еквімолекулярної суміші  $NO + NO_2$ . Оскільки при виході з башти, в якій підходить до кінця окислення двоокису сірки, в газі переважно міститься більше  $NO$ , ніж  $NO_2$ , тому в нових системах газ перед поступленням у поглинальні башти 5, 6, 7 проходить через башту для окису 4, в якій окиси азоту доводяться до ступеня окислення, відповідного  $N_2O_3$ .

Витікаюча з перших башт 1, 2 і 3 які називаються виробничими, нітроза з пониженим вмістом окисів азоту подається на зрошення останніх поглинальних башт 5, 6, 7.

Нітроза, яка витікає з поглинальних башт 5, 6, 7 подається на зрошення виробничих башт 1, 2 і 3. Першу виробничу башту зрошують такою кількістю нітрози, щоб витікаюча кислота містила не більше окисів азоту ніж передбачено стандартом на кінцевий продукт, оскільки з цієї башти відбирається продукція системи.

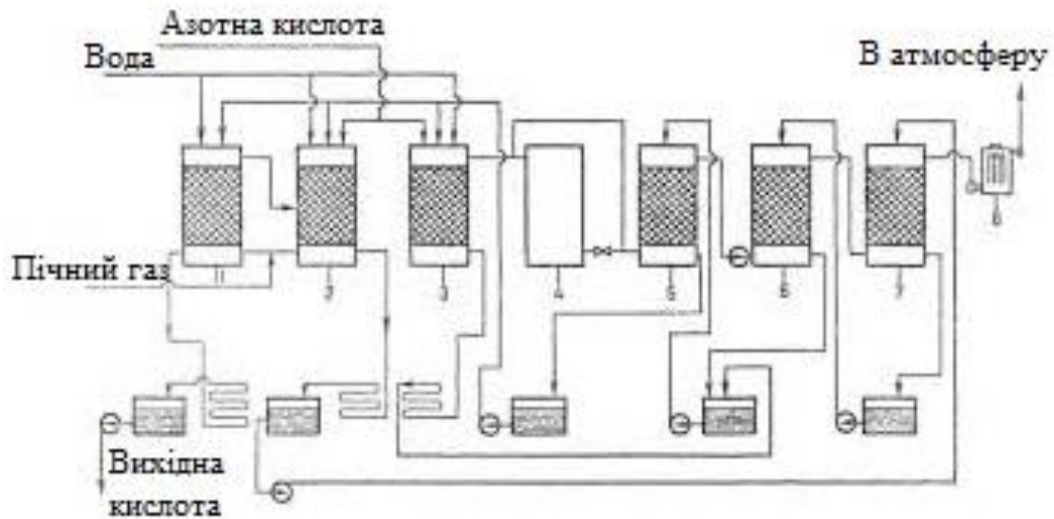


Рисунок 1.2 - Схема виробництва сірчаної кислоти баштовим способом.

1,2,3 - виробничі башти; 4 – башта для окису; 5,6,7 - поглинальні башти; 8 – циклон.

За допомогою окисів азоту отримують кислоту з вмістом 65 і 76%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Кислота такої концентрації знаходить лиш обмежений спектр застосування. Тому сірчану кислоту, яку отримують за допомогою окисів азоту, концентрують шляхом випарювання. Проте шляхом випарювання можна отримати кислоту з вмістом не більше 98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### 1.2.2 Контактний метод

У контактному методі окислення двоокису сірки відбувається на поверхні твердого каталізатора. Утворюючись триокис сірки безпосередньо з'єднується з водою, перетворюючись в сірчану кислоту.

Усі процеси цього методу ефективнішими і менш складними технологічно. Цей метод вже давно почав витісняти нітрозний метод і на даний час вже майже повністю його замінив, оскільки є він більш перспективним і економічно вигіднішим. Проте для кращої його оптимізації необхідно провести автоматизацію технологічних процесів даного методу.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Характеристика початкового матеріалу та його властивостей.

У виробництві сірчаної кислоти переважно використовують залізний колчедан — найпоширенішу природну мінеральну сировину. В ньому міститься від 40 до 50 % Сульфуру, все інше — домішки сполук Цинку Кобальту, Ніколу, Арсену, Селену, Купруму тощо. Тому руду переробляють комплексно, без відходів, це дало змогу значно зменшити вартість кінцевого продукту.

В природі запасів самородної сірки небагато. Проте з погляду сучасних трендів до підвищення ефективності виробництва і забезпечення охорони довкілля самородна сірка досі залишається одним із найкращих видів природної сировини. Газ, який отримують внаслідок її спалювання, має великий вміст сульфур (IV) оксиду  $SO_2$ , його практично не потрібно додатково очищувати. Саме цей фактор є важливим для добування сірчаної кислоти контактним методом, тому обсяги використання самородної сірки тільки збільшується. Проте найдешевшим способом отримання сульфатної кислоти залишається переробка відходів інших промислових виробництв, наприклад з відходів кольорової металургії, нафтопереробних та коксохімічних виробництв. Використання такої сировини дає змогу зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу, які могли б погано впливати на екосистему, рослин, тварин і людей. Тому її використання є простим і ефективним рішенням.

Перетворення початкової сировини в кінцевий продукт можна умовно поділити на три стадії: зазвичай використовують пірит  $FeS_2$ , як основну сировину. З нього добувають сульфур діоксид  $SO_2$ , далі — сульфур триоксид  $SO_3$  і, нарешті, отримують сульфатну кислоту  $H_2SO_4$  [2].

## 2.2. Технологічний процес виготовлення кінцевого виробу.

У цій роботі буде описаний контактний метод, оскільки саме на нього припадає найбільша частка виробництва всієї сірчаної кислоти. Добування сірчаної кислоти контактним методом можна розділити на три основні стадії: на першій стадії отримують діоксид сірки, він є основним матеріалом для її отримання.  $\text{SO}_2$  може бути отриманий різними методами з різних видів сировини, таких як елементарна сірка, відпрацьована сірчана кислота та сірководень. Проте основну сировину ми обрали залізний колчедан.

На другому етапі діоксид сірки окислюється до триоксиду сірки. Нарешті, на третьому етапі триоксид сірки обробляють водою і концентрують сірчану кислоту різними способами, залежно від способу отримання сірчаної кислоти.

### **Перша стадія - випалення сульфідів.**

Зі всього переліку сульфідних мінералів найчастіше застосовують пірит  $\text{FeS}_2$ . Ще одним варіантом для сировини можуть слугувати руди кольорових металів, таких як: халькопірит ( $\text{CuFeS}_2$ ) та сфалерит ( $\text{ZnS}$ ). Подібні сульфідні руди слугують основною сировиною на виробництвах кольорових металів. Випалювання такої сировини у печах є першим етапом їхньої комплексної переробки. В результаті чого утворюються гази з достатнім вмістом  $\text{SO}_2$ , який є основою для виробництва сірчаної кислоти.

Пірит використовують безпосередньо на сульфатно кислих заводах. Збагачений пірит, як і руди кольорових металів, спалюють в печі з киплячим шаром (рис. 2.1).

У нашому випадку прошарок кип'ячого колчедану – це, власне кажучи, 2, 3 - фазна система, яка виникає шляхом утворення завислого положення часток твердої фази внаслідок зазвичай динамічного впливу на них висхідного струменя газу або певної рідини.



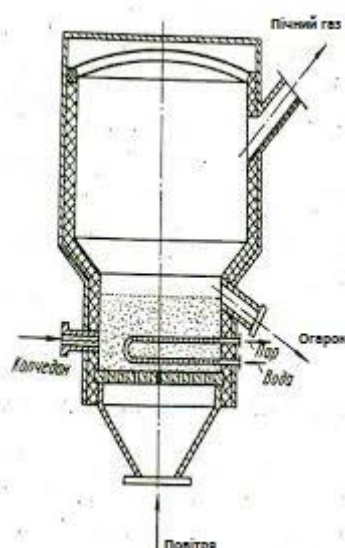


Рисунок 2.1 - Піч кип'ячого прошарку колчедану

Цей прошарок використовується в якості однорідного середовища, яке забезпечує розділ використовуваної мінеральної маси (підвищення концентрації корисних копалин, також класифікації), а також для інтенсифікації масо-теплообміну в сушарках киплячого прошарку колчедану. Також можливе використання різного роду описаних печей на теплоелектростанціях.

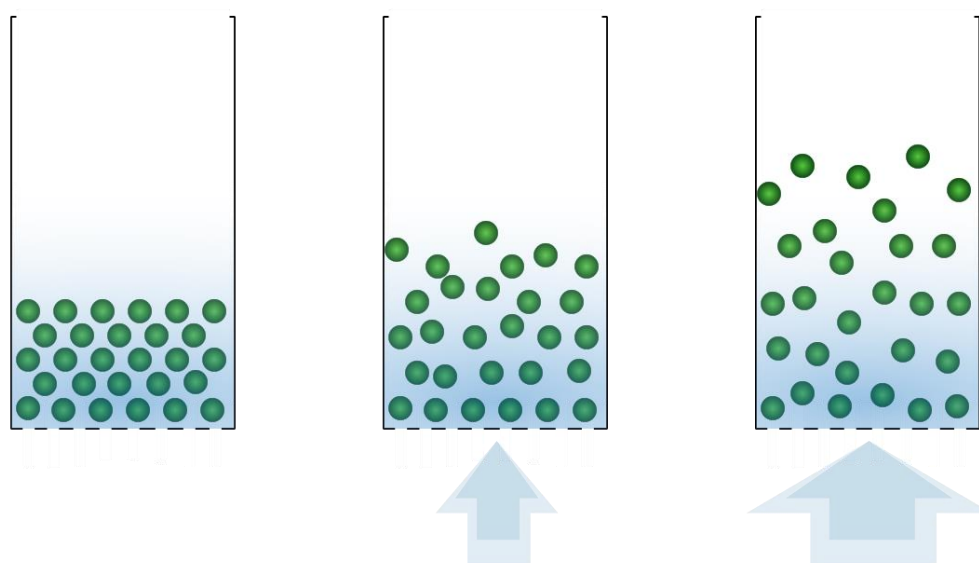


Рисунок 2.2 - Кип'ячий шар

В подальшому колчедан завантажується у піч через боковий отвір з використанням форсунок або шнекових механізмів. Знизу також подають стиснене повітря, яке перемішується із мінеральною масою, яка завантажена в піч.

Такий процес використовують для збільшення питомої площі поверхні реагуючої речовини, що дозволяє суттєво підвищити швидкість реакції. Проте в результаті зменшення діаметру часток утворюється більш щільний колчедановий прошарок, що призводить до зростання опору газу при проходженні. У зв'язку з цим необхідно забезпечити середній розмір близько 5 мм.

Вказаний недолік можна усунути шляхом пропускання газу через колчедановий прошарок з певною швидкістю, що приведе до різнонаправленого руху частинок в потоці газу та їх перемішування.

Цей процес відображено на рисунку. 2.2 та 2.3.

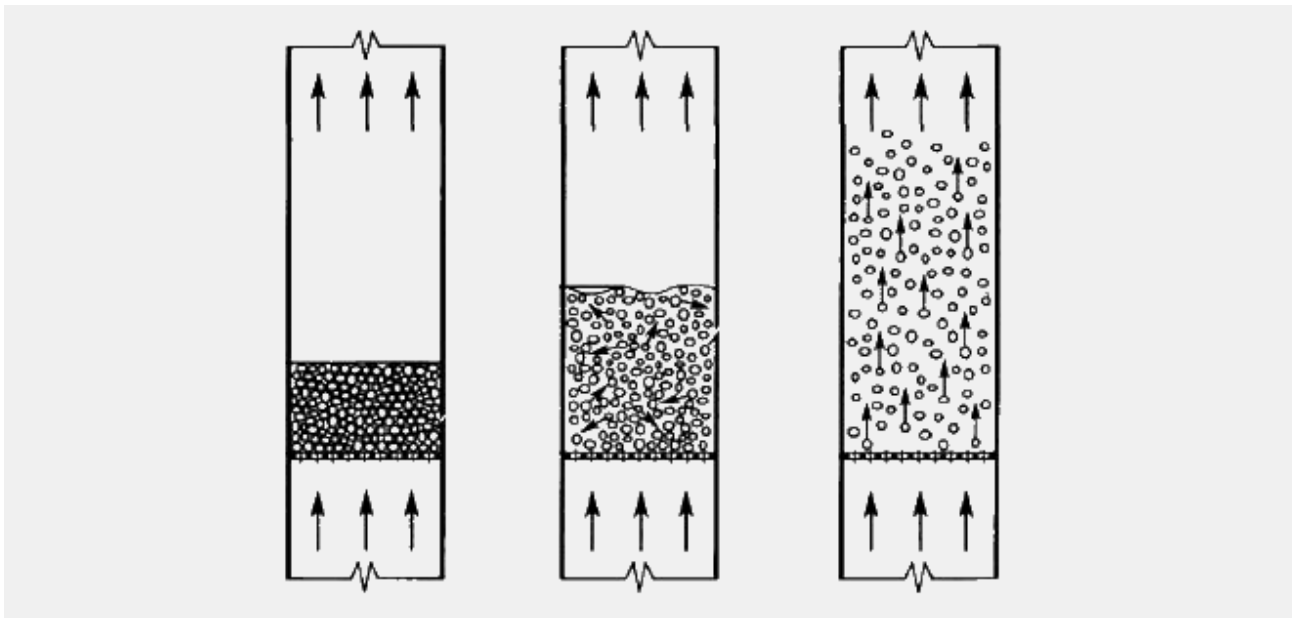
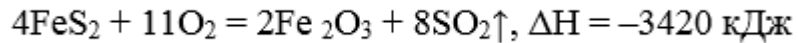


Рис 2.3 - Рух частинок подрібненого колчедану та повітря в кип'ячому шарі

Для забезпечення зростання швидкості тверді частки можуть виноситися газовим потоком. Тому цей прошарок зовні нагадує киплячу рідину, звідси і назва – кип'ячий.

При цьому в пічці проходить реакція:



Процес згорання колчедану це реакція гетерогеного типу між твердим колчеданом та газом. Вона є екзотермічна, а також має необоротний характер, тобто може завершитися.

Дана реакція проходить більш інтенсивно при температурі 400°C і зростає, коли температура підвищується. Максимальна температура в цьому процесі не має бути більшою за 800°C, оскільки тоді починається спікання мінеральної маси.

Тому температуру киплячого прошарку колчедану необхідно контролювати шляхом відведення тепла. Це завдання вирішують шляхом розміщення в печі водяних охолоджувачів, які підключення до циркуляційної системи утилізуючого котла.

Зола з вмістом сірки менше 1%, відводиться по спускній трубі. Більший її відсоток золи виноситься газом печі.

Він являє собою поєднання газів, що мають в своєму складі 14% оксиду сульфуру (4 – валентного). В пічному газі міститься маленька кількість 6 – ти валентного оксиду сульфуру (наслідок проходження реакції кисню та SO<sub>2</sub> в присутності каталізатора Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**Друга стадія** – процес очищення та просушування пічних газів.

Пічні гази, що виділяються при виробництві SO<sub>2</sub> потрібно відфільтрувати, щоб очистити від тривалентного оксиду арсену, різного роду пилу та деяких інших речовин, які призводять до отруєння каталізаторів, що використовуються в подальших стадіях переробки. Для цього пічний газ на

першій стадії очищають від пилю, а в подальшому від отруйних речовин. Потім його просушують.

Очищення від пилю проходить у два етапи:

Власне попередня очистка та в подальшому тонка очистка. Перша відбувається у циклонах, друга – в електрофільтрах, які зображено на рис. 3.4 та рис. 3.5 відповідно.

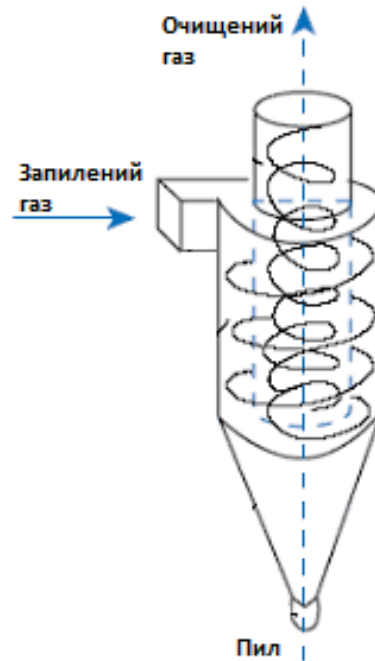


Рисунок 2.4 – Циклон

Потік газу в циклоні гухається згори до низу по спіралі. В наслідок чого відцентровими силами частки відкидаються до стінок циклона, падають вниз та накопичуються у спеціальному контейнері, звідки вивантажуються. Цей процес забезпечує очищення газу від твердих домішок у газі.

Подальше очищення проходить в електрофільтрі. Цей пристрій споживає напругу 60 000 В, він складається з викладеної цеглою камери, в якій розміщено ряд вертикальних електродів, що мають вигляд сталевих дротових сіток, що натягуються на рамки. У цьому пристрої газ проходить процес іонізації. Іонізований пил починає збиратися на дротах сіток

електродів. Ударами молотків по рамі частинки пилю струшуються з електродів.

Для реалізації очищення пічного газу з метою видалення отруйних домішок проводять процес пропускання через башту з насадкою. Всередину башти подають сульфатну кислоту у вигляді душу. Утворений в результаті такого процесу туман з сульфатної кислоти в подальшому конденсується в електрофільтрі. На завершення газ пропускають через ще один електрофільтр. Потім проводять його осушку в башті з концентрованою кислотою.

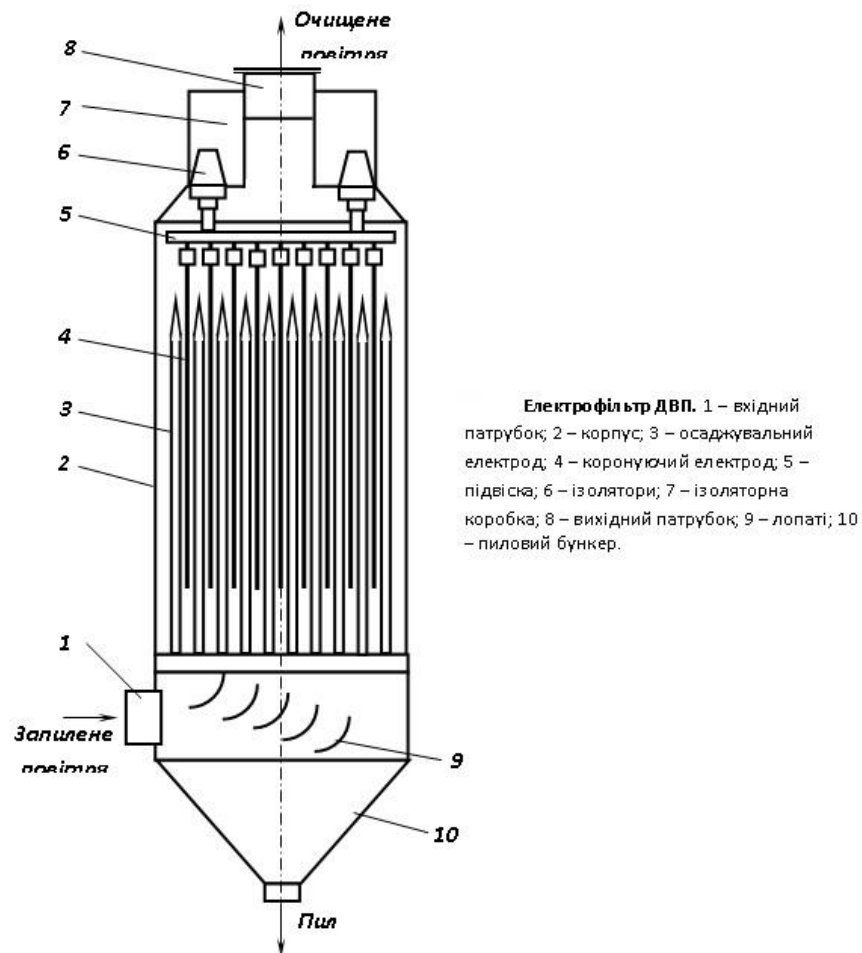
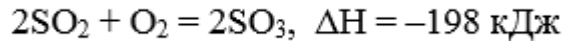


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення електрофільтру.

При цьому відбувається реакція, яка носить екзотермічний оборотний характер.



Вона має значний тепловий ефект, який складає 94,3 кДж/моль при температурі 500°C. Виходячи з принципу Ле Шательє можна шляхом зміни температури, концентрації речовин або тиску змінювати напрям реакції.

При збільшенні у вихідній суміші надлишку кисню зростає рівноважний ступінь окиснення SO<sub>2</sub>. При температурі 450°C він рівний 87,5% (тиск атмосферний, склад суміші 12 % SO<sub>2</sub> та 5,5 % O<sub>2</sub>) та відповідно 97,5% (при складі 7 % SO<sub>2</sub> та 11 % O<sub>2</sub>).

Для визначення оптимальних параметрів описаної вище реакції необхідно виміряти її швидкість. Результати досліджень свідчать про те що така реакція не проходить при атмосферному тиску та кімнатній температурі. В процесі нагрівання вона також не буде відбуватися. Забезпечити реакцію лише при наявності високої температури та каталізатора.

У якості каталізатора виступають платина та оксиди Купруму, Феруму, Ванадію і Хрому.

Залежно від складу каталізатора встановлюється швидкість реакції. При цьому ванадієвий каталізатор забезпечує реакцію при 400°C, тривалентний оксид заліза – вище 550°C, а каталізатор на основі платини лише 250°C. Експериментально встановлено, що чотиривалентний оксид сульфуру при каталізаторі на основі ванадію має наступний вид:

$$v = \frac{k_1 k_2 p_{\text{O}_2} p_{\text{SO}_2}}{k_1 p_{\text{O}_2} + k_2 p_{\text{SO}_2}}$$

де  $v$  – швидкість реакції;  $k_1$  – константа, яка характеризує швидкість реакції кисню з каталізатором;  $k_2$  – константа, яка характеризує регенеративну швидкість поверхні каталізатора;  $p_{\text{O}_2}$ ,  $p_{\text{SO}_2}$  – парціальні тиски в газовій суміші SO<sub>2</sub> та O<sub>2</sub>. Як правило вираз кінетичного рівняння у більшості випадків залежить від каталізатора і має бути визначений експериментально.

На заводах для вибору оптимальних параметрів реакції окислення найважливішим є вибір каталізатора. Колись був широко поширений платиновий каталізатор, на даний момент – ванадієвий. Розміри зерна такого каталізатора як правило складають 5 мм.

На межі найнижчої температури, коли каталізатор ще є активним (400 °C) швидкість реакції дуже мала, при цьому рівновага зміщена до утворення  $\text{SO}_3$ . Якщо підвищити температуру рівновага порушується і в суміші починає залишатися  $\text{SO}_2$ . Цю реакцію можна провести тільки при особливому температурному режимі: при найвищій температурі хімічну реакцію тільки починають, бо при цій температурі каталізатор ще має достатній рівень стійкості, і з часом цю температуру зменшують (рис.2.6).



Рисунок 2.6 - Ванадієвий каталізатор

Якщо забезпечити всі необхідні умови технологічний процес буде відбуватися на максимальній швидкості та з найвищою продуктивністю.

Цей процес відбувається при атмосферному тиску, проте на певних підприємствах цю реакція проходить при підвищеному тиску.

Для забезпечення оптимального процесу при атмосферному тиску необхідний надлишок кисню для забезпечення зміщення рівноваги реакції. У

більшості випадків газова суміш містить чотиривалентний сульфур в концентрації 7%, та 11% кисню.

Для утримання температури на потрібному рівні частину теплоти відводять у вигляді гарячої води або пари. Це досягається встановленням теплообмінників, які нагрівають воду за рахунок гарячих газів щоб температура каталізатора в процесі реакції поступово знижувалась.



Рисунок 2.7 - Контактний апарат з теплообмінником.

**Третя стадія** — поглинання чотиривалентного оксиду сульфуру та синтез сульфатної кислоти.

Процес поглинання  $\text{SO}_3$  відбувається за рахунок наступної реакції:



При значенні температури в межах  $200\text{-}300^\circ\text{C}$  сульфатна кислота є стійкою та, власне кажучи, реакція фактично є необоротною. Вона має



гетерогенний характер, оскільки реагує рідина і газ та утворюється рідина. При цьому швидкість реакції досить велика.

Для забезпечення оптимальних параметрів протікання вказаної реакції необхідно проаналізувати явища, що супроводжують процес. Якщо сульфур (IV), який міститься у газовій суміші пропускати через водний розчин сульфатної кислоти або воду, то  $\text{SO}_3$  буде утворювати пароподібну сульфатну кислоту в наслідок часткової взаємодії з водяною парою. Така пара має високу температуру конденсації. Тому при охолодженні вона конденсується, утворюючи сульфатнокислий туман. Його неможливо повністю утилізувати пропускаючи газ через сульфатну кислоту або воду. Провести її осадження можливо лише в електрофільтрах.

При зростанні вмісту сульфатної кислоти над нею зменшується тиск водяної пари, а над 98,3% розчином  $\text{H}_2\text{SO}_4$  він рівний нулю. Звідси видно, що для повного зв'язування  $\text{SO}_3$  з водою необхідно газовий потік пропускати через концентровану сульфатну кислоту. Частина кислотного туману можна отримати шляхом пропускання газової суміші через електрофільтр.

При синтезі сульфатної кислоти з гідрогенсульфіду необхідно забезпечити специфічні умови, тобто туманоподібну кислоту необхідно вловлювати в електрофільтрах після часткової конденсації сульфатної кислоти.

Чотиривалентний оксид сульфуру ловлять в абсорбційних баштах (рис 2.8). При цьому рідину подають зверху у башту циліндричної форми, заповнену кільцями (рис 2.9). Рідина стікає в низ утворюючи на кільцях тоненьку плівку сумарна поверхня якої досить велика при відносно невеликих розмірах кілець, тим більше вона постійно оновлюється.



Рисунок 2.8 - Абсорбційна башта



Рисунок 2.9 - Керамічні кільця для поглинання сірчаної кислоти

В башту також подають газову суміш на зустріч рідині, та з неї видаляється компонент, який викликає реакцію з рідиною. Проте рух газом і рідини відбувається протитоком, тобто в протилежних напрямках.

В наслідок цього водний розчин сульфатної кислоти, який витікає з башти зустрічається з газовою сумішшю з вмістом  $\text{SO}_3$  7%, яка поступає в башту. У верхній частині башти збіднений сульфуроксидом газовий потік стикається із сульфатною кислотою, де і створюється хороші умови для ефективного вловлювання сульфуроксиду.

Також в процесі виробництва сірчаної основного продукту є олеум. Це оліїста рідина – розчин сульфуроксиду (III) у сульфатній кислоті. При додаванні води можна отримати концентрований розчин сульфатної кислоти або цю кислоту в чистому виді [2].

Для синтезу олеума встановлюють дві башти. У першій проводиться зрошування олеумом, а у другій – сульфатною кислотою (98,3%). Концентрація олеуму на 1% нижча за вихідний продукт.

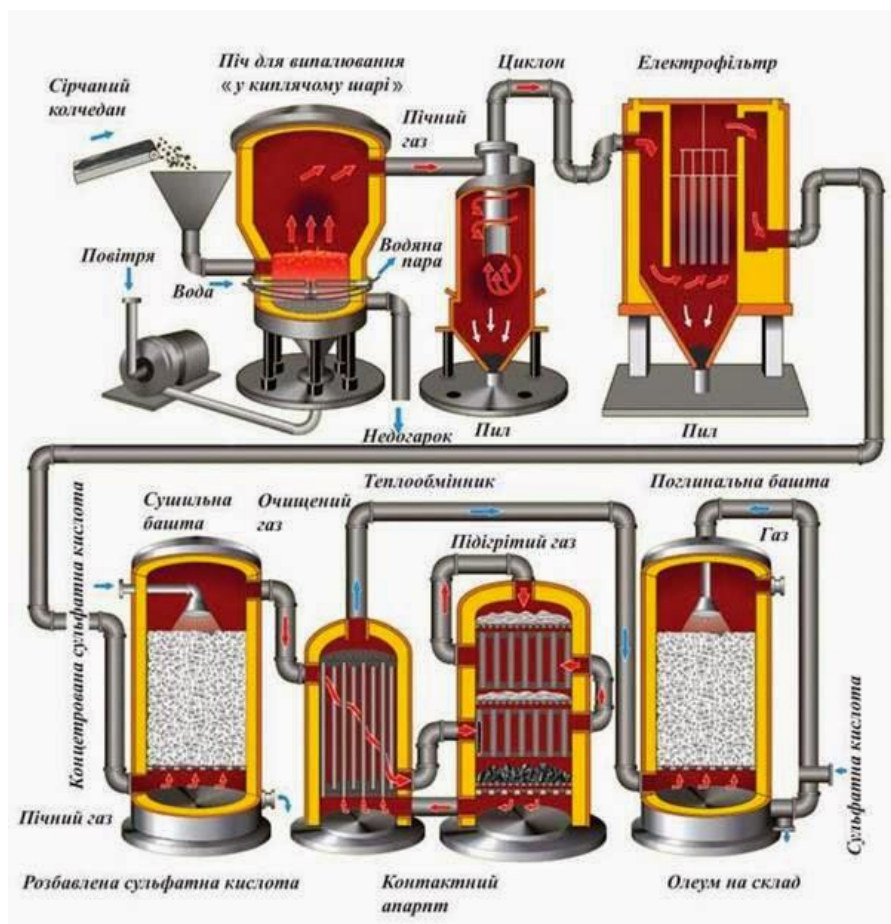


Рисунок 2.10 – Узагальнена схема виробництва сірчаної кислоти контактним методом.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Опис процесу отримання сульфатної кислоти та його технологічної схеми виробництва

Функціональна схема автоматизації (ФСА) визначає основні моменти технологічного процесу (ТП) та його головні параметри. На ній зображають взаємне розташування виконавчих апаратів, які виконують весь технологічний процес [3].

У цьому розділі буде описана технологічна схема (ТС) процесу видобування сульфатної (сірчаної) кислоти контактним методом. Представлено опис контролюючих параметрів та їхніх схем. Завдяки цим параметрам на виробництві мають змогу здійснювати контроль, реєстрацію і регулювання технологічних параметрів.

Дрібнений колчедан попадає в тарільчастий живильник Т-1, звідки він вже потрапляє у піч кип'ячого прошарку П-1. Також разом з колчеданом туди подають повітря вентилятором ЦВ-1. Температура в печі повинна триматись в діапазоні від 400 до 800 градусів, її контролюють завдяки встановленим в піч теплообмінникам, через які циркулює вода. Кількість води регулюють завдяки спеціальному клапану. Тиск повинен бути до 10 МПа. Надлишковий тиск випускається через клапан, який встановлений в трубі через який виходить пічний газ.

Газ з вмістом  $\text{SO}_2$  14%, який отримують шляхом обпалення колчедану в печі на виході має температуру близьку  $900^\circ \text{C}$ . Така температура на даному етапі виробництва є зависокою, тому його потрібно охолодити. Відведення зайвої температури проводять в котрі-утилізаторі КУ-1, там газ охолоджується до температури приблизно  $450^\circ \text{C}$ . Охолодження газу проходить за аналогічним принципом як в печі П1. В котлі-утилізаторі встановлені теплообмінники через які проходить вода. Якщо температура газу на виході з котла зависока, тоді через спеціальний клапан до

теплообмінників починає поступати більша кількість води. Якщо в котлі починає з'являтися зайвий тиск, тоді клапан на вході в котел починає подавати меншу кількість газу, поки значення тиску не стане в межах норми.

Після обпалення газу в печі у ньому заходиться багато пилу і навіть дрібніших частинок руди, які вилітають із печі разом з отриманим газом. Тому цей газ для безпечного використання на наступних етапах виробництва потрібно очистити. Процес очистки проводять у спеціальних апаратах у два етапи. Спочатку його пропускають через циклон Ц-1 звідки він вже потрапляє на очистку в сухий електрофільтр Е1. Подача запиленого газу в циклон регулюється клапаном, завдяки цьому можна виводити циклон на оптимальний рівень роботи. Після циклону газ проходить через електрофільтр.

Остаточне охолодження газу і очистка від залишків дрібного пилу, домішок селену і миш'яку. проходить у промивних баштах. Також в них відбувається утворення туману та процес його уловлення. У першій промивній башті ПБ-1 охолодження газу відбувається шляхом випарювання кислоти, бо при ній немає спеціальної холодильної камери (холодильника). Ця башта зрошується 60% сірчаною кислотою. Температура газу на виході з цієї башти приблизно дорівнює 120 - 150 ° С. При цій промивній башті також є присутній збірник для відводу кислоти. В цей збірник відводиться кислота утворена і звільнена від присутніх в ній окисів селену в промивному відділенні башти (з SO<sub>3</sub>, який присутній в поступальних газах). Цю кислоту використовують на інших етапах виробництва.

У другій промивній башті ПБ-2 відбувається процес кінцевого очищення газу від різних зайвих домішок, які не могли очистити на попередніх етапах виробництва. Вона орошається 20% сірчаною кислотою, температурний режим якої мусить бути в межах 30 - 35 ° С. Газ в цю башту подається завдяки роботі вентилятора ЦВ-2. Також при цій башті присутня холодильна камера Х-1, роль якої є концентрувати і вловлювати пари води,

які надходять разом з газом від першої башти. Присутні в газі каплі туману через велику конденсацію парів води при пониженні температурного режиму концентруються і збільшуються, завдяки цьому в подальшому уловлення такого туману набагато полегшується. Цей процес відбувається завдяки мокрому електрофільтрі Е2. Також він необхідний для очищення газу від аерозолі сірчаної кислоти, яка утворилась в двох попередніх промивних баштах.

Ще однією важливою операцією є видалення парів води з газу. Для виконання цього завдання встановлюють сушильну вежу СБ-1, яку зрошують 98% - вою сірчаною кислотою, яку перед тим охолодили в холодильній камері Х-2. Далі газ також пропускають через бризговловлювач БВ-1.

Наступним етапом є окислення газу на поверхні каталізатору, який знаходиться у контактному апараті. В цей апарат газ при температурі 40 ° С подають завдяки вентилятору ЦВ-3. Проте така температура для процесу окиснення є замалою, тому перед попаданням в апарат газ проходить теплообмінник, де він завдяки спеціальній системі труб нагрівається теплом газів, які вже пройшли окиснення на першому шарі каталізатору. Для підтримання необхідного температурного режиму на всіх шарах каталізатора в трубопроводах контактного апарату застосовують спеціальні клапани, які регулюють подачу газу у всі присутні в системі теплообмінники і холодильні камери.

У нашій схемі газ окислюють методом подвійного контактування, при якому вміст  $\text{SO}_2$  у вихідному газі досягає рівня 9 -10%. Завдяки теплому газу, який вже пройшов перший шар каталізатора, вхідний газ в теплообміннику нагрівається до 420 - 450 ° С. Таким чином нагрітий діоксид сірки потрапляє в контактний апарат на перший шар каталізатора. Присутній в газі  $\text{SO}_2$  частково окислюється до  $\text{SO}_3$ . Під час цієї реакції газ нагрівається приблизно до 600 ° С. Така температура для надходження на другий шар каталізатора є зависокою, тому після проходження кожного з шарів газ охолоджується в

холодильних камерах Х-3, Х-4 і теплообмінниках ТО-1 і ТО-2. У холодильниках газ охолоджується до 450 ° С, а в теплообмінниках до 200 ° С. Після проходження газу чотирьох шарів каталізатора сірчистий ангідрид окислюється на 92-95% в сірчаний і переходить на першу стадію абсорбації. Процес поглинання SO<sub>3</sub> проводять у спеціальних абсорберах: олеумному ОА-1 і моногідратному МА-1.

Водою сірчаний ангідрид поглинати не можна, тому що даний процес відбувається в газовому стані, оскільки вода буде перетворюватись у пар завдяки теплу під час реакції  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$ . Через це буде з'являтися багато дрібних капелек, які об'єднуються в певний туман, який практично неможливо вловити. Тому реакцію проводять в два етапи.

На першому етапі в олеумному абсорбері ОА-1 відбувається процес поглинання SO<sub>3</sub> олеумом, який містить в своєму складі 18% вільного сірчаного ангідриду. Частина олеуму з абсорбера виводять як готовий продукт, а інша його частина йде на рецикл для зрошування абсорбера. Під час зрошування в абсорберах виділяється багато тепла від чого нагріваються зрошувальні розчини, тому для нормалізації процесу поглинання вони проходять охолодження у холодильних камерах Х-5 і Х-6. Залишки сірчаного ангідриду поглинають у моногідратному абсорбері МА-1. В подальшому газ з вмістом SO<sub>2</sub> ~ 0,5% нагрівається у теплообміннику ТО-2 до 420 ° С від тепла газів, які вже пройшли всі стадії каталізу, і направляється через бризговловлювач БВ-2 на другу стадію конверсії до контактного апарату. У другому моногідратному абсорбері МА-2 відбувається процес остаточного відділення SO<sub>3</sub> з вхідного газу після чого залишки цього газу викидають у верхні шари атмосфери, а отриману розведену водою кислоту (до 93%) охолоджують у холодильній камері Х-7 і відбирають на склад.

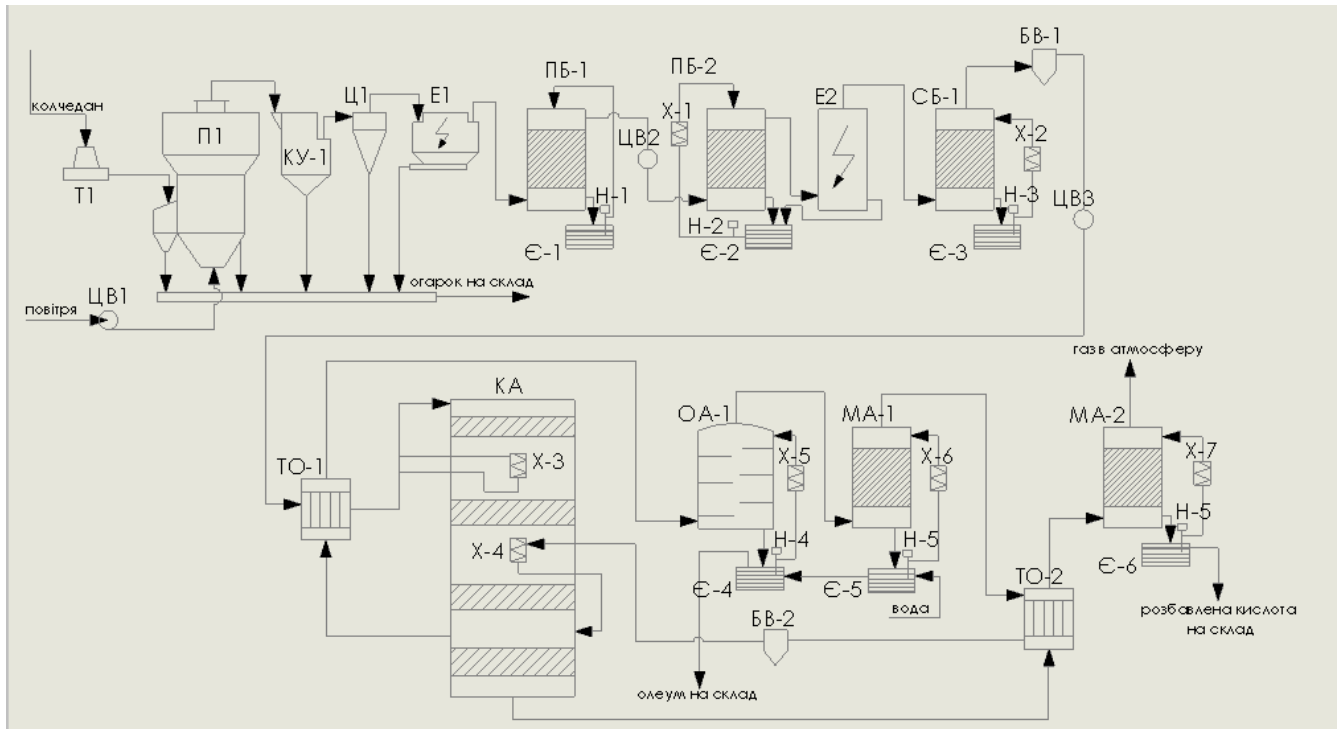


Рис. 3.1 – ТСВ сірчаної кислоти з колчедану

Т1 – тарільчастий живильник; П1 – піч кип'ячого слою; КУ-1 – котел-утилізатор; Ц1 – циклон; Е1 – електрофільтр; ПБ-1, ПБ-2 – промивні башти; ЦВ1, ЦВ2, ЦВ3 – відцентрові вентилятори; Е2 – мокрий електрофільтр; СБ-1 – сушильна башта; Н-1...5 – насоси; БВ-1, БВ-2 – бризговловлювачі; ТО-1, ТО-2 – теплообмінники; КА – контактний апарат; ОА-1 – олеумний абсорбер; МА-1, МА-2 – моногідратний абсорбер; Х-1...7 – холодильники; Є-1...6 – ємкості для кислоти.

### 3.2. Контроль і автоматика технологічного процесу

Автоматизація – це ряд певних засобів, завдяки яким можна проводити процеси на виробництві без застосування фізичного втручання людини, але й виконувати повний контроль людиною за всім виробництвом. Завдяки автоматизації можна вирішити ряд певних важливих у виробництвах питань, таких як регулювання так контроль необхідних виробничих параметрів або сигналізацію про відхилення на певних ділянках виробництва. Автоматична



регуляція забезпечує збільшення якості продукції і високу продуктивність при найменших виробничих витратах [4].

### 3.2.1. Вибір засобів автоматизації

При розробці функціональної схеми виробництва стараються передбачити де необхідно встановити контрольно-вимірювальні прилади, які дозволяють проводити контроль, регуляцію і реєстрацію необхідних технологічних параметрів (таблиця 3.1) [3].

Таблиця 3.1

Умовні позначення обраної вимірної апаратури

Прилад	Позначення на ФСА	Кількість	Кількість необхідних входів/виходів		ПЛК + ПРМ входи/виходи				
Метран 49-ДД	PI	3	44	44	ВХІД	ОВЕН 110-60	36	ПРМ-1	8
ТХА-0515	TE	19							
ДКС 0,6-250	FE	1							
УЛМ-11	LE	21							
ЕПП-63	PT	3	44			ОВЕН 110-60		ПРМ-1	
	FT	1							
ЕПТ-55	TT	19							
ЕПУ-57	LT	21							
ГХ	○-	22	26	26	ВИХІД	ОВЕН 110-60	24	ПРМ-1	8
30с96нж	○-	1							
15ч74п1	○-	3							

Таблиця 3.2

## Засоби автоматизації технологічної схеми отримання сірчаної кислоти

Елемент на схемі виробництва	Вимірювані параметри	Позиція на схемі	Найменування і технічна характеристика приборів	Марка	Де встановлюється	Елемент на схемі виробництва
Піч киплячого слою ПІ	Тиск повітря в печі	1 1	Датчик тиску. Гранично-допустиме робочий	Метран 49-ДД	На місці	
		1 2	Електроперетворювач	ЕПП-63	На місці	
		1 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Температура в печі	2 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		2 2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
		2 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
Котел-утилізатор КУ-1	Витрата води, яка подається в котел-	3 1	Діафрагма камерна, тиск $P_u =$ до 0,6 МПа, $\varnothing = 250$ мм	ДКС 0,6-250	На місці	
		3 2	Електроперетворювач	ЕПП-63	На місці	
	Температура в печі	4 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		4 2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
		4 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Тиск в котлі	5 1	Датчик тиску. Гранично-допустиме робочий	Метран 49-ДД	На місці	
		5 2	Електроперетворювач	ЕПП-63	На місці	
		5 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Циклон ЦІ	Рівень запиленого газу	6 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
6 2			Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
6 3			Стальна задвижка на $P_v = 25$ кПа, $t = 425$ °С	30с96нж	В розриві трубопрово	
Промивна башта ПБ-1	Рівень рідини	9 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		9 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
	Рівень газу	8 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		8 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
		8 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Температура	7 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		7 2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
		7 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	

Ємкість-збірник Є-1	Рівень рідин	10 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		10 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		10 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Промивна башта ПБ-2	Рівень рідини	12 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		12 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
	Рівень газу	11 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		11 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		11 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
	Температура	14 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
14 2		Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
Ємкість-збірник Є-2	Рівень рідин	13 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		13 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		13 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Холодильник Х-1	Температура	15 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
		15 2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці
		15 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Сушильна башта СБ-1	Рівень рідини	17 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		17 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
	Рівень газу	16 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		16 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		16 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
	Температура	19 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
19 2		Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
Ємкість-збірник Є-3	Рівень рідин	18 1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		18 2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		18 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Холодильник Х-2	Температура	20 1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
		20 2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці
		20 3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово

Контактний апарат КА	Температура	23	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	Холодильник Х-3
		23	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
		23	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
		22	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		22	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
	Рівень газу	21	1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		21	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
	Температура	25	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	Холодильник Х-4
		25	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
		25	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
		24	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		24	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
	Тиск	26	1	Датчик тиску. Гранічно-допустиме робочий	Метран 49-ДД	На місці	
		26	2	Електроперетворювач	ЕПП-63	На місці	
		26	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Температура	27	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		27	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
	Рівень газу	28	1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		28	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
	Температура	29	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		29	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
Олеумний абсорбер ОА-1	Рівень рідини	31	1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		31	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
	Рівень газу	30	1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці	
		30	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці	
		30	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово	
	Температура	33	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці	
		33	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	

Ємкість-збірник Є-4	Рівень рідин	32	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		32	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		32	3	Регулюючий клапан	15ч74п1	В розриві трубопрово
Холодильник Х-5	Температура	34	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
		34	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці
		34	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Моногідратний абсорбер МА-1	Рівень рідини	36	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		36	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
	Рівень газу	35	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		35	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		35	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
	Температура	38	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
38		2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	
Ємкість-збірник Є-5	Рівень рідин	37	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		37	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		37	3	Регулюючий клапан	15ч74п1	В розриві трубопрово
Холодильник Х-6	Температура	39	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
		39	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці
		39	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
Моногідратний абсорбер МА-2	Рівень рідини	41	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		41	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
	Рівень газу	40	1	Радарний рівнемір	УЛІМ-11	На місці
		40	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		40	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово
	Температура	43	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
43		2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці	

Ємкість-збірник Є-6	Рівень рідин	42	1	Радарний рівнемір	УЛМ-11	На місці
		42	2	Електроперетворювач	ЕПУ-57	На місці
		42	3	Регулюючий клапан	15ч74п1	В розриві трубопрово
Холодильник Х-7	Температура	44	1	Термоелектричний термометр, межі	ТХА-0515	На місці
		44	2	Електроперетворювач	ЕПТ-55	На місці
		44	3	Регулюючий клапан	GX	В розриві трубопрово

### 3.3. Функціональна схема автоматизації.

В наслідок аналізу вимірювальних величин, які повинні контролювати технологічний процес та виконавці механізмів, які повинні регулювати виробництво необхідно було розробити схему автоматизації нашого процесу.

Дана схема наведена на рисунках 3.2, 3.3, 3.4, 3.5.

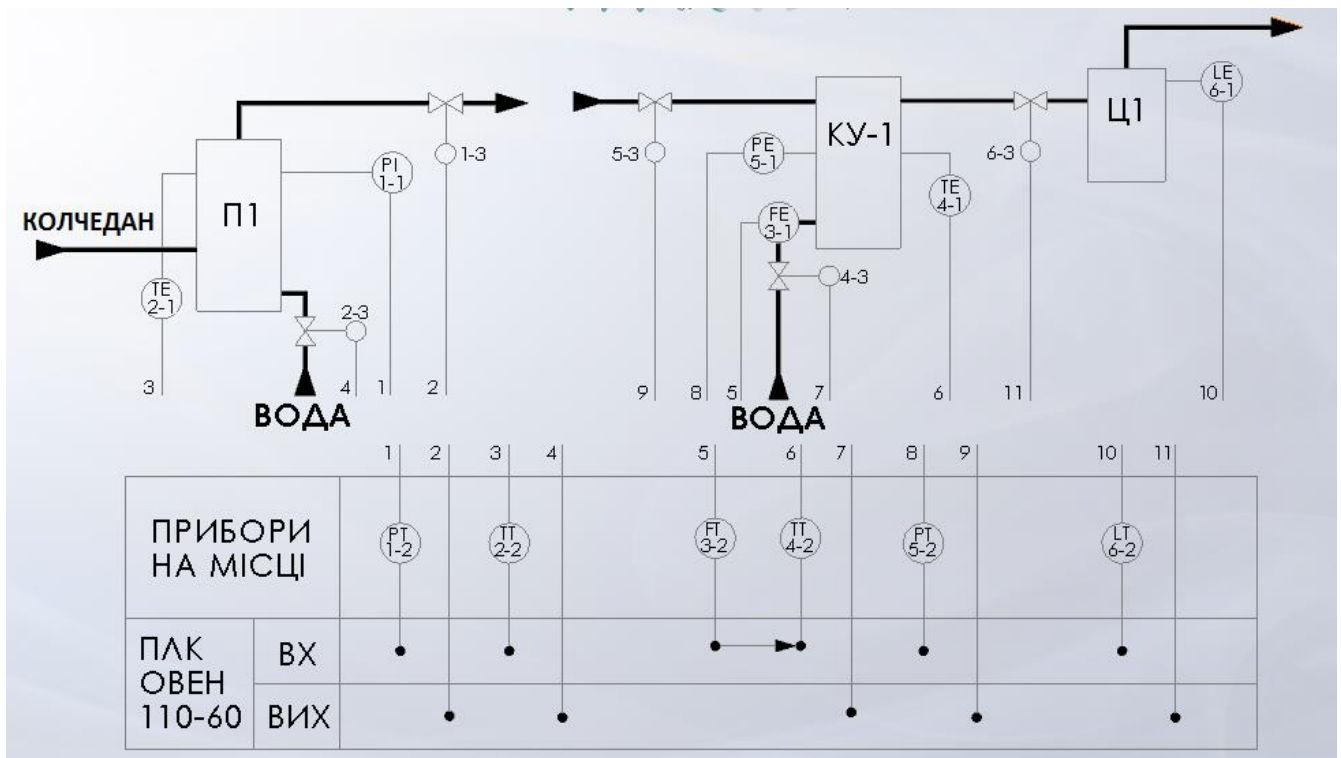


Рисунок 3.2 – ФСА печі кипячого шару П1, котла-утилізатора КУ-1 та циклону Ц1.

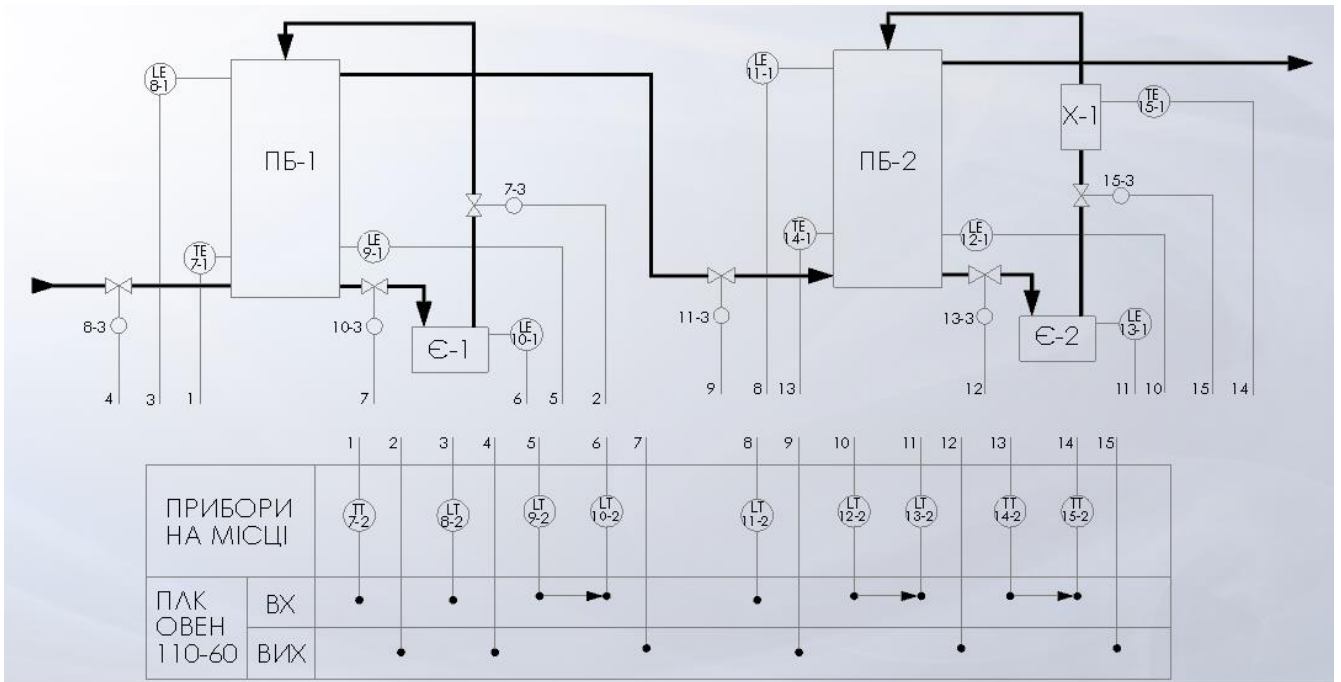


Рисунок 3.3 – ФСА промивних башт ПБ-1 і ПБ- 2, ємкостей для кислоти Є-1 і Є-2 та холодильника Х-1.

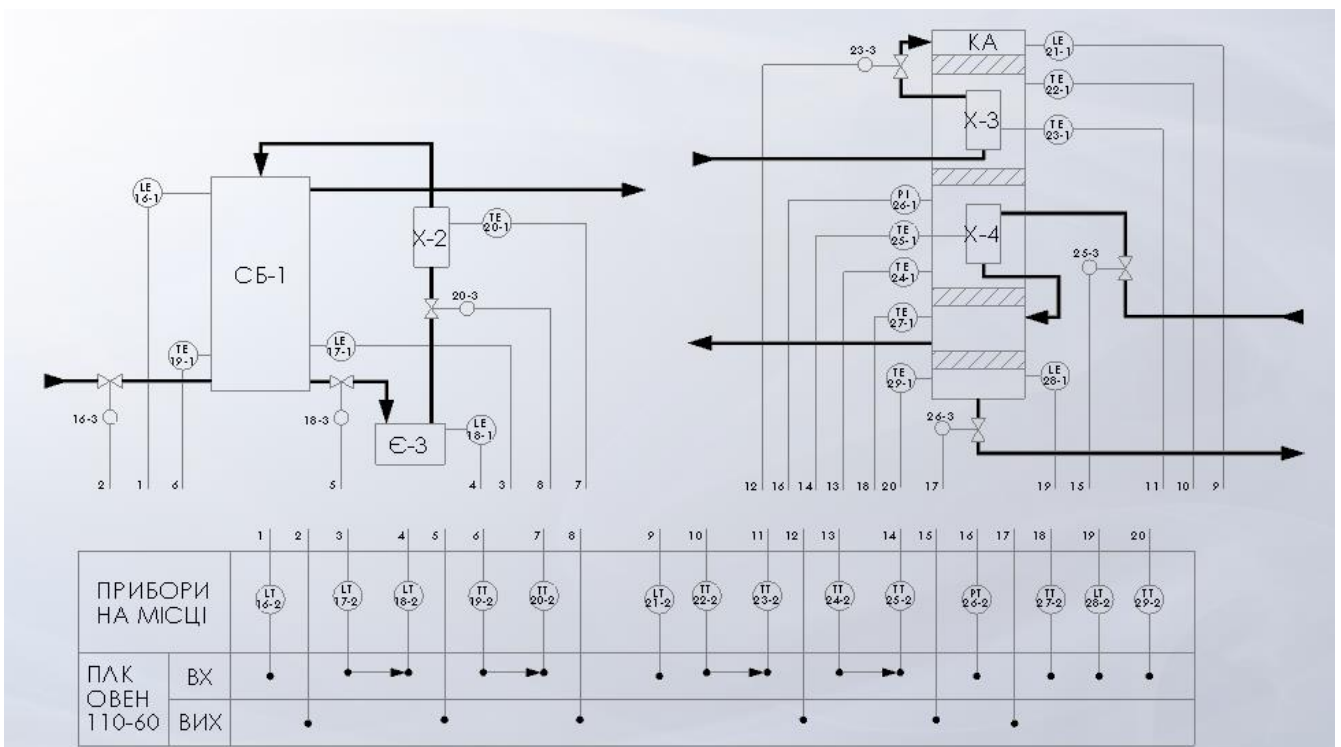


Рисунок 3.4 – ФСА сушильної башти СБ-1, ємкості для кислоти Є-3, контактного апарату КА та холодильників Х-2, Х-3, Х4.

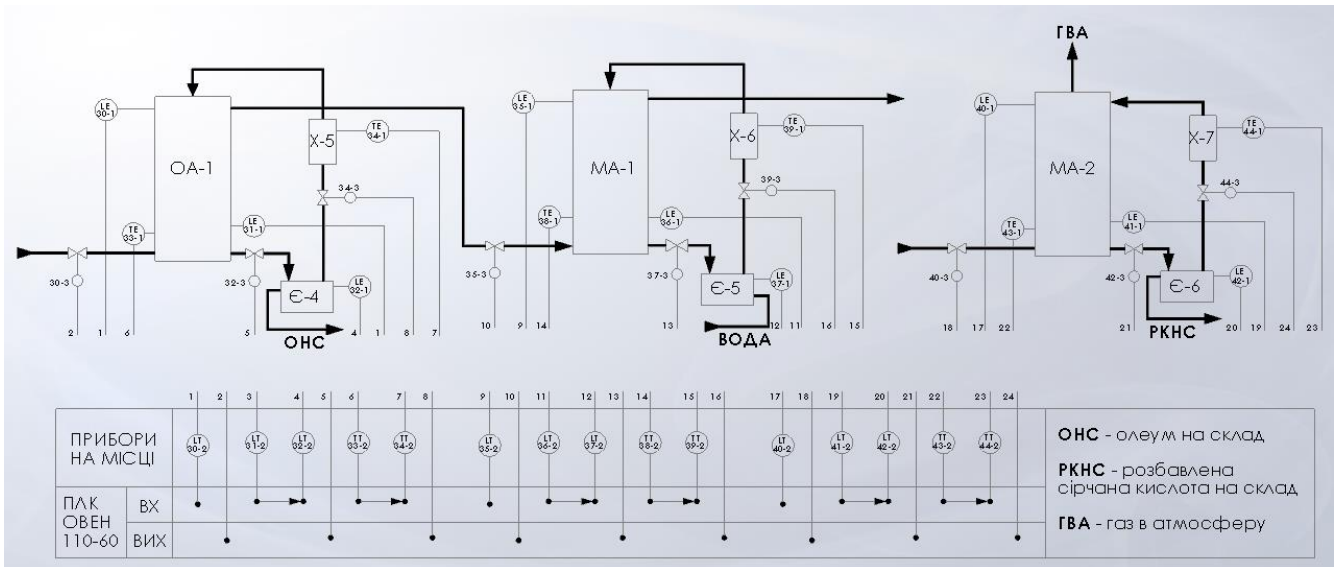


Рисунок 3.5 – ФСА олеумного абсорбера ОА-1, моногідратних абсорберів МА-1 і МА-2, ємкостей для кислоти Є-4, Є-5, Є-6 та холодильників Х-5, Х-6, Х-7.

### 3.4. Опис приладів

1. Термоелектричний термометр типу ТХА (ТХА 0515), гр. ХА, межі при яких він може проводити вимірювання від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $900^{\circ}\text{C}$ . Призначений для вимірювання температури газоподібних і рідких хімічно неагресивних, а також агресивних середовищ, які не руйнують захисну арматуру. Він перетворює різницю в температурі гарячого і холодного спаю у електричну величину термо-ЕРС, таким чином у ньому відбуваються необхідні вимірювання.

2. Давач тиску Метран 49-ДД. Проводить вимірювання в агресивних середовищах. Стійкий до корозії, інтелектуальний давач спеціально розроблений для використання в системах автоматизованого контролю. Безперервно передає уніфікований аналоговий сигнал у струмовий вихідний. Він може працювати із вторинною апаратурою реєстрації і регуляції т з іншими приладами, які можуть приймати стандартні струмові сигнали.



Метран 49-ДД може бути налаштований як на верхню межу вимірювання, так і на певний необхідний діапазон вимірювальних тисків.

3. Радарний рівнемір УЛМ-11. Розроблений для вимірювання рівня рідких, сипучих, в'язких, пастоподібних продуктів у відкритих і закритих контейнерах. Він являє собою радіолокатор, тому може проводити свої високоточні виміри безконтактно. Основною його перевагою є те, що він безпосередньо не контактує з вимірювальною речовиною. УЛМ-11 працює на надвисокій частоті радіохвилі 94 ГГц, що дозволяє забезпечити точні виміри навіть у найскладніших умовах. На сьогоднішній день ці давачі застосовують на об'єктах енергетичної, харчової, нафтогазової та хімічної промисловості.

4. Діафрагма камерна ДКС 0,6-250. Діафрагми камерні застосовують для виміру витрат речовин, можуть працювати при температурі вищій за 400 °С і в різних агресивних середовищах. Їх встановлюють фланцями в трубопроводі.

5. GX DIN - клапан регулюючий, може застосовуватись у різних робочих середовищах таких як рідина, пар і газ. Застосовують у трубопроводах діаметром від 25 до 100 мм, при робочому тиску 40 МПа і температурі від -29 до +371 °С. Основне призначення якого є регулювання, управління або відтікання потоку середовища.

6. Сталевий вентиль типу «30с96нж». Засувка для води, пару, газу і нафтопродуктів.

7. Вентиль діафрагмовий фланцевий «15ч74п1». У даному вентилі у ролі запірного елементу слугує еластична мембрана. Тиск при якому може працювати цей вентиль приблизний 300 кг/см<sup>2</sup>. Його основними перевагами є простота конструкції, невеликі габаритні розміри і маса, відсутність зон застою.

Відкриті і закриті стани даних клапанів можна контролювати завдяки сигналам контролерів автоматизації.

8. Перетворювач ЕПП-63 (датчик) РС-28G призначений для перетворення уніфікованого пневматичного сигналу 20 ... 100 кПа в уніфікований електричний сигнал 4 ... 20 мА.

9. Перетворювач ЕПТ-55 (датчик) призначений для перетворення уніфікованого теплового сигналу -50 ... 1000 °С в уніфікований електричний сигнал 4 ... 20 мА.

10. Перетворювач ЕПУ-57 (датчик) призначений для перетворення в аналоговий і кодовий електричний сигнал вхідні сигнали рівня рідин і газів в ємностях.

### 3.5. Головний контролер системи

Овен ПЛК 110-60 [МО2] – програмований логічний контролер з вмонтованими дискретними входами та виходами. Необхідний для забезпечення контролю, диспетчеризації та керування автоматизованими системами. Його можуть застосовувати у великій кількості сфер, наприклад при: автоматизації обладнання, керуванні механізмами та різними верстатами, керуванні пакувальними та харчопереробними апаратами та багато інших [6].

Параметри ПЛК 110-60 [МО2]:

Параметр	ПЛК110-60[МО2]
Кількість входів	36
Швидких входів	4
Швидких лічильників	4
Енкодерів	АВ АВZ 1 або 2
Кількість виходів	24
Швидких виходів (для ПЛК110 з транзисторними виходами)	4
Кількість портів	
RS-485	2
RS-232	1
RS-232-Debug	1
Ethernet 100 Base-T	1

### 3.6. Модуль розширення додаткових входів/виходів для ПЛК

Оскільки в ПЛК 110-60 є всього 36 входів і 24 виходи, а для підключення всіх необхідних для автоматизації нашої системи датчиків необхідно 44 входів і 26 виходів. Вирішити дану проблеми ми можемо за рахунок підключення до нашого ПЛК ПРМ модуль розширення входів і виходів. Для цієї системи ми обрали модуль ПРМ-220.1. [6].

#### Характеристика входів ПРМ-220.1.

Найменування	Значення	
	ПРМ-220.1	ПРМ-24.1
Кількість дискретних входів	8	
Вхідні пристрої, що підмикаються	комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле тощо)	
	—	датчики, що мають на виході транзистор р-п-р-типу з відкритим колектором
Напруга живлення дискретних входів	90...264 В	15...30 В
Макс. вхідний струм	9 мА	5 мА
Струм «логічної одиниці»	0,7...1,4 мА	0...1 мА
Рівень сигналу «логічної одиниці»	159...264 В	15...30 В
Рівень сигналу «логічного нуля»	0 ... 40 В	-3...+5 В
Гальванічна розв'язка	групова по 4 входи (1...4, 5...8)	
Електрична міцність ізоляції	2800 В	1780 В

### Характеристика виходів ПРМ-220.1.

Найменування	Значення	
	ПРМ-220.1	ПРМ-24.1
Кількість дискретних виходів	8	
Тип дискретного вихідного елемента	Р-електромагнітне реле (нормально-відкрите)	
Максимально допустимий струм навантаження	5 А при напрузі не більше 250 В змінного струму і $\cos\phi > 0,95$ 3 А при напрузі не більше 30 В постійного струму	
Час перемикання зі стану «0» в стан «1» і назад	не більше 10 мс	
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	групова (виходи зібрані в групи по 2 шт. і мають загальну клему)	
Електрична міцність ізоляції	2800 в по 2 реле (групова – 1780 в)	

При підключенні ПРМ-1 до ПЛК 110-60 загальна кількість виходів вийде 44, завдяки чому ми зможемо підключити всі необхідні датчики для автоматизації даної системи.

### 3.7. Підключення приладів до ПЛК і ПРМ.

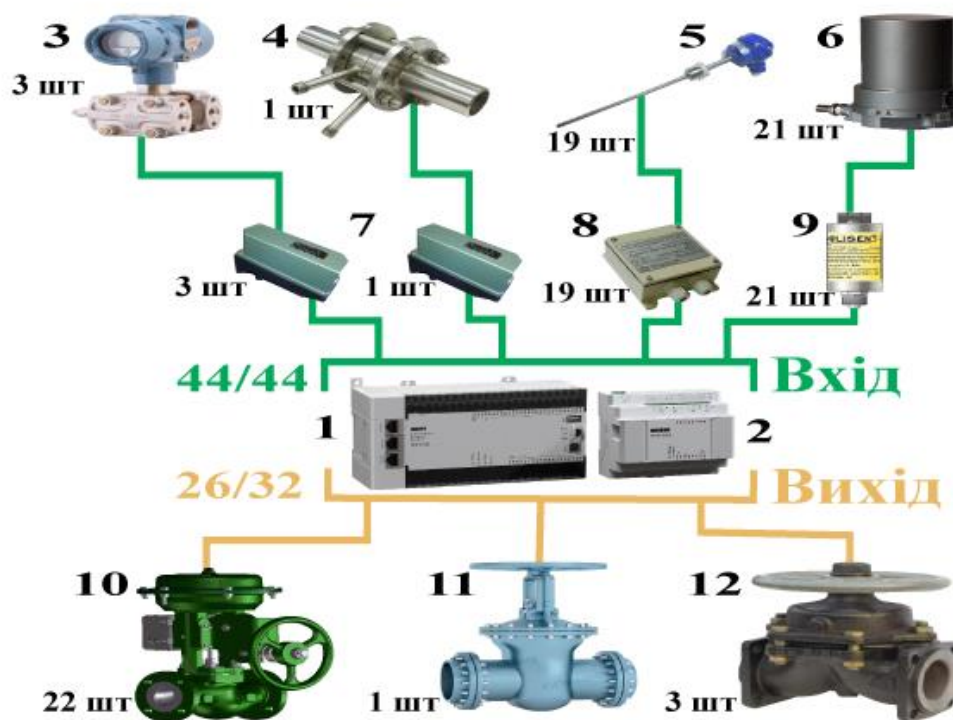


Рис.14. Схема підключення приладів системи до ПЛК і ПРМ.

1 – Овен ПЛК 110-60 [MO2]; 2 – ПРМ-220.1; 3 – Метран 49-ДД; 4 – ДКС 0,6-250; 5 – ТХА-0515; 6 – УЛМ-11; 7 – ЕПП-63; 8 – ЕПТ-55; 9 – ЕПУ-57; 10 – GX; 11 – 30с96НЖ; 12 – 15ч74П.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 4.1. Ексергетичний аналіз

Стандартний спосіб життя на Землі досягнув і залишається експлуатація природних ресурсів, накопичених протягом тисячоліть. Ті природні ресурси, які суттєво відрізняються за хімічним складом від мертвих станів елементів, що містять ресурс (наприклад, викопне паливо) найцінніші, оскільки вони можуть жити та керувати термічними та хімічними процесами. Рівень споживання набагато перевищує рівень заміщення тому можливий дефіцит ресурсів неминучий. З цієї причини очевидно, що важлива розробка систем теплової енергії, які ефективно використовують невідновлювані ресурси, такі як нафта, природний газ, та вугілля.

Енергетичний баланс, який ґрунтується на першому законі термодинаміки, використовується в будь-якій спробі зменшити втрати тепла або посилити рекуперацію тепла. Однак такий баланс не дає інформації про деградацію енергії, що відбувається в процесі, а також не показує вмісту тепла в різних потоках, що виходять з переробки у вигляді продукту, відходів або охолоджуючої рідини. Отже, ідея мати щось, що може бути зруйноване, може бути корисними з точки зору проектування та аналізу теплових систем. Ця ідея стосується не енергії, оскільки вона зберігається, а ексергії - концепція другого закону. Більше того, саме ексергія, а не енергія належним чином визначає якість потоку речовини. Таким чином, метод ексергії аналізу долає обмеження першого закону термодинаміки, оскільки ця концепція базується на першому і другому законі. Його застосування чітко вказує місце розташування, типи, і справжні величини відходів та втрат у процесі, що може призвести до проектування та аналізу теплових систем для зменшення джерел неефективності в існуючих системах та оцінити їх економіку.

Рисунок 4.1 показує нам, що енергія та ексергія - це принципово різні поняття, хоча вони мають спільні одиниці. На рисунку 4.1 - передача енергії

та ексергії показані як норми для контрольного обсягу в рівноважному стані. Відповідно до збереження енергетичного принципу, загальна швидкість, з якою енергія надходить до контрольного об'єму, дорівнює загальній швидкості виходу енергії. Однак загальна ексергія, яка надходить у контрольний обсяг перевищує загальну швидкість вихідної ексергії. Відповідно, ексергія дає чіткішу картину продуктивності, ніж енергія, оскільки ексергія виражає всю енергію перераховану на загальних принципах і чітко враховує наслідки незворотності через концепцію знищення ексергії.

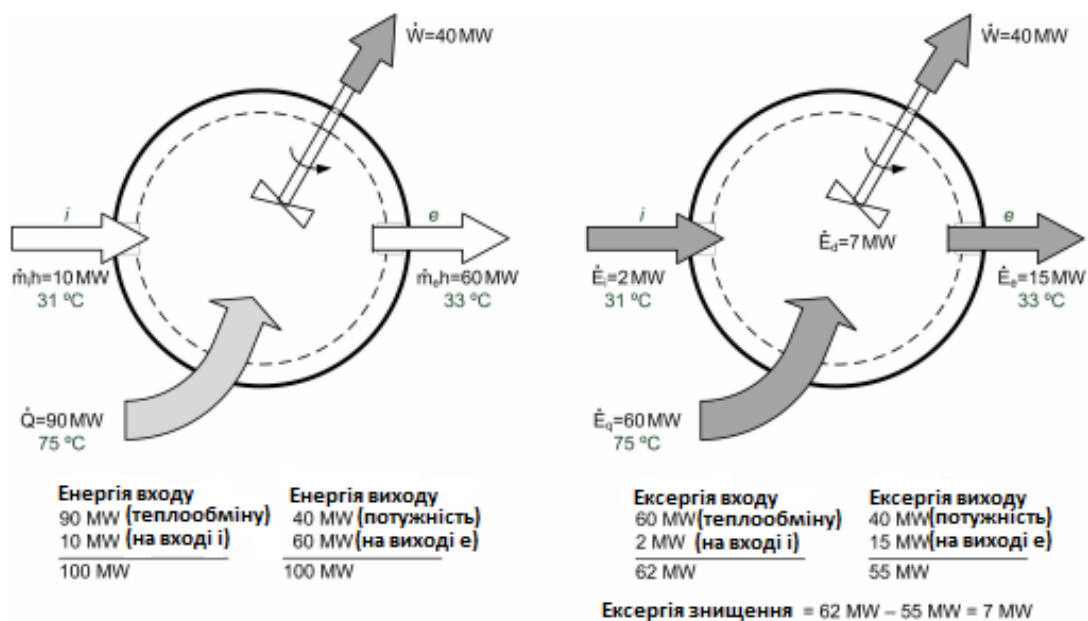


Рисунок 4.1 - Енергія проти ексергії

Отже, ексергія стає все більш важливим інструментом для проектування та аналізу теплових систем. Ширше застосування методу ексергії аналізу може призвести до істотного зниженого рівня використання природних ресурсів та споживання забруднених ресурсів [5].

## 4.2. Концепція ексергії

Енергія зберігається в кожному пристрої чи процесі. Нею не можна нехтувати. Отже, енергія, що надходить у систему з паливом, електрикою, потоками речовини, що протікає і так далі, може враховуватися у продуктах

та побічних продуктах. Однак самої ідеї енергозбереження недостатньо для відображення деяких важливих аспектів використання ресурсів [5].

Всякий раз, коли дві системи перебувають у різних станах і вони об'єднуються в рівновагу, тоді завжди є можливість робити корисну роботу. Коли одна з цих двох систем - це якась система інтересів, а інша - ідеалізована система що називається середовищем, ексергія - це максимально теоретична корисна робота, яку можна отримати коли система переходить у рівновагу (переходить у мертвий стан); відбувається теплообмін лише з навколишнім середовищем. Це може бути підняття тягаря, робота на валу або електрична робота. Як варіант, ексергія - це мінімальна теоретична корисна робота, необхідна для формування кількості речовини з речовин, що знаходяться в навколишньому середовищі і задають значення до заданого стану. Отже, для розрахунку ексергії, середовища повинні бути попередньо визначені. В результаті цього, як тільки навколишнє середовище є визначеним, ексергія також може вказуватись як властивість системи.

На відміну від енергії, ексергія не залежить від закону збереження. Кожне необоротне явище спричиняє втрати ексергії, що призводять до зменшення корисного наслідку процесу. Описане далі показує, що ексергія не тільки може бути знищена незворотніми способами, але також може бути передана «в» та «з» систем. Ексергія, передана від системи до оточення без використання, як правило, являє собою втрату. Покращене використання енергетичних ресурсів може бути реалізоване за рахунок зменшення ексергії знищення та/або зменшення втрат у системі. Завданням аналізу ексергії є визначення місць, де відбуваються руйнування і втрати ексергії, і порядок їх значення, тому увагу можна зосередити на аспектах функціонування систем, що пропонують найбільші можливості для економічної ефективності вдосконалення [5].



## 4.2.1 Навколишнє середовище та мертві стани

### Навколишнє середовище

Для термодинамічного аналізу, що включає концепцію ексергії, необхідно змоделювати атмосферу. Такі моделі називають референтним середовищем для ексергії або просто середовищем. Термін середовище стосується певної частини оточення (все, що не включено в систему) в якому інтенсивні властивості кожної фази є однорідними і не змінюються суттєво в результаті будь-якого розглянутого процесу.

Середовище, як правило, розглядається як складене із загальних речовин, які існують в достатку в атмосфері Землі, океанах і поверхні. Речовини перебувають у своїх стабільних формах, оскільки існують у природі, і немає можливості розвивати роботу із взаємодій - фізичних чи хімічних, як це буде пояснено у наступному розділі - між частинами навколишнього середовища. При описі хімічної ексергії (розділ 4.3.2.), буде описуватись, які речовини Землі беруться до уваги врахування в нашому системному середовищі, а яке ні. Ми змодельуємо середовище як стислу систему з рівномірною температурою  $T_0$  та тиском  $P_0$ , які для простоти в цій роботі приймаються як типові умови навколишнього середовища як  $25\text{ }^\circ\text{C}$  та  $1\text{ атм}$  ( $1,013\text{ бар}$ ).

### Мертві стани

Кажуть, що система перебуває в мертвому стані (рис. 4.2), коли її тиск, температура, склад, швидкість або висота рівні цим відповідним параметрам середовища. Отже, при зміні стану системи до рівня навколишнього середовища, можливість виробляти корисну роботу зменшується, припиняючись, коли система та навколишнє середовище знаходяться в рівновазі. У цьому стані немає можливості спонтанних змін в системі чи навколишньому середовищі, і не може бути взаємодії між ними. Що стосується ексергії, то в такому стані існує система ексергії нуля.

Слід пояснити, що між звичайним станом системи та мертвим станом,

існує проміжний рівень рівноваги, про який також слід згадати. Цей стан називається обмеженим мертвим станом (рис. 4.2). На даний момент система стоїть лише в механічній і тепловій рівновазі з навколишнім середовищем, тому вона все ще може виробляти хімічну роботу при хімічній взаємодії з навколишнім середовищем. Біля обмеженого мертвого стану і для досягнення мертвого стану система повинна взаємодіяти хімічно з речовинами навколишнього середовища. Тому те, що технічно відбувається між обмеженим мертвим станом та мертвим станом полягає в тому, що наша системна складова концентрації "змішуються" з концентраціями навколишнього середовища, що говорить про те, що хімічні реакції відбуваються до рівноваги.

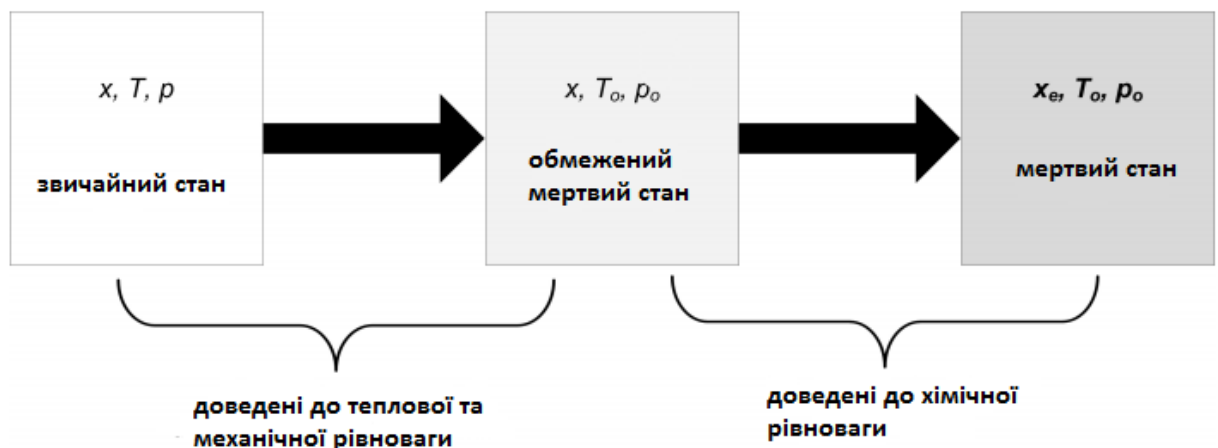


Рисунок 4.2 - Мертві стани системи

### 4.3. Компоненти ексергії

Ексергію можна розділити на чотири компоненти: фізичну  $E^{PH}$ , кінетичну  $E^{KN}$ , потенціальну  $E^{PT}$  та хімічну ексергії  $E^{CH}$ . Сума фізичної, кінетичної та потенційної ексергії також відома як термомеханічна ексергія. Сума термомеханічної та хімічної ексергії - це сукупна ексергія, пов'язана з даною системою при визначеному стані відносно вказаного опорного середовища ексергії.

$$E = E^{PH} + E^{KN} + E^{PT} + E^{CH} \quad (4.1)$$

Однак у цій роботі буде врахована лише фізична та хімічна ексергія оскільки процес розгляду нашої системи вважається спокійним відносно навколишнього середовища, тоді кінетична та потенціальна ексергії мають нульове значення. Отже, від тепер, коли мова йде про ексергію або про повну ексергію, це буде стосуватися суми лише фізичної та хімічної ексергії.

$$E = E^{PH} + E^{CH} \quad (4.2)$$

Для цієї роботи був розроблений додатковий інструмент під назвою CHEMEX для обчислення фізичних показників та хімічної ексергії від потрібного технологічного потоку в комерційному CHEMCAD симуляторі технологічної схеми.

#### 4.3.1. Фізична ексергія

Фізична ексергія,  $E^{PH}$  - це робота, яку можна отримати шляхом переведення речовини через оборотні фізичні процеси від початкового стану температури  $T$  і тиску  $P$  до обмеженого мертвого стану, що визначається температурою  $T_0$  і тиском  $P_0$  навколишнього середовища. Фізична ексергія замкнутої системи в заданому стані задається формулою:

$$E^{PH} = (U - U_0) + P_0(V - V_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.3)$$

Де  $U$ ,  $V$  і  $S$  позначають відповідно внутрішню енергію, об'єм та ентропію системи в заданому стані, а  $U_0$ ,  $V_0$  і  $S_0$  - значення однакові властивості, коли система перебуває у обмеженому мертвому стані. Оскільки тиск середовища,  $P_0$ , залишається постійним, рівняння (4.3) може бути описане так:

$$E^{PH} = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (4.4)$$

Тут  $H$  і  $H_0$  означають ентальпію системи при заданому стані та при обмеженому мертвому стані, відповідно. Цей вираз крім того, що є більш компактним ніж перший, він зручніший для обчислення фізичної ексергії, оскільки CHEMCAD може легко обчислити значення ентальпії та ентропії з

бажаного процесу потоку. Тоді СНЕМЕХ повинен лише імпортувати ці дані та обчислити фізичні дані значення ексергії.

### 4.3.2. Хімічна ексергія

Хімічна ексергія - це максимальна робота, яку можна отримати, приймаючи речовини що мають параметри середовища  $T_o$ ,  $P_o$ , до термодинамічної рівноваги, або мертвого стану, з речовинами, що складають довкілля. У мертвому стані речовина, яка в даний час є частиною навколишнього середовища, має новий парціальний тиск  $x_e P_o$ , який можна позначити  $P_{oo}$ . Де  $x_e$ , показано на малюнку 4.2, відноситься до молярної частки речовини в навколишньому середовищі.

$$\bar{e}^{CH} = RT_o \ln \frac{P_o}{P_{oo}} = -RT_o \ln x_e \quad (4.5)$$

Рівняння (4.5) кількісно визначає аналітично-хімічну ексергію на моль речовини, також відома як стандартна хімічна ексергія.

На практиці значення, розраховані за рівнянням (4.5), можна знайти в опублікованих таблицях для різних хімічних елементів, залежно від екологічної моделі, зазвичай в кДж/кмоль, визначається щодо стандартного середовища при температурі  $T_o$  і тиску  $P_o$ . Для легкості температура 25 °C і тиск 1 атм зазвичай використовується як еталонна обстановка, оскільки ефектом незначних коливань в них можна знехтувати.

Стандартне середовище може бути визначено як відповідним чином вибраний набір посилок речовини зі стандартними концентраціями, що максимально точно відображають хімічний склад речовини природного середовища, де ці речовини-референтні повинні знаходитись взаємній рівновазі, щоб виключити можливість розвитку роботи із взаємодій між частинами середовища.

Зазвичай використовуються два альтернативні стандартні еталонні середовища для ексергії, Модель I та Модель II, кожна з яких відображає

склад навколишнього середовища по-іншому. Для конкретного аналізу слід використовувати лише одну з двох моделей.

У цій роботі використано Модель I. Однак СНЕМЕХ пропонує також можливість вибору Моделі II для подальших досліджень. З одного боку, Модель I намагається задовольнити вимогам рівноваги термодинамічної теорії; тобто газова фаза цієї моделі належним чином наближена до хімічного складу природної атмосфери.

З іншого боку, Модель II краще наближена до хімічного складу загального природного середовища, але вимога рівноваги не задовольняється, як у Моделі I.

Для того, щоб розрахувати хімічну ексергію газової суміші, наведемо таке рівняння:

$$e_M^{CH} = \sum z_k \bar{e}_k^{CH} + RT_o \sum z_k \ln z_k \quad (4.6)$$

Де  $e_M^{CH}$  - загальна мольна хімічна ексергія суміші;  $e_k^{CH}$  і  $z_k$  - це стандартна хімічна ексергія і молярна частка k-го компонента в суміш; R - молярна універсальна газова постійна (8,314 кДж кмоль<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup>).

Для розрахунку хімічної ексергії рідкого розчину використовуються такі рівняння:

$$e_M^{CH} = \sum y_k \bar{e}_k^{CH} + RT_o \sum y_k \ln \gamma_k y_k \quad (4.7)$$

Де тут  $y_k$  і  $\gamma_k$  позначає мольну частку рідини та коефіцієнт активності k-го компонента у розчині відповідно. Коефіцієнт активності дорівнює безрозмірному коефіцієнту, який виражає, наскільки сильно розчин відрізняється від свого ідеального стану. Для ідеальних розв'язків коефіцієнти активності дорівнюють одиниці і можуть бути більшими або меншими ніж єдність для реальних розв'язків. У цій роботі враховується лише діяльність коефіцієнти води та сірчаної кислоти, оскільки обидва компоненти сильно реагують.

Розрахунок коефіцієнтів активності описаний в наступному розділі.

### Розрахунок коефіцієнта активності

Для неідеального розчину мольна вільна енергія,  $g$ , є сумою молярної вільної енергії ідеального розчину і надлишок молярної вільної енергії  $g^E$ , що описує неідеальні ефекти. Для рідкого розчину

$$g = \underbrace{\sum_i y_i g_i + RT \sum_i y_i \ln y_i}_{\text{idealsolution}} + g^E \quad (4.8)$$

де  $g \equiv h - T_s$  і надлишок молярної вільної енергії,  $g^E$ , це сума часткового надлишку молярних вільних енергій. Частковий надлишок молярної вільної енергії пов'язаний класичною термодинамікою до коефіцієнта активності рідкофазної фази наступним рівнянням:

$$\frac{g_i^E}{RT} = \ln \gamma_i = \frac{g^E}{RT} - \sum_k y_k \left[ \frac{\partial (g^E / RT)}{\partial y_k} \right]_{p,T,y_r} \quad (4.9)$$

де  $r \neq k$ ,  $k \neq i$  та  $r \neq i$ .

У цій роботі в рідких розчинах обчислюються лише коефіцієнти активності води та сірчаної кислоти. Обчислена ця подвійна суміш у рівнянні (4.9).

$$\ln \gamma_{H_2O} = \frac{g^E}{RT} - \frac{y_{H_2SO_4}}{RT} \frac{\partial g^E}{\partial y_{H_2SO_4}} \quad (4.10)$$

$$\ln \gamma_{H_2SO_4} = \frac{g^E}{RT} - \frac{(1 - y_{H_2SO_4})}{RT} \frac{\partial g^E}{\partial y_{H_2O}} \quad (4.11)$$

СHEMEX обчислює коефіцієнти активності води,  $\gamma_{H_2O}$  та сірчаної кислоти,  $\gamma_{H_2SO_4}$ , використовуючи апроксимацію поліноміальної функції для надлишкового моляра вільна енергія

На рисунках 4.4 та 4.5 представлені результати розрахунків програми для бінарного розчину  $H_2SO_4 / H_2O$  за умов навколишнього середовища (25 °C та 1,013 бар), оскільки ексергія обчислюється в мертвому стані. На рисунку 4.4 можна помітити, що при низькій концентрації кислоти  $\gamma_{H_2O}$

близька до одиниці та  $\gamma^{H_2SO_4}$  до нуля; при підвищеній концентрації кислоти все відбувається навпаки. Це означає, що коли рішення має тенденцію до утворення лише одним компонентом, то його поведінка наближається до ідеального, оскільки не існує взаємодії між обома компонентами. В іншому випадку, коли представляється молярна концентрація між 30 і 50% сірчаної кислоти, досягається найсильніша взаємодія між двома компонентами. Цей факт можна правильно спостерігати на малюнку 4.5.

У довідковому процесі є лише два випадки різного коефіцієнта активності значення: один з молярною концентрацією 0,3943 (потоки 10, 11, 12 і 13), а інший - до 0,3932% сірчаної кислоти (потоки 14 і 15) (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Коефіцієнти активності

	потік n <sup>o</sup>	$\gamma_{H_2O}$	$\gamma_{H_2SO_4}$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> з абсорбації	10	0.0058146	0.0056909
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> від насоса	11	0.0058146	0.0056909
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> подача	12	0.0058146	0.0056909
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> циркуляція	13	0.0058146	0.0056909
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> змішана з водою	14	0.0059621	0.0054756
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> з теплообмінника	15	0.0059621	0.0054756

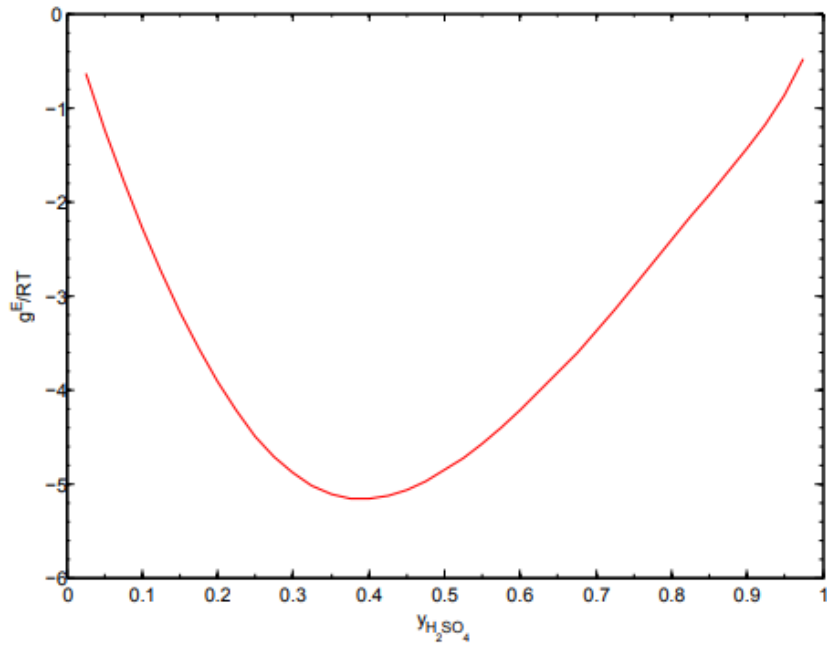


Рисунок 4.3 - Надлишок вільної молярної енергії  $g^E$  у рідкій суміші  $H_2O$  /  $H_2SO_4$  (78 мас.%) для або загального діапазону  $y_{H_2SO_4}$ , при 25 °C і 1,013 бар.

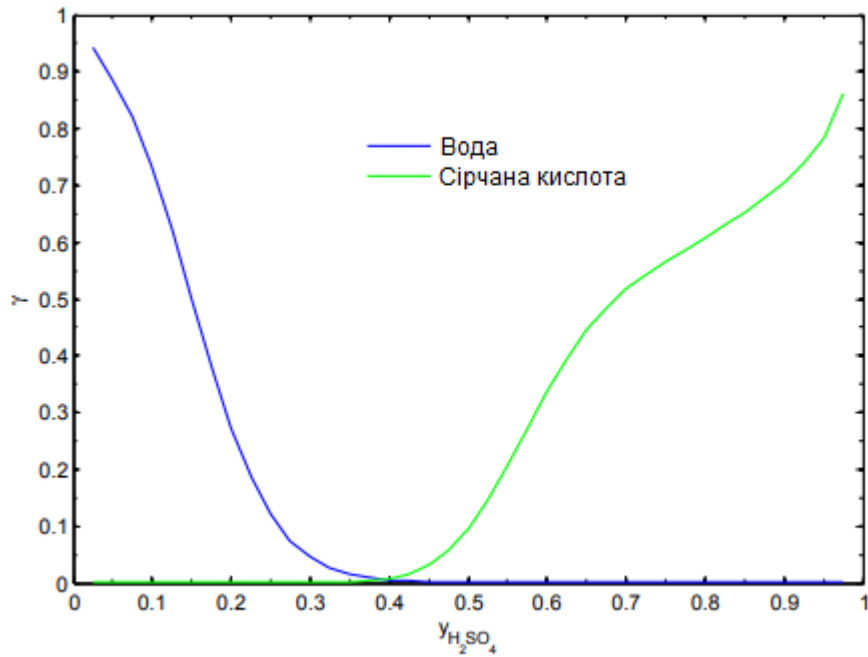


Рисунок 4.4 - Коефіцієнти активності для  $H_2O$  та  $H_2SO_4$ ,  $y_{H_2SO_4} \in (0,1)$  при 25 °C та 1,013 бар



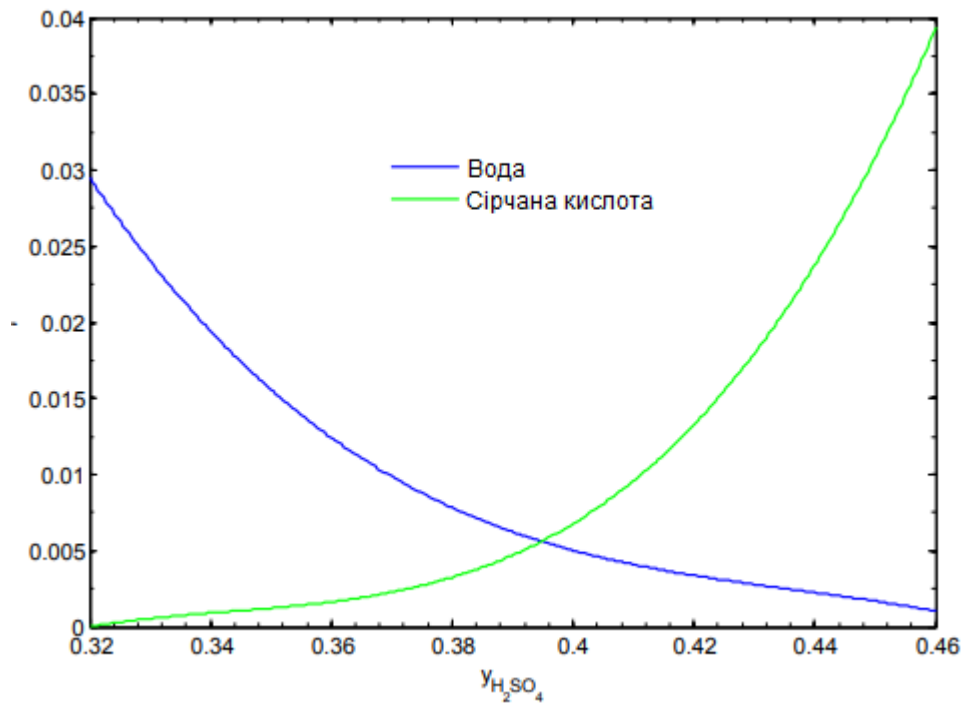


Рисунок 4.5 - Коефіцієнти активності для  $H_2O$  та  $H_2SO_4$ ,  $y_{H_2SO_4} \in (0,3,0,5)$ , при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  та  $1,013\text{ бар}$

Аналіз графіків дозволяє побачити вузькі місця, де на проходження процесу витрачається збільшена кількість енергії, якщо проводити оптимізацію процесу на сказаних ділянках, то можна досягти суттєвої економії енергоресурсу при виробництві сірчаної кислоти. У нашому випадку такими вузькими місцями є контактний апарат, де відбувається різношаровий температурний розподіл. Використання вище описаних моделюючих факторів дасть змогу більш якісно оптимізувати процес, використовуючи вже розроблену нами автоматизовану систему. Проте необхідно встановити додаткові аналізатори температури, що в рамках виконання цього проекту неможливо.

## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1. Алгорит роботи розробленої системи

Кожна автоматизована система для коректної роботи вимагає створення керуючої програми. Для більшості контролерів робоча програма створюється відповідно до стандарту МЕК 61131, який встановлює 6 мов програмування.

Для написання конкретної програми на першому етапі необхідно створити алгоритм роботи системи керування. У ньому необхідно передбачити усі можливі регулювання аналізованих величин та адекватну реакцію системи на аварійні ситуації, вихід контрольованих параметрів за потрібні межі, можливі поломки обладнання та інші нештатні ситуації, які можуть виникати. При цьому створюючи програму відразу важко врахувати усі фактори. У зв'язку з цим необхідно створити узагальнений алгоритм, в якому визначити основні елементи роботи системи.

На початку роботи система повинна протестувати всі наявні в її контролерах входи виходи, перевірити їх роботоздатність. Далі система синхронізує усі таймери всіх елементів системи, щоб не виникало помилок та колізій в наслідок неузгодженості часу. У подальшому система повинна опитати всі давачі та оцінити їх роботоздатність, перевірити відсутність аварійних станів на будь-якій ділянці виконання технологічного процесу. Це все повинно відбуватися в підпрограмі ініціалізації запуску.

Якщо в процесі виконання цього модуля виникають помилки, система повинна провести сигналізацію, щоб оператор побачив світлову або звукову індикацію і прореагував адекватно на даний факт.

Система також повинна мати можливість самостійно запустити процедуру усунення помилки і якщо остання не дала результату ініціалізувати підпрограму виклику ремонтника.

Якщо ж ініціалізація запуску пройшла успішно, то система проводить початковий запуск усіх технологічних механізмів. Проводиться нагрів печей, вмикання насосів подачі води, транспортерів подачі колчедану, центральних вентиляторів, проводить запуск циклонів і електрофільтрів.

При нормальному виході всіх елементів на робочі показники система починає виконувати алгоритм далі.

Структурна схема реалізації такого алгоритму приведена на рисунку 5.1.

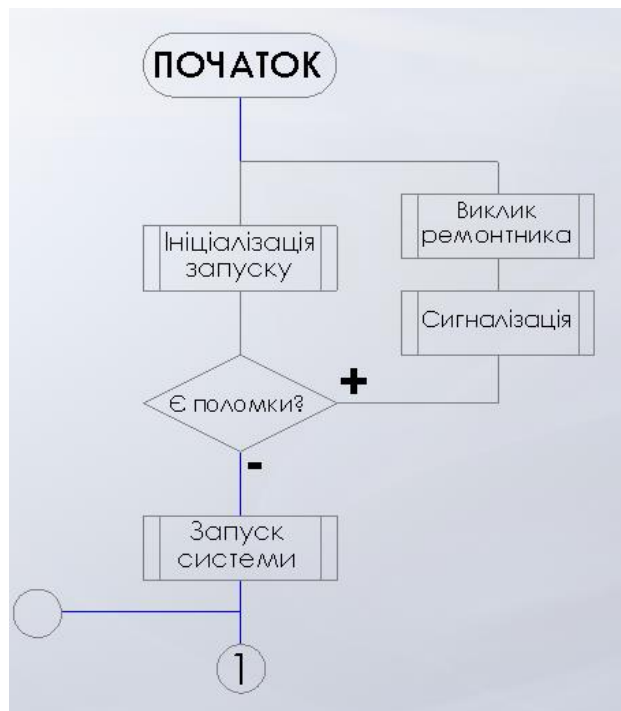


Рисунок 5.1 – Реалізація початкового запуску системи.

Далі система керування повинна виконати наступний алгоритм, який відноситься до контролю основних параметрів печі кип'ячого шару. На цьому етапі система повинна контролювати тиск в печі. Він повинен знаходитися в заданих межах, які в встановлюються головними технологами контролю виробництва. Якщо тиск перевищує задані значення, то система повинна відкрити клапан 1-3 (рисунок 3.2). При цьому відбувається стравлювання газу в атмосферу, що понижає тиск в печі. Якщо ж значення

цього параметру менша заданого, то клапан необхідно закрити та інтенсифікувати нагрів.

Також в даному блоці аналогічним чином необхідно контролювати температуру. При надто високому її значенні необхідно збільшити циркуляцію охолоджуючої води в трубопроводах печі. У протилежному випадку необхідно її зменшити. Цей процес виконується шляхом використання регульованого клапану (2-3) (рисунок 3.2).

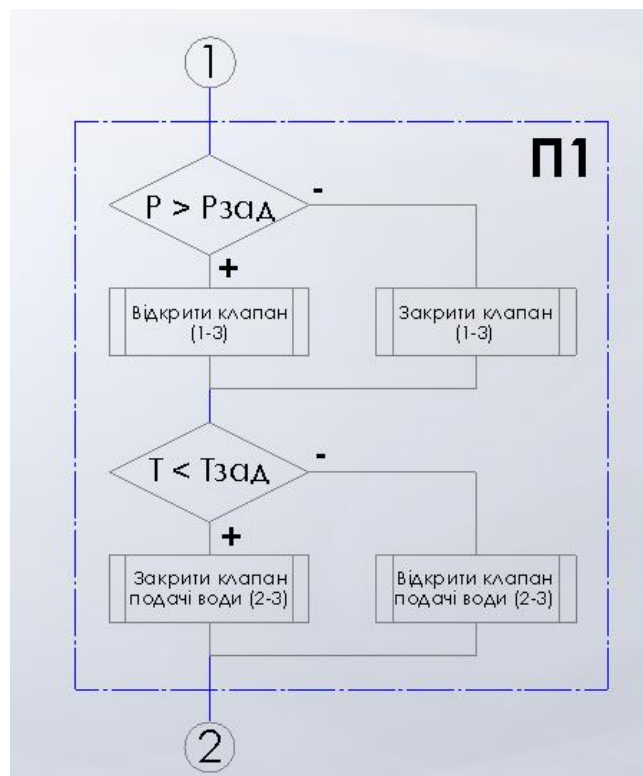


Рисунок 5.2 – Схема реалізації управління в печі киплячого шару П1.

Слід відмітити, що усі розглядувані елементи алгоритму виконуються фактично одночасно, оскільки сучасні мікроконтролери мають відносно малий машинний цикл.

Далі наша система повинна контролювати температуру та тиск в котлі-утилізаторі. Основним завданням у ньому є охолодження газу. При підвищеній температурі більше заданої необхідно збільшити подачу холодної води шляхом прикривання автоматичного клапану. В іншому випадку

необхідно зменшити подачу охолоджуючої рідини. Схема цього алгоритму приведена на рисунку 5.3.

Також система повинна контролювати очищувач газу типу циклон. У ньому необхідно підтримувати рівень запиленого газу за рахунок регулюючого клапана 6-3 (рисунок 3.2).

Наступними елементами контролю є промивна башта та ємність для збору кислоти. Тут необхідно контролювати Температуру у промивній башті та рівень газу, який подають. В ємності контролюють лише рівень кислоти. Ці дві ємності прямозв'язані між собою.

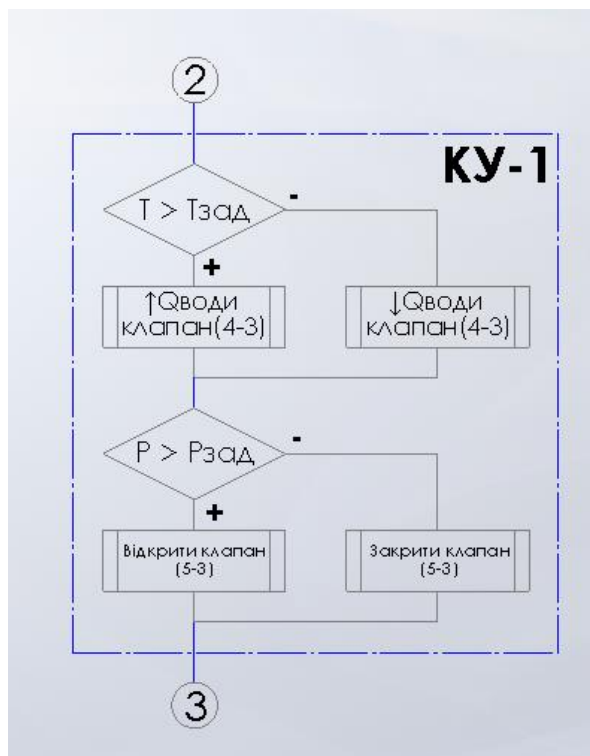


Рисунок 5.3 – Алгоритм роботи котла-утилізатора.

Перевищення рівня кислоти в промивній башті приводить до того, що частина кислоти переливається в ємність. У прилежному випадку процес зворотній. Ці процеси регулюються за допомогою клапанів 7-3, 8-3, 10-3 (рисунок 3.3). Алгоритм роботи описаний вище приведений на рисунку 5.4.

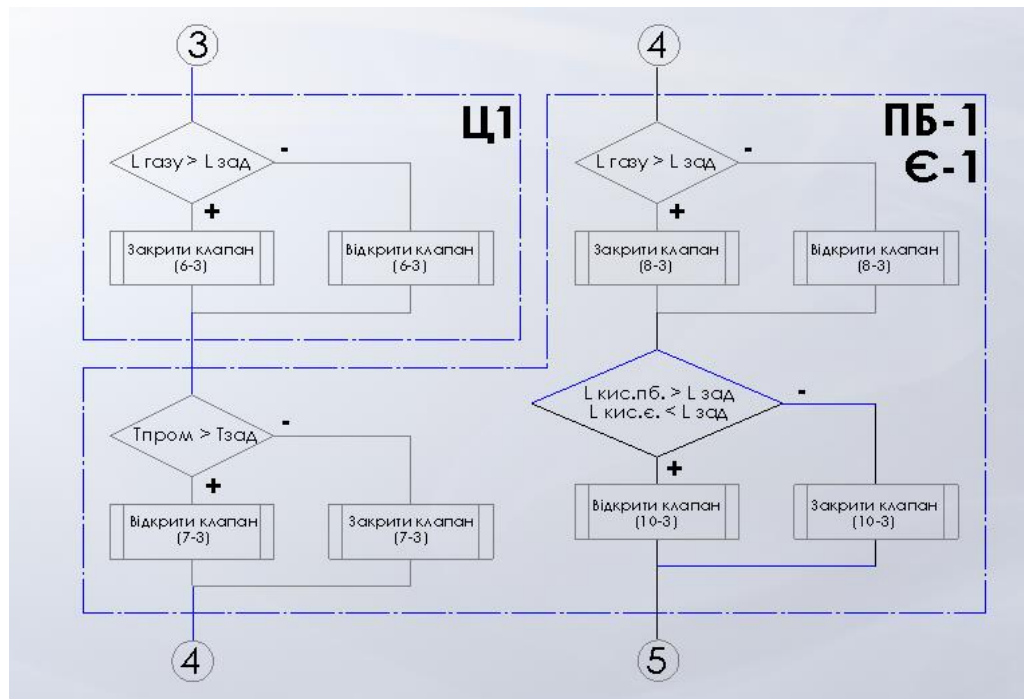


Рисунок 5.4 – Алгоритм роботи ємності Є-1, промивної башти ПБ-1 та циклону Ц1.

У виробництві сірчаної кислоти застосовують дві промивні башти. Відповідно друга функціонує так само, проте у її складі додатково знаходиться холодильник, завдання якого довести процес охолодження кислоти до нижчих меж. При цьому контролюється температура в промивній башті, а також у холодильній камері. При зростанні температури у башті необхідно збільшити подачу кислоти, а при значенні меншому заданого – зменшити. Цей процес забезпечується регульованими клапанами 11-3, 13-3, 15-3 (рисунок 3.3).

Алгоритм роботи цієї ділянки приведено на рисунку 5.5.

На наступній ділянці проводиться контроль роботи сушильної башти та холодильника є ємністю, аналогічній попередній. Керування відбувається за рахунок клапанів 16-3, 18-3, 20-3 (рисунок 3.4).

Алгоритм роботи такої ділянки приведений на рисунку 5.6.

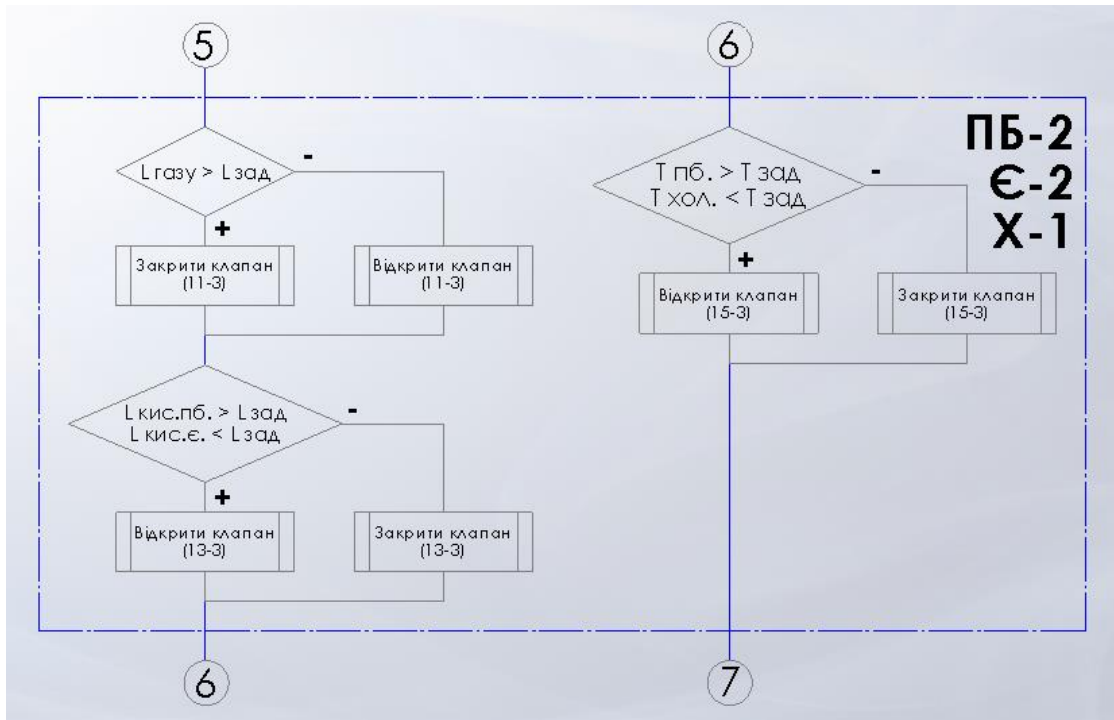


Рисунок 5.5 – Алгоритм роботи промивної башти ПБ-2, ємності Є-2 та холодильної камери Х-1.

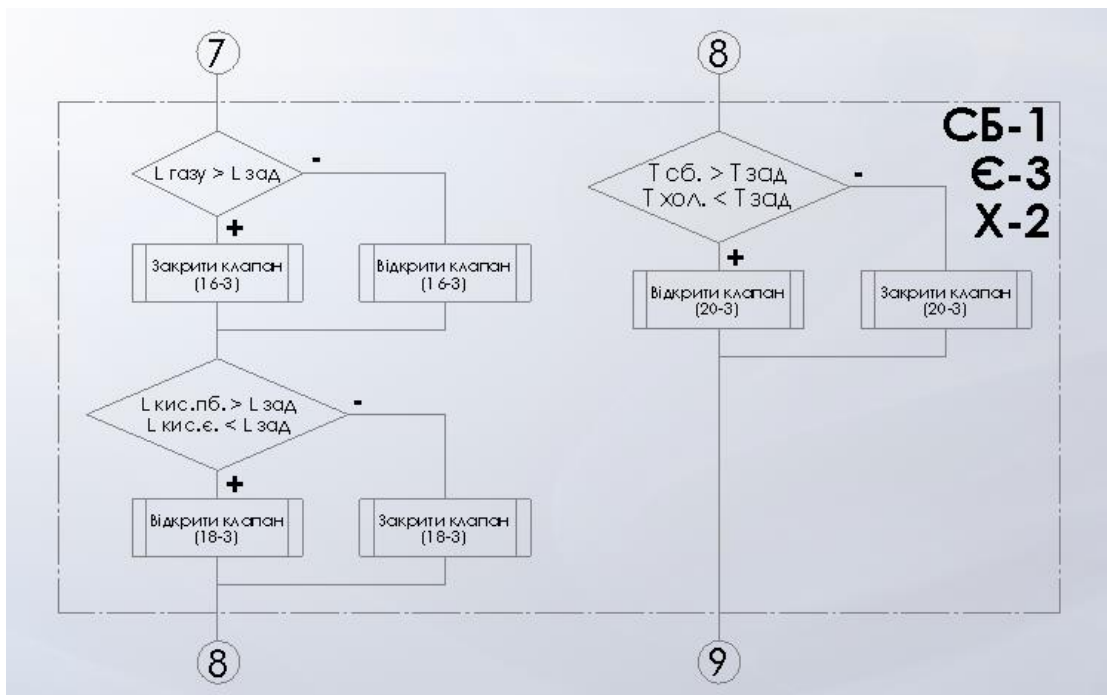


Рисунок 5.6 – Алгоритм роботи сушильної башти СБ-1, ємності Є-3 та холодильника Х-2.

Наступним елементом є контактний апарат. У ньому є кілька рівнів на кожному з яких контролюється температура. Вона регулюється роботою холодильних камер, які змінюють температурний режим у самому апараті. При зростанні температури більше заданої норми відкриваються клапани 23-3 та 25-3 (рисунок 3.4). Це приводить до того, що збільшується потік охолоджуючого газу через холодильники, що знижує температуру у відповідній ділянці апарату. Газ з холодильників поступає в нижню частину колони. Звідти він подається на вхідний теплообмінник, де забирає частину теплоти з газу, який поступає у верхню частину колони. При нижчій температурі від заданої за допомогою клапанів 23-3 та 25-3 (рисунок 3.4) зменшується потік охолодженого газу. Це призводить до того, що газ в апараті підвищує свою температуру. Надто висока температура може призвести до отруєння каталізаторів, тому необхідно у вхідному теплообміннику застосовувати додаткове охолодження атмосферним повітрям.

Також у апараті відбувається контроль тиску. При перевищенні критичного значення відкривається клапан 26-3 (рисунок 3.4).

Алгоритм роботи такої ділянки приведено на рисунку 5.7.

Також наша система має контролювати вихід готової продукції. Для цього необхідно контролювати температуру та тиск в олеумному абсорбері, а також рівень кислоти. Абсорбер повинен забезпечити циркулювання кислоти через апарат для того, щоб мати можливість конденсувати з пари саму кислоту. Тобто з ємності можна відкачати лише частину кислоти, завжди залишаючи певний об'єм на рецикл. У зв'язку з цим для нормального проходження ректифікації контролюється температура та рівень кислоти. Контроль відбувається за допомогою клапанів 30-3, 32-3, 34-3 (рисунок 3.5).

Реалізація цієї частини алгоритму приведена на рисунку 5.8.



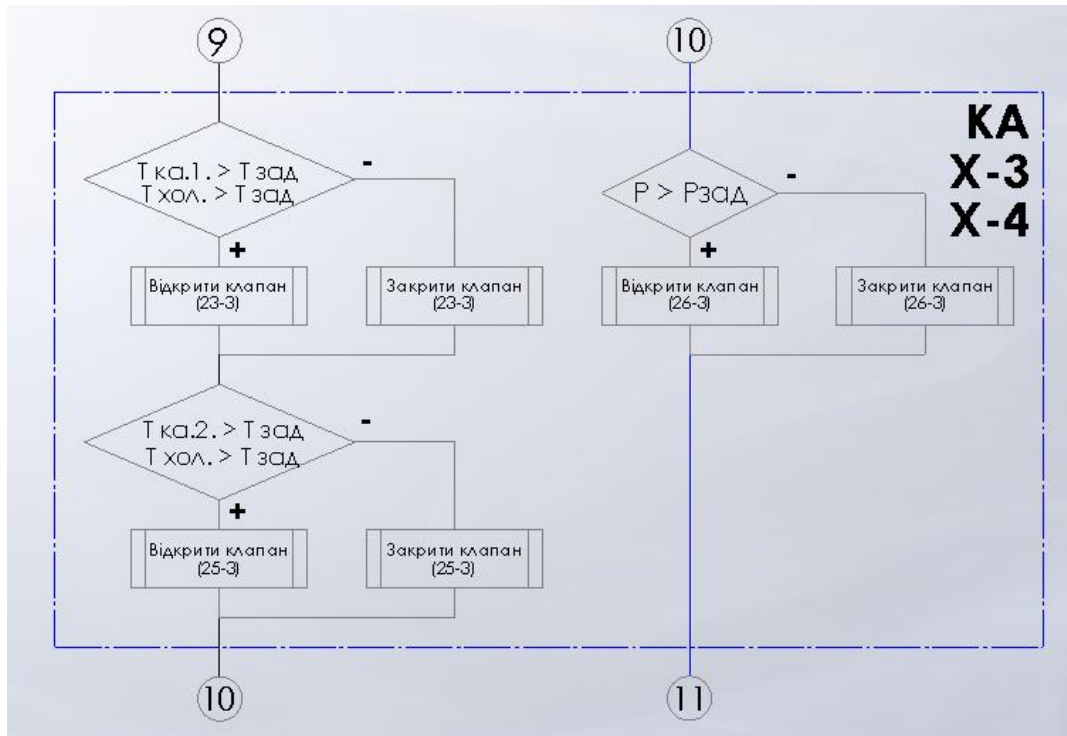


Рисунок 5.7 – Алгоритм роботи контактного апарату КА.

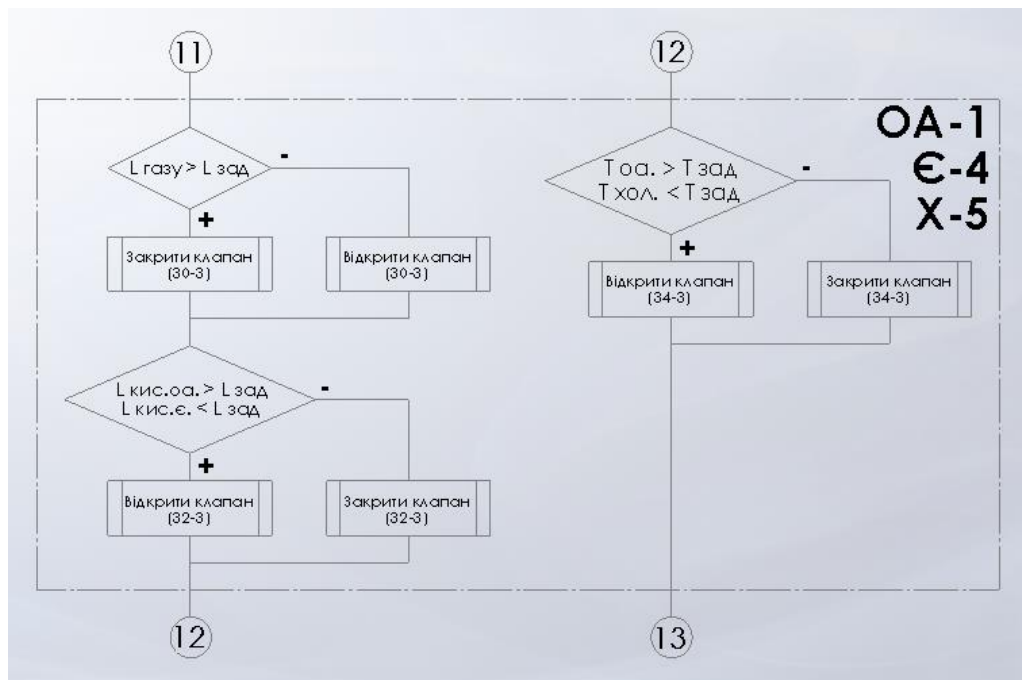


Рисунок 5.8 – Алгоритм роботи олеумного абсорбера ОА-1, ємності кислоти Є-4 та холодильника Х-5.

В подальшому на наступні ділянці проводиться фактично така сама операція. Проте для інтенсифікації процесу до сірчаної кислоти додають воду, щоб забезпечити процес її абсорбції. На цій ділянці контролюється рівень кислоти та температура в абсорбері. Також на цій ділянці також необхідно залишати частину кислоти на рецикл. Рівень кислоти та температура регулюється за допомогою клапанів 35-3, 37-3, 39-3 (рисунок 3.5).

Алгоритм роботи приведений на рисунку 5.9.

Подальший процес виділення кислоти відбувається в другому моногідратному абсорбері. Принцип роботи та вимірювальні параметри аналогічні попередньому. Регулювання відбувається за рахунок клапанів 40-3, 42-3, 44-3 (рисунок 3.5). На даному етапі абсорбуються залишки сірчаної кислоти, а відпрацьований газ виводиться в атмосферу.

Реалізація цієї частини алгоритму приведена на рисунку 5.10.

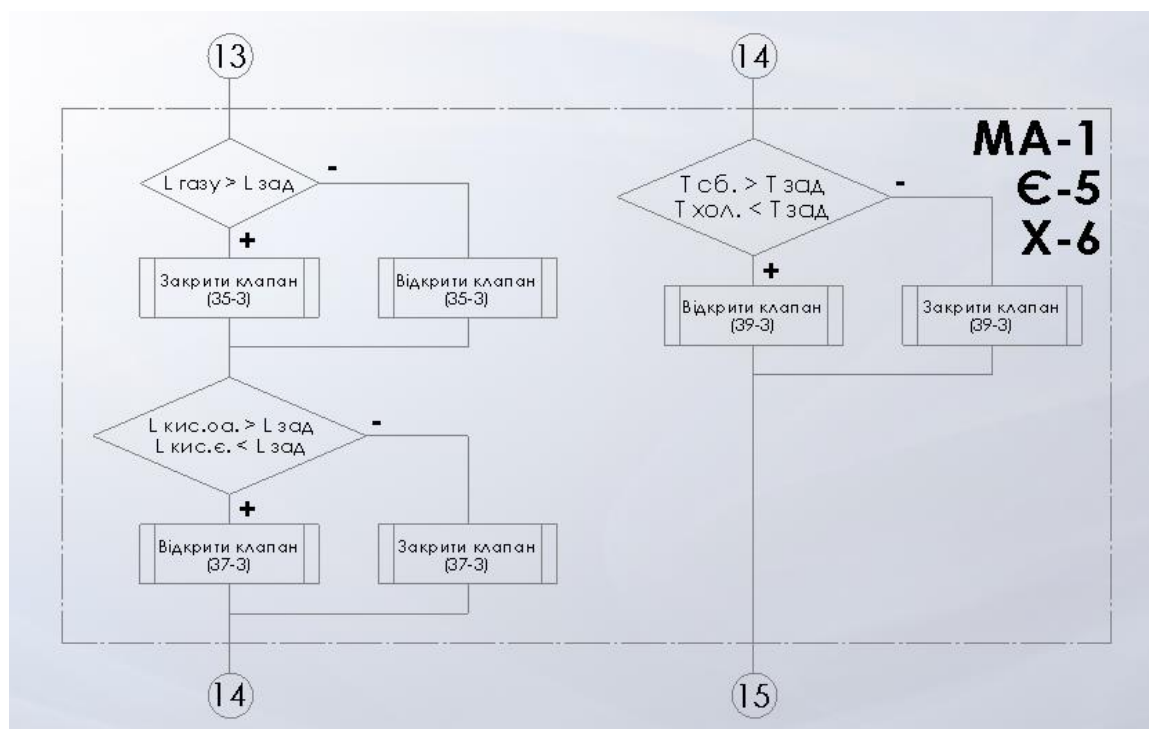


Рисунок 5.9 – Алгоритм роботи моногідратного абсорбера МА-1.

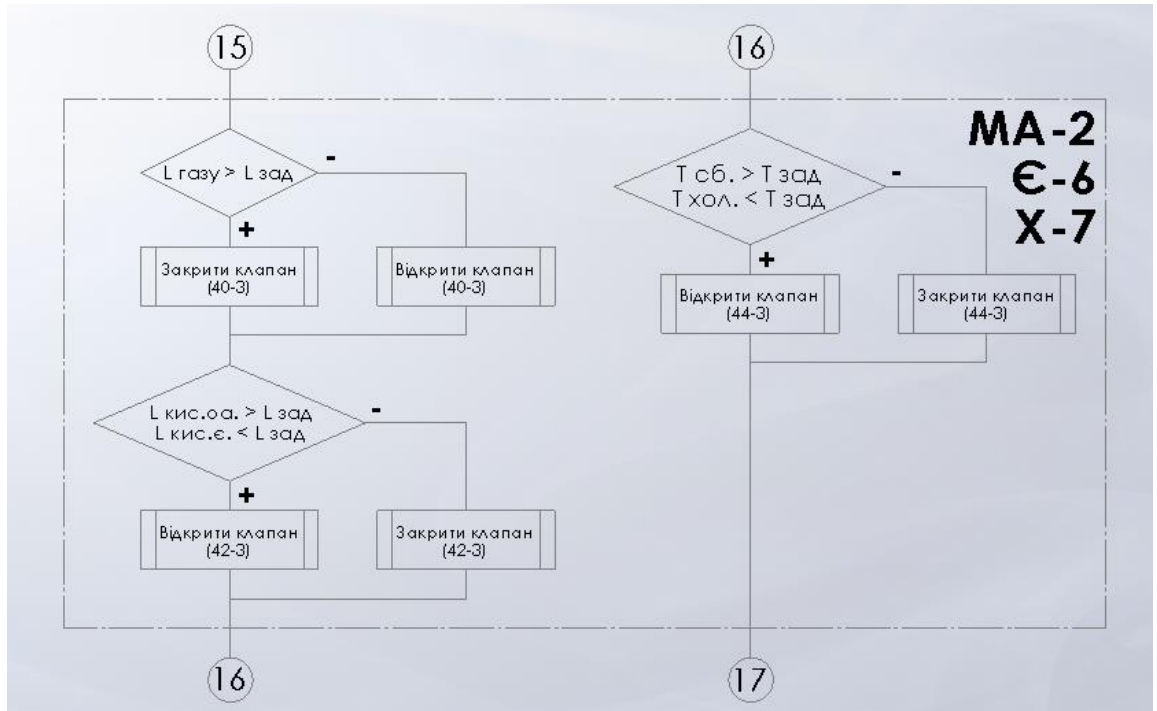


Рисунок 5.10 – Алгоритм роботи моноглідратного абсорбера МА-1.

В кінці алгоритму програма повинна перевірити умову чи завершується процес виробництва. Якщо так, то необхідно виконати підпрограму завершення роботи, яка включає в себе витримку часу для повного спікання кислоти в абсорберах, відкачування залишків сірчаної кислоти та зупинку основних агрегатів. Також відбувається перевірка справності всіх приладів і завершення роботи.

Реалізація цієї частини алгоритму приведена на рисунку 5.11.

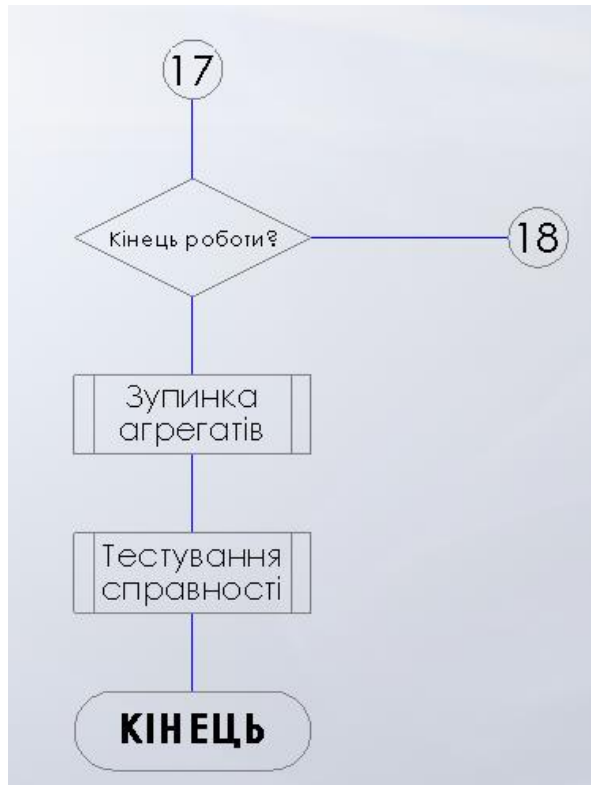


Рисунок 5.11 – Алгоритм завершення роботи програми.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1. Розробка заходів з безпеки праці та охорони навколишнього середовища**

Охорона праці - система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона здоров'я робочих, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну з головних турбот людського суспільства. Звертається увага на необхідність широкого застосування прогресивних форм наукової організації праці, зведення до мінімуму ручної, малокваліфікованої праці, створення обстановки, що виключає професійні захворювання і виробничий травматизм. Завдання охорони праці - звести до мінімальної ймовірності ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

В даному розділі проводиться аналіз виробничих небезпек і шкідливостей з метою забезпечення безпеки виробництва при отриманні сірчаної кислоти випалюванням сірчаного колчедану.

### **6.2. Дія небезпечних і шкідливих факторів на організм**

До небезпечних виробничих факторів відноситься дія високої температури як безпосередньо при випалюванні колчедану, так і в процесі окислення  $SO_2$  в  $SO_3$ , так як процеси йдуть зі значним виділенням тепла. У разі раптової розгерметизації апаратів виникає ймовірність отримання опіків різного ступеня тяжкості. Можливі опіки паром, електричні і механічні травми.

Так як контактний апарат працює під тиском, то виникає небезпека при його розгерметизації. При цьому в повітря робочої зони виділяється: діоксид сірки і сірчаний ангідрид. Якщо втрата герметичності відбувається на значній площі поверхні і раптово, то може мати місце вибух установки.

В осередку вибуху газоповітряної суміші виділяють 3 зони:

- 1) Зона детонації хвилі
- 2) Зона дії продуктів вибуху
- 3) Зона повітряної ударної хвилі

У кожній зоні створюється певний надлишковий тиск. При тиску 20-40 кПа спостерігається загальна контузія організму, пошкодження слуху, удари і вивихи кінцівок. При тиску 40-60 кПа відзначаються пошкодження органів слуху, кровотеча з носа і вух, вивихи і переломи кінцівок. При 60-100 кПа - пошкодження внутрішніх органів, мозку, переломи кінцівок, хребта. При надмірному тиску більше 100 кПа спостерігається смертельний результат від травм. Крім прямої дії надлишкового тиску постраждалі отримують додаткові травми уламками зруйнованих будівель, осколками скла.

Пил і дими, що утворюються при високотемпературному випаленні колчедану, або в результаті хімічних реакцій (окислення), при попаданні в повітря робочої зони можуть викликати утруднення дихання, кашель, подразнення слизових оболонок дихальних шляхів.

Сірчана кислота і олеум - надзвичайно агресивні речовини, викликають сильні хімічні опіки, вражають дихальні шляхи, шкіру, слизові оболонки, викликають утруднення дихання, кашель, нерідко - ларингіт, трахеїт, бронхіт і т.д. При попаданні на шкіру, необхідно швидко змити кислоту рясним струменем води і при необхідності звернутися в медпункт. Засоби захисту: суконний спецодяг, гумові чоботи, рукавички, захисні окуляри, протигази марок "В", "БКФ", універсальний респіратор РУ-80М.

### **6.3. Токсичні властивості і вплив на навколишнє середовище виникають шкідливих речовин**

Токсичність - це здатність речовини викликати порушення фізіологічних функцій організму, в результаті чого виникають симптоми інтоксикацій (захворювання), а при важких ураженнях - його загибель.

Ступінь токсичності речовини характеризується гранично допустимою концентрацією - максимальною кількістю речовини в одиниці об'єму повітря або води, яка при щоденному впливі на організм протягом тривалого часу не викликає в ньому патологічних змін, а також не порушує нормальної життєдіяльності людини.

У виробництві сірчаної кислоти шкідливими речовинами є: сірчана кислота, оксиди сірки, олеум. Сірчана кислота і олеум є агресивні рідини, які діють руйнівним чином на рослинні, тваринні тканини і речовини, відбираючи в них воду, внаслідок чого вони обвуглюються.

Аерозоль сірчаної кислоти. ГДК аерозолю сірчаної кислоти в повітрі:

ГДКр.з. = 1,0 мг/м<sup>3</sup> (робочої зони),

ГДКм.р. = 0,3 мг/м<sup>3</sup> (максимально разова),

ГДКс.д. = 0,1 мг/м<sup>3</sup> (середньодобова).

Вражаюча концентрація парів сірчаної кислоти 0,008 мг/л (експозиція 60 хв), смертельна 0,18 мг/л (60 хв). Клас небезпеки 2. Аерозоль сірчаної кислоти може утворюватися в атмосфері в результаті викидів хімічних і металургійних виробництв, що містять оксиди сірки, і випадати у вигляді кислотних дощів.

Оксид сірки (IV) і зважені частинки. Основний процес, що приводить до утворення зважених часток і діоксиду сірки, - це процес горіння, який здійснюється в печі випалу залізного колчедану. Діоксид сірки - безбарвний газ. Джерела ті ж, що і для зважених часток. Вступає в каталітичні або фотохімічні реакції з іншими забруднюючими речовинами з утворенням SO<sub>3</sub>, сірчаної кислоти і сульфатів.

Клас небезпеки (токсичності) діоксиду сірки 3.

ГДКр.з. = 10,0 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКм.р. = 0,5 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКс.д. = 0,03 мг/м<sup>3</sup>.

Частинки, які утворюються в результаті згоряння - сажа, кіптява, пил, - зазвичай мають розмір менше 1 мкм, так що вони можуть легко припадати в легеневі альвеоли. Вони також можуть містити небезпечні речовини, такі як азбест, важкі метали, миш'як. Оксиди металів є основним класом неорганічних частинок в атмосфері. Вони утворюються в будь-яких процесах, пов'язаних зі спалюванням палива, що містить метали.

Клас небезпеки сажі 3.

ГДКр.з. = 4,0 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКм.р. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКс.д. = 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Клас небезпеки нетоксичного пилу 4.

ГДКр.з. = 6,0 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКм.р. = 0,5 мг/м<sup>3</sup>,

ГДКс.д. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>.

Атмосфера. У промислових районах концентрація діоксиду сірки зазвичай досягає 0,05-0,1 мг/м<sup>3</sup>; в сільських районах вона в кілька разів менше, а над океаном менше в 10-100 разів. У сільській місцевості фонові концентрації близька до 0,5 мкг/м<sup>3</sup>, а концентрація в містах в 50-100 разів вище. Через хімічні перетворення час життя діоксиду сірки в атмосфері невеликий (близько декількох годин). У зв'язку з цим можливість забруднення і небезпека впливу безпосередньо діоксиду сірки носять, як правило, локальний, а в окремих випадках регіональний характер.

Термін «зважені частинки» відноситься до ряду тонкодисперсних твердих речовин або рідин, диспергованих в повітрі в результаті процесів горіння, виробничої діяльності і природних джерел. До 20% загальної



кількості зважених часток може складатися з сірчаної кислоти і сульфатів (частки до 1 мкм в діаметрі складаються з них на 80%).

**Вплив на навколишнє середовище.** Високі концентрації діоксиду сірки викликають серйозне пошкодження рослинності. Гостре пошкодження, викликане діоксидом сірки, відбивається в появі білястих плям на широколистих рослинах або знебарвленого некротичних смуг на листі з поздовжнім жилкуванням. Хронічний ефект проявляється як знебарвлення хлорофілу, що приводить до пожовтіння листя, появі червоного або бурого забарвлення, яке в нормальних умовах маскується зеленою. Незалежно від форми прояву, результатом є зниження продуктивності і уповільнення зростання. Лишайники особливо чутливі до  $\text{SO}_2$  і використовуються як біоіндикатори при визначенні його надлишкових кількостей в повітрі. Однак діоксид сірки не завжди викликає ушкодження: в сульфатдефіцитних місцевостях додаткові невеликі рівні  $\text{SO}_2$  можуть благотворно впливати на рослини, однак те, що відбувається паралельно деяке підкислення ґрунту може потребувати додаткового вапнування [12].

#### **6.4. Основні вимоги до упаковки, транспортування і зберігання сірчаної кислоти**

Залежно від способу виробництва і призначення в промисловості випускається технічна, акумуляторна та реактивна сірчана кислоти. Вони відрізняються вмістом основного компонента і домішок.

На складі готової продукції сірчана кислота зберігається в баках, розміщених в приміщенні або під навісом, що захищає від дощу і снігу.

Для зменшення можливості кристалізації сірчаної кислоти при перевезенні та зберіганні встановлені стандарти на товарні сорти сірчаної кислоти, концентрація яких відповідає найбільш низьким температурам кристалізації. Вміст сірчаної кислоти в технічних сортах: баштова (нітрозні) 75%, контактна 92,5-98%, олеум 104,5%, високовідсотковий олеум 114,6%,

аккумуляторна 92-94%. Сірчану кислоту зберігають у сталевих резервуарах об'ємом до 5000 м<sup>3</sup>, їх загальна ємність на складі розрахована на десятидобовий випуск продукції.

Олеум і концентровану контактну і баштову сірчану кислоту зберігають у нефутерованих баках і перевозять в сталевих залізничних цистернах. Менш концентровану і аккумуляторну сірчану кислоту перевозять в освінцованих або футерованих цистернах з кислотостійкої сталі. Цистерни для перевезення олеуму покривають теплоізоляцією і перед заливкою олеум підігрівають. Відправлені цистерни з кислотою супроводжуються паспортом, в якому вказується номер ДСТУ, сорт сірчаної кислоти, основні дані аналізу, дата відвантаження і кількість кислоти. Скляні пляшки з сірчаною кислотою при відправці поміщають в упаковку з прокладкою з соломи і деревних стружок. Внаслідок складнощів з транспортом сірчаної кислоти сірчано-кислотні заводи розташовуються переважно в районах її споживання.

#### **6.5. Пропозиції щодо зменшення кількості викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище**

В процесі виробництва сірчаної кислоти деяка частина сірки йде в атмосферу у вигляді діоксиду сірки SO<sub>2</sub>. У печі киплячого шару відбувається практично повне згоряння палива, і основним продуктом згоряння є сірчистий ангідрид SO, який потім в контактному апараті окислюється в SO<sub>3</sub>. Неповне окислення призводить до викидів діоксиду сірки в навколишнє середовище. Одним із заходів є використання високих (120-200 м) димових труб, що дозволяє димовим газам розсіюватися на значній відстані від землі. Зниження викидів SO можна досягти двома шляхами:

1. Більш повне окислення діоксиду сірки в контактному апараті, яке досягається використанням методу подвійного контактування.
2. Очищення димових газів від шкідливих домішок.

При промиванні газу утворюється забруднена сірчана кислота, з якої витягають оксиди селену, миш'яку, а потім реалізують як нестандартну продукцію. Сірчаноокислі стічні води, які утворюються в процесі очищення, можна використовувати в якості охолоджуючого елемента в холодильних апаратах.

Для очищення пічних газів від пилу, сірчаноокислотного туману, каталітичних отрут передбачене загальне і спеціальне очищення. Однак великі обсяги газів, що піддаються очищенню, а також різноманітність компонентів (пил, сажа, миш'як, селен, оксид заліза) обумовлюють значні труднощі для створення досить економічного методу очищення.

В даний час забруднення повітря зазвичай вловлюють за допомогою одного з таких методів:

1. Модифікація технологічного процесу з метою запобігання або мінімізації утворення забруднюючого продукту.
2. Встановлення нових більш ефективних апаратів.
3. Електрофільтри, циклони, промивні башти і т.д.
4. Використання хімічних або фізичних процесів, наприклад адсорбції, абсорбції, допалювання, подвійного контактування, каталітичного знешкодження і т.д.

## **ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ**

У роботі було розроблено автоматизовану систему керування технологічним процесом виготовлення сірчаної кислоти на базі програмованого логічного контролера Овен ПЛК 110-60.

В процесі розробки системи керування було розглянуто методи виготовлення сірчаної кислоти, проаналізовано основні параметри технологічного процесу, які впливають на якість продукції та продуктивність виробництва.

За результатами аналізу було розроблено функціональну схему автоматизації, обрано програмований логічний контролер, виконавчі механізми та вимірювальні давачі.

Для системи керування також було розроблено алгоритм роботи та проаналізовано утворення ексергії при виробництві сірчаної кислоти. Такий аналіз дозволяє визначити де є можливість оптимізувати процес для покращення його ефективності.

Впровадження такої системи керування дозволяє управляти технологічним процесом виробництва сірчаної кислоти та дає можливість оператору слідкувати за технологічними параметрами з метою оптимізації та якісного контролю.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. William G. Davenport and Matthew J. King. Книга «Sulfuric Acid Manufacture, Analysis, Control and Optimization» 2006 р.
2. Matt King, Michael Moats, William Davenport. Книга «Sulfuric Acid Manufacture, Analysis, Control and Optimization, 2nd Edition» 29 травня 2013 р.
3. Пушкар Михайло Семенович, Проценко Станіслав Миколайович. Проектування систем автоматизації: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів напряму підготовки «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» - Дніпро: ДВНЗ Національний гірничий університет, 2013 – 266 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
5. В.І. Дешко, д.т.н., проф. Н.А. Буюк І.О. Суходуб, к.т.н. Оцінка потоків енергії/ексергії та їх втрат у системі «джерело тепла – охолоджувальні конструкції – оточуюче середовище» - Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017 – 37 с.
6. Сайт компанії Овен «Овен: обланання для автоматизації. <https://owen.ua/ua/programovani-logichni-kontrolery/plk110-m02-programovanyj-logichnyj-kontroler>