

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені Володимира Даля**

Факультет Інженерії  
(повне найменування факультету)

Кафедра Хімічної інженерії та екології  
(повна назва кафедри)

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту

освітнього ступеня бакалавр  
бакалавр, магістр)

спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

на тему Виробництво сульфатної кислоти потужністю  
100 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (IV) оксиду

Виконав: здобувач вищої освіти групи ХТ-17з

Горбатова О.І.  
(прізвище, та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник Золотарьова О. В.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Завідувач кафедрою Суворін О. В.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Кравченко І.В.  
(прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ Інженерії  
Кафедра \_\_\_\_\_ Хімічної інженерії та екології  
Освітній ступінь \_\_\_\_\_ бакалавр  
(бакалавр, магістр)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 161 Хімічні технології та інженерія  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

\_\_\_\_\_ О. В. Суворін

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Горбатовій Олені Іванівні**

---

**1. Тема проекту:**

**Виробництво сульфатної кислоти потужністю 100 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (IV) оксиду**

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Золотарьова Олена В'ячеславівна, к.пед.н.

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

затверджені наказом по університету від 18.03.2021 р. № 54/15.25

**2. Строк подання студентом проекту – 01 червня 2021 р.**

**3. Вихідні дані до проекту:** літературні, патентні та регламентні дані.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

Вступ. 1. Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва. 2. Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції. 3. Опис технологічної схеми. 4. Матеріальні і теплові баланси. 5. Вибір і розрахунок основного апарату. 6. Вибір допоміжного обладнання. 7. Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату. 8. Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища. 9. Охорона праці. Висновки. Анотація. Список використаної літератури. Додатки

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

1. Технологічна схема виробництва (1 аркуш).
2. Креслення печі киплячого шару (1 аркуш).
3. Таблиця матеріального балансу (1 аркуш)

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-9	Золотарьова О.В., доцент кафедри ХІЕ		
з нормоконтролю	Золотарьова О.В., доцент кафедри ХІЕ		

7. Дата видачі завдання – 18 березня 2021 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	27.03.2021	
2	Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва	27.03.2021	
3	Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції	03.04.2021	
4	Опис технологічної схеми	10.04.2021	
5	Матеріальні і теплові баланси	17.04.2021	
6	Вибір і розрахунок основного апарату	24.04.2021	
7	Вибір допоміжного обладнання	08.05.2021	
8	Контроль роботи, норми та правила обслуговування основного апарату	15.05.2021	
9	Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	15.05.2021	
10	Охорона праці	22.05.2021	
11	Висновки. Анотація. Список використаної літератури	22.05.2021	
12	Креслення технологічної схеми	29.05.2021	
13	Креслення печі киплячого шару	29.05.2021	
14	Таблиця матеріального балансу	29.05.2021	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

О. І. Горбатова

Керівник проекту \_\_\_\_\_

О. В. Золотарьова

# ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	8
<i>1 Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва</i>	10
<i>1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва</i>	10
<i>1.2 Фізико-хімічні основи процесу одержання сульфур (IV) оксиду</i>	15
<i>2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції</i>	21
<i>3 Опис технологічної схеми</i>	25
<i>4 Матеріальні і теплові баланси</i>	27
<i>4.1 Матеріальний баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду</i>	27
<i>4.2 Тепловий баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду</i>	33
<i>5 Вибір і розрахунок основного апарату</i>	38
<i>5.1 Опис конструкції і принцип дії печі з киплячим шаром</i>	38
<i>5.2 Конструктивний розрахунок печі з киплячим шаром</i>	39
<i>6 Вибір допоміжного обладнання</i>	48
<i>7 Контроль роботи, норми та правила обслуговування основного апарату</i>	49
<i>7.1 Норми та правила обслуговування печі киплячого шару</i>	49
<i>7.2 Схема автоматизації печі з киплячим шаром</i>	52
<i>8 Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища</i>	55
<i>9 Охорона праці</i>	59
<i>9.1 Шкідливі виробничі фактори на проєктованому виробництві</i>	59
<i>9.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечних речовин, що застосовуються та виділяються в проєктованому виробництві</i>	59
<i>9.2 Засоби запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів</i>	61
<i>9.2.1 Вентиляція</i>	61
<i>9.2.2 Засоби боротьби з пилом</i>	63
<i>9.2.3 Освітлення приміщень</i>	63
<i>9.2.4 Засоби боротьби з шумом й вібрацією</i>	68
<i>9.2.5 Засоби захисту від статичної електрики</i>	69
<i>9.2.6 Заходи електробезпеки</i>	70
<i>9.3 Заходи пожежної безпеки</i>	74

<i>Висновки</i>	76
<i>Анотація</i>	77
<i>Список використаної літератури</i>	79

## **ВСТУП**

Жодна галузь промисловості практично не може обійтися без сульфатної кислоти. Особливо широко сульфатна кислота застосовується в хімічній промисловості, тому її справедливо називають «хлібом» хімії.

Основним споживачем сульфатної кислоти є виробництво мінеральних добрив (суперфосфату, амоній сульфату), а також виробництво органічних проміжних сполук і барвників, вибухових речовин. Вона також використовується в нафтовій (для очистки нафтопродуктів від сполук сульфуру й неграничних органічних сполук), металообробній (для травлення металів), текстильній (у виробництві штучного волокна, для відбілювання тканин), шкіряній, деревооброблювальній (при переробки деревини в етиловий спирт) промисловості, кольоровій металургії (при одержанні міді, цинку, кобальту, нікелю та ін.). Важливою властивістю сульфатної кислоти є її гігроскопічність – здатність добре поглинати воду, що використовується в промисловості для сушки газу, а також для концентрування нітратної кислоти.

Перша згадка про сульфатну кислоту відноситься до 940 року н. е. (алхімік Абу-Бакр-Альрарес). До середини XVIII ст. її отримували сухою перегонкою гептагідрату ферум (II) сульфату – купороса (звідси термін «купоросне масло») або нагріванням суміші сірки та калій нітрату з наступним поглинанням сульфур (VI) оксиду водою. В 1746 р. був розроблений камерний метод виробництва, в якому сірка в суміші з калій нітратом спалювався в свинцевих камерах, причому сульфур (VI) оксид та нітроген оксиди розчинялися в воді на дні камери. В подальшому в камери стали вводити пару і процес виробництва перетворився на безперервний. На початку XIX ст. сірку спалювали в печах, а нітроген оксиди отримували окремо розкладанням калій нітрату сульфатною кислотою. На початку XX ст. в установку була

включена спеціальна башта для уловлювання нітроген оксидів, що підвищило інтенсивність камерного процесу. В подальшому свинцеві камери були замінені баштами з кислототривкою насадкою. Тим самим камерний метод виробництва сульфатної кислоти, зберігши принцип окиснення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид, трансформувався в баштовий метод, що існує в даний час. З 1837 року в якості сировини замість сірки став використовуватися залізний колчедан. У 1831 році англійський вчений П. Філіпс розробив контактний спосіб виробництва сульфатної кислоти на платиновому каталізаторі. Пізніше платина була замінена контактною масою на основі ванадій (V) оксиду, що дозволило знизити температуру запалювання. На початку ХХ ст. Р. Кнітч встановив причини отруєння каталізатора при використанні в якості сировини колчедану та розробив методи очищення сульфур (IV) оксиду від каталітичних отрут. У 1930 р. в практику сульфатнокислотного виробництва були введені печі киплячого шару на стадії випалу колчедану, які істотно підвищили продуктивність і знизили втрати сірки.

У 1931 році І. А. Ададуровим був розроблений метод окиснення сульфур (IV) оксиду на твердому каталізаторі при високому вмісті парів води в газі, який отримав згодом назву методу «морого каталізу» виробництва сульфатної кислоти з гідроген сульфур. В подальшому в сульфатнокислотне виробництво було впроваджено метод подвійного контактування (ДК-ДА), розроблений Г. К. Боресковим, В. С. Бесковим, що істотно підвищило ступінь контактування сульфур (IV) оксиду, на кілька порядків знизило викид токсичних газів і дало значну економію на будівництві очисних споруд.

Технологія виробництва сульфатної кислоти, в принципі, сьогодні в всьому світі вже не народжується заново, а лише вдосконалюється [1].

Метою даного дипломного проекту є проектування виробництва сульфатної кислоти потужністю 100 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (IV) оксиду.

# 1 СТИСЛИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД З ОБҐРУНТУВАННЯМ МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА

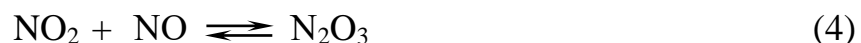
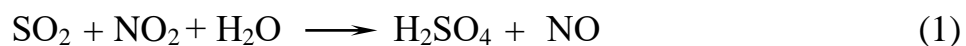
## 1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва

На сьогоднішній день сульфатну кислоту одержують двома способами: нітрозним (баштовим), що існує більше 200 років, і контактним, освоєним у промисловості наприкінці XIX і початку XX століття.

Першою стадією виробництва сульфатної кислоти за будь-яким способом є одержання сульфур (IV) оксиду (сірчистий газ) при випалі сульфурвмісної сировини. Після очищення сульфур (IV) оксид окисляється до сульфур (VI) оксиду (сірчаний газ), який поєднуючись із водою, утворює сульфатну кислоту. Реакція окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  протікає дуже повільно, тому її прискорюють або шляхом застосування каталізатора (контактний спосіб), або шляхом використання нітроген оксидів як передавачів кисню (нітрозний спосіб) [2].

У нітрозному способі для окиснення  $\text{SO}_2$  застосовують еквімолекулярну суміш  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  ( $\text{N}_2\text{O}_3$  – триоксид динітрогену).

Віддаючи свій кисень сульфур (IV) оксиду,  $\text{NO}_2$  і  $\text{N}_2\text{O}_3$  відновлюються до нітроген (II) оксиду  $\text{NO}$ . Нітроген (II) оксид окисляється далі киснем повітря знову до  $\text{NO}_2$ , і суміш  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  повертається в процес. За допомогою хімічних реакцій нітрозний процес може бути виражений таким чином:



Істотним недоліком баштової системи є втрати нітроген оксидів через неповне повернення їх у процес. Щоб заповнити ці втрати, у баштову систему вводять нітратну кислоту  $\text{HNO}_3$ , яка при розкладанні дає нітроген оксиди. Це істотно підвищує собівартість продукційної сульфатної кислоти. Викид в атмосферу нітроген оксидів, що відбувається при роботі баштової системи, забруднює навколишнє середовище, і тому неприпустимий. Нітрозним способом одержують забруднену домішками й розбавлену 70-75%-ву сульфатну кислоту, яка використовується в основному у виробництві мінеральних добрив [3].

Сутність контактного способу полягає в тому, що сульфур (IV) оксид окислюється в сульфур (VI) оксид в присутності каталізатора при високій температурі (440-550°C). Реакція відбувається з виділенням тепла:



Тому для підтримування в контактному апараті потрібної температури не потрібно витрачати паливо, тобто процес окиснення на каталізаторі сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид автотермічний.

Утворений сульфур (VI) оксид контактує з 98,3%-вою сульфатною кислотою. При цьому  $\text{SO}_3$  взаємодіє з водою, що міститься в кислоті, і концентрація кислоти підвищується. Для підтримування концентрації поглинювальної кислоти на рівні 98,3% мас. у систему додають воду. Якщо подачу води обмежити, то збільшення концентрації кислоти буде тривати й перевищить 100%. У цьому випадку сульфатна кислота містить вільний сульфур (VI) оксид. Така кислота називається олеумом. Додаючи до олеуму воду, можна одержувати кислоту будь-якої концентрації.

В якості каталізатору зараз застосовують ванадієвий, що замінив раніше використовуваний платиновий. Ванадієвий каталізатор (ванадієва контактна маса) більш стійкий до отрут, що містяться в газах і отруюють контактну масу, а крім того, він набагато дешевше платинового [1].

Контактний процес одержання сульфатної кислоти здійснюється двома методами:



- методом одинарного контактування (ОК) зі ступенем окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ , що дорівнює 97,5-98%, і викидом в атмосферу вихлопних газів, які містять  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$ , вище гранично допустимої концентрацій (ГДК), що вимагає додаткових витрат на спорудження в таких системах стадії очищення;
- методом подвійного контактування (ПК) і подвійної абсорбції (ПА). В системах ПК – ПА ступінь окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  становить 99,7-99,8%, що відповідає досягненню гранично допустимої концентрації  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$  у вихлопних газах.

Виробництво сульфатної кислоти контактним способом за системою ПК складається з наступних стадій: 1) підготовка сировини; 2) одержання сульфур (IV) оксиду; 3) очищення сульфур (IV) оксиду; 4) окиснення сульфур (VI) оксиду; 5) абсорбції сульфур (VI) оксиду; 6) очищення вихлопних газів. При одержанні сульфатної кислоти за системою ПК-ПА шоста стадія відсутня.

Виробництво контактної сульфатної кислоти оснащується автоматизованими системами управління технологічного процесу [4].

В дипломному проекті обирається контактний спосіб виробництва за системою ПК-ПА, оскільки дає можливість одержувати чисту та концентровану кислоту, автоматизувати технологічний процес, знизити вміст сульфур оксидів в вихлопних газах до гранично допустимих концентрацій.

Сировиною для одержання сульфур (IV) оксиду, а отже, і для виробництва сульфатної кислоти, є елементарна сірка, сірчаний колчедан, гідроген сульфур, відхідні гази кольорової та чорної металургії.

При випалі руд кольорових металів (мідних, цинкових) або їх концентратів утворюються гази, що містять  $\text{SO}_2$ . При одержанні 1 т міді можна отримати сульфур (IV) оксиду в кількості, еквівалентній 10 т сульфатної кислоти. При цьому сировину для сульфатної кислоти отримують без витрат на будівництво та експлуатацію пічного відділення сульфатнокислотного виробництва, відхідні сірчисті гази утилізуються, що сприяє покращенню стану навколишнього середовища. Склад газів залежить від сировини, стану апаратури, умов процесу випалу, тому він значно коливається.

Більшість горючих газів (коковий, генераторний, природний, газу нафтопереробки) містять гідроген сульфур. Вміст  $H_2S$  в цих газах не повинен перевищувати  $20 \text{ мг/м}^3$ , тому їх очищують промиванням розчинами соди, моноетаноламіном. При нагріванні такого розчину виділяється гідроген сульфур високої концентрації (90% мас.). Він використовується для одержання газової сірки або сульфатної кислоти.

Елементарну сірку отримують із самородних руд (природних копалин) або газів (газова сірка), що містять  $SO_2$  або  $H_2S$ . При випалі елементарної сірки одержують концентрований сірчистий газ з найбільшим вмістом кисню, що дуже важливо для виробництва сульфатної кислоти контактним способом. При випалі сірки не залишається огарку. Відсутність в сірчистому газі пилу не вимагає сухої очистки газу та полегшує роботу котлів-утилізаторів. При переробці природної сірки, що не містить сполук арсену (As), не має необхідності в мокрому очищенні випалювального газу від отрути для контактної маси. Все це спрощує схему виробництва сульфатної кислоти з елементарної сірки [2].

Сірчаний колчедан ( $FeS_2$ ) містить 53,4% мас. сульфур і 46,6% мас. феруму. Існують наступні сорти колчедану: рядовий, флотаційний і піритний концентрат. Рядовий колчедан видобувають в рудниках у вигляді кусків розміром 50-400 мм. Флотаційний колчедан отримують як відхід при флотаційному збагаченні руд, що містяться як домішки в рядовому колчедані. Піритний концентрат отримують при вторинній флотації колчедану з відділенням пустої породи. Сірчаний колчедан може містити домішки сполук купруму, цинку, плюмбуму, арсену, кобальту, бісмуту, селену, кадмію, кальцій й магній сульфати та карбонати, а також аргентум і аурум.

В якості сульфурвмісної сировини для проектованого виробництва сульфатної кислоти буде використовуватися сірчаний колчедан.

Для випалу колчедану існують печі різних конструкцій: механічні поличні (багатоподові), обертові циліндричні, печі пилоподібного випалу, печі для випалу в киплячому шарі.

У механічних поличних печах випал колчедану ведуть на кількох полицях (подах), розташованих поверхами один над одним. Перемішування і переміщення колчедану з поду на під проводиться механічно.

Обертіві циліндричні печі представляють собою обертівий барабан, встановлений похило. Колчедан подають з верхнього кінця, огарок вивантажують через нижній кінець печі.

Печі пилоподібного випалу отримали свою назву в зв'язку з тим, що колчедан в них спалюється у вигляді пилу, що подається через форсунки в шахту печі, що представляє собою вертикальний порожнистий циліндр.

Печі для випалу колчедану в киплячому, або, як прийнято говорити, в зваженому шарі, характеризуються тим, що колчедан в печі знаходиться в зваженому стані, що нагадує кипіння. Це досягається продуванням шару колчедану великою швидкістю повітря.

На сьогоднішній день нові сульфатнокислотні виробництва обладнуються переважно печами КШ, оскільки останні мають ряд переваг у порівнянні з іншими печами: 1) можливість одержання концентрованого сірчистого газу (12-15% об. SO<sub>2</sub>) з низьким вмістом сполук арсену в виплювальному газі; 2) висока інтенсивність печі [3].

З огляду на вищевикладене в дипломному проекті для випалу колчедану вибирається піч з киплячим шаром.

## **1.2 Фізико-хімічні основи процесу одержання сульфур (IV) оксиду**

Випалом називають процес горіння колчедану з одержанням сульфур (IV) оксиду (сірчистого газу). Це складний хімічний процес, що складається з ряду послідовно й одночасно протікаючих реакцій.

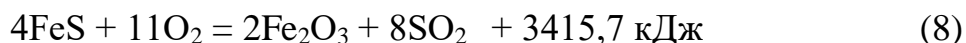
При випалі колчедану спочатку відбувається термічне розкладання FeS<sub>2</sub>, що протікає з виділенням пароподібної сірки:



Пари утвореної сірки починають згоряти при температурі близько 500°C, утворюючи SO<sub>2</sub>



FeS також окислюється й процес окиснення може бути представлений рівнянням



Реакція горіння колчедану протікає з виділенням великої кількості тепла, якої достатньо для спалювання колчедану без підведення тепла ззовні, тому паливо необхідне лише тільки в період пуску печі.

Для випалу колчедану необхідний кисень. З цією метою в випалювальну піч подають повітря. Кисень повітря використовується для горіння колчедану і утворення сульфур (IV) оксиду, а азот, що є основною складовою частиною повітря, входить до складу випалювального газу у вигляді N<sub>2</sub> і є баластом.

Зазвичай застосовують надлишок кисню по відношенню до стехіометричної кількості, тобто в піч подають надлишок повітря. Це позитивно впливає на швидкість процесу горіння. Але чим більше буде взято на горіння надлишкового повітря, тим менше буде міститися в газовій суміші SO<sub>2</sub> і більше O<sub>2</sub> та N<sub>2</sub>. Таким чином, в залежності від надлишкового повітря, що надходить на випал колчедану, змінюється і склад газової суміші. На практиці у випалювальну піч на горіння колчедану у багатьох випадках подають повітря приблизно вдвічі більше, ніж це потрібно на підставі стехіометричних розрахунків.

Вміст SO<sub>2</sub> у випалювальному газі залежить від складу колчедану, температури випалу, коефіцієнту надлишку повітря, конструкції печі і коливається в межах 7-12% об.

Домішки As, Se, Te і Re<sub>2</sub>, що містяться в колчедані, при випалі окисляються киснем до As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SeO<sub>2</sub>, TeO<sub>2</sub> і Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> і переходять до складу випалювального газу. Кількість арсену та селену, що залишаються в огарку, коливається в широких межах і залежить від умов випалу колчедану: чим вище температура випалу, тим повніше вони видаляються з огарку.

Волога, що надходить із колчеданом і неосушеним повітрям, при випалі випаровується і до складу випалювального газу потрапляють пари  $H_2O$ .

Фтор, що міститься в сировині, в процесі випалу переходить до складу випалювального газу у вигляді  $HF$ , який зі зменшенням температури газу може сполучатися з  $SiO_2$ , що міститься у футерівці апарату і в пилу. При цьому утворюється  $SiF_4$ , який також поступає до складу випалювального газу.

У випалювальному газі може міститися й сульфур (VI) оксиду  $SO_3$ . Кількість його залежить від температури випалу, концентрації кисню у випалювальному газі, конструкції печі.

Із рівняння (8) видно, що при випалі сірчаного колчедану крім сульфур (IV) оксиду утворюється огарок  $Fe_2O_3$  – ферум (III) оксиду. Утворення огарку відбувається з послідовним збільшенням ступеня окиснення: спочатку утворюється  $FeO$ , потім  $Fe_3O_4$  і, нарешті –  $Fe_2O_3$ .

В огарку крім  $Fe_2O_3$  знаходиться сульфур у вигляді  $FeS$  й кальцій та барій сульфатів, а також силікати й продукти окиснення різних домішок, присутніх в колчедані. Кількість утвореного огарку залежить від вмісту в сировині сульфур, повноти його вигоряння, умов випалу і ін. Чим менше в сировині сульфур, тим більше утворюється огарку. Практичний вихід огарку складає 70% від ваги колчедану.

Швидкість горіння колчедану залежить від його хімічного складу, температури випалу, поверхні контакту фаз, концентрації кисню, тривалості випалу.

Підвищення температури позитивно впливає на швидкість випалу. Так, при підвищенні температури випалу до  $600-750^{\circ}C$  інтенсивність окислювання колчедану збільшується майже удвічі. Однак вже при  $800-850^{\circ}C$  спостерігається спікання колчедану, що ускладнює роботу випалювальних печей. Причина спікання колчедану – утворення при випалі сумішей зі зниженою температурою плавлення. Для зменшення спікання необхідно слідкувати за тим, щоб не перевищувати допустимої межі підвищення температури печі. Температурним режимом печі можна управляти, змінюючи коефіцієнт надлишку повітря і кількість тепла, що відводиться із зони горіння за допомогою екранів.

Процес горіння колчедану – процес гетерогенний, тобто є дві фази: газова (кисень) і тверда (колчедан). Для швидкості горіння колчедану, як і для швидкості більшості гетерогенних процесів велике значення має також поверхня контакту фаз. З підвищенням ступеня подрібнення колчедану швидкість його горіння зростає. Це пояснюється тим, що зі зменшенням величини кусків колчедану збільшується поверхня контакту палаючого колчедану з киснем повітря. Тому рядовий колчедан перед випалом подрібнюють.

На підвищення швидкості горіння колчедану сильно впливають також концентрація кисню в зоні випалу, ступінь перемішування колчедану в процесі його горіння і товщина шару колчедану. При великій товщині шару проникнення кисню до нижніх його шарів і всередину випалюваної частки колчедану ускладнюється і процес горіння сповільнюється. Перемішування колчедану є неодмінною умовою підвищення швидкості його горіння.

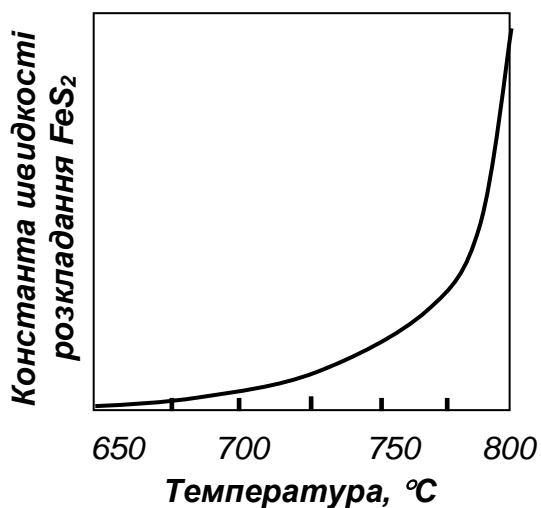


Рисунок 1.1 – Залежність швидкості розкладання колчедану від температури

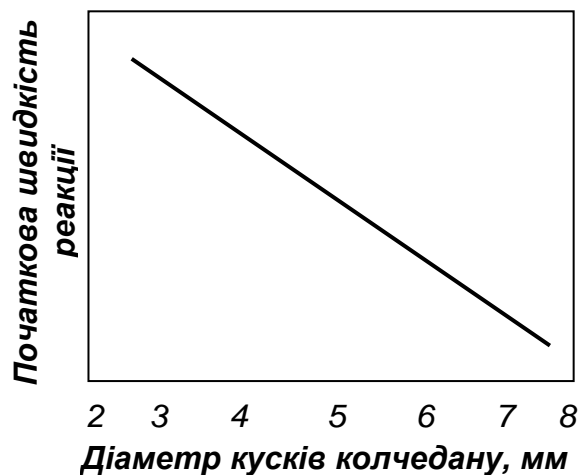


Рисунок 1.2 – Залежність швидкості випалу колчедану від розмірів кусків

Інтенсивність випалу сірчаного колчедану визначається, з одного боку, швидкістю реакції розкладання, а з іншого боку, швидкістю дифузії кисню з газового потоку до поверхні випалювальної сировини, продуктів випалу від поверхні сировини в газовий потік, а також швидкістю відведення тепла від

поверхні сировини до газового потоку, тобто процесами масо- і тепловіддачі. Тому інтенсивність випалу колчедану в печах киплячого шару („КШ”) вище, ніж у поличних печах або печах пилоподібного випалу [1].

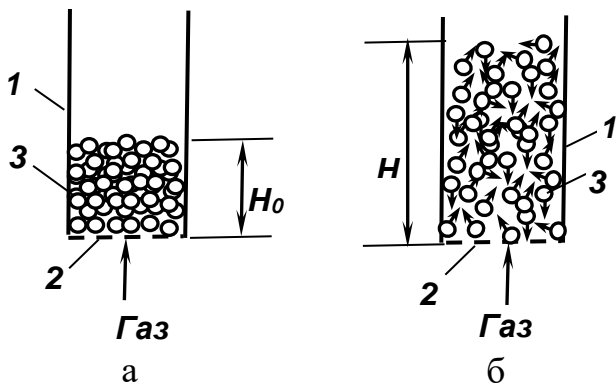
У печах „КШ” процеси масо- і тепловіддачі протікають з більшою швидкістю, оскільки частки колчедану інтенсивно перемішуються в турбулентному потоці.

При русі газу знизу нагору через шар зернистого твердого матеріалу поведінка твердих часток змінюється зі збільшенням швидкості газу. Коли швидкість газового потоку  $W$  нижче критичної величин, частки залишаються нерухомими (рис.1.3, а); висота шару  $H_0$  не змінюється. Зі збільшенням швидкості потоку  $W$  гідравлічний опір шару  $\Delta P$  зростає. На рис. 1.4 ці умови характеризуються відрізком ОА при зміні  $W$  від 0 до  $W'_{кр}$ .

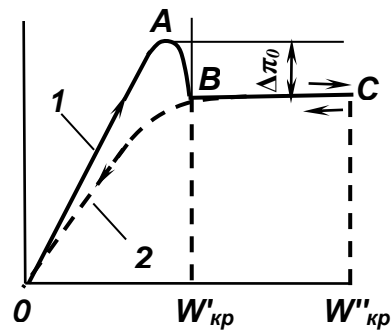
Коли  $W = W'_{кр}$ , гідравлічний опір шару стає рівним його силі тяжіння, частки зважуються і починають рухатися. При цьому висота шару збільшується з  $H_0$  до  $H$  (рис. 1.3, б). У шарі спостерігається проскакування газових бульбашок, а на його поверхні з'являються хвилі і сплески. У цьому стані (рис. 1.3, б) шар нагадує киплячу рідину, завдяки чому він одержав назву киплячого або псевдозрідженого шару.

З підвищенням швидкості газу (коли  $W > W'_{кр}$ ) висота шару продовжує збільшуватися, а інтенсивність руху часток у шарі зростає доти, поки швидкість газу не досягне другої критичної швидкості  $W''_{кр}$ . Гідравлічний опір шару при зміні швидкості газу від  $W'_{кр}$  до  $W''_{кр}$  залишається постійним (рис. 1. 4, пряма ВС). Коли  $W > W''_{кр}$ , сила тертя газу об частки перевищить силу тяжіння шару і його частки будуть винесені із шару.

Наявність піка тиску  $\Delta p$  в момент переходу шару до киплячого стану (рис. 1. 4) викликана тим, що для подолання сил інерції часток потрібні додаткові зусилля. Крива 2 на рис. 1. 4 відповідає значенням  $\Delta P$  при переході від більших значень  $W$  до менших.



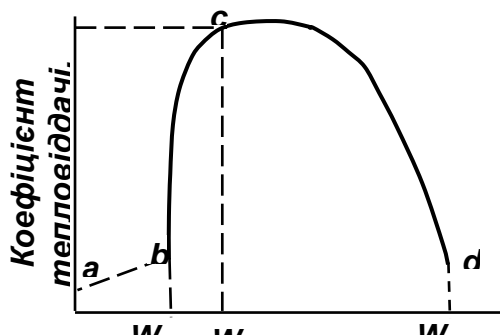
а – нерухомий шар; б – киплячий шар  
 1 – апарат постійного поперечного перетину; 2 – розподільна решітка;  
 3 – тверді частки  
 Рисунок 1.3 – Схема ідеального киплячого шару



1 – при підвищенні швидкості;  
 2 – при зниженні швидкості  
 Рисунок 1.4 – Гідрравлічний опір реального киплячого шару

У реальних умовах ділянка BC на рис. 1.4 часто не є строго горизонтальною.

На рис. 1.5 показана залежність коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  від швидкості газу в киплячому шарі. Починаючи з моменту псевдозрідження, коли  $W = W_{кр}$ , значення  $\alpha$  різко збільшується, потім цей ріст уповільнюється. При деякій оптимальній швидкості газу  $W_{опт}$  коефіцієнт тепловіддачі досягає максимального значення  $\alpha_{макс}$ , після чого з ростом  $W$  спостерігається повільне зниження величини  $\alpha$ . Зі збільшенням радіуса часток  $r$  інтенсивність їх руху падає і коефіцієнт тепловіддачі зменшується. Однак зі збільшенням  $r$  може бути підвищена швидкість газу і відповідно значення  $\alpha$ . Характер залежності коефіцієнта масовіддачі від швидкості потоку  $W$  у киплячому шарі приблизно такий же, як і для коефіцієнта тепловіддачі, оскільки при турбулентному русі, що характерний для киплячого шару, співвідношення коефіцієнта масовіддачі до коефіцієнта тепловіддачі величина приблизно постійна ( $\beta / \alpha = const$ ).





ab – у фільтруючому шарі; bcd – в киплячому шарі

Рисунок 1.5 – Залежність коефіцієнту тепловіддачі від швидкості газу в киплячому шарі

Швидкість пульсації рухомих часток у киплячому шарі зазвичай становить приблизно 10 см/с, а довжина вільного пробігу часток між двома співудареннями вимірюється міліметрами або сантиметрами. При цьому рух часток у вертикальному напрямку відбувається більш інтенсивно, ніж у горизонтальному [5].

## **2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, НАПІВФАБРИКАТІВ, ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ**

В дипломному проекті в якості сульфурвмісної сировини вибраний флотаційний сірчаний колчедан, що містить 53,4% мас. сульфуру та 46,6% мас. феруму.

Сірчаний колчедан  $FeS_2$  зустрічається в вигляді двох мінералів: піриту, що кристалізується в кубічній системі (щільність 4,95-5,0 г/см<sup>3</sup>), і марказиту, що кристалізується в ромбічній системі (щільність 4,55 г/см<sup>3</sup>). Молекулярна маса – 120 г/моль. Температура плавлення – 642°C; твердість піриту та марказиту за Моосом – 6-6,5 та 5-6 відповідно.

Флотаційний колчедан одержують у вигляді відходів при збагаченні руд кольорових металів. Фізичні властивості флотаційних колчеданів залежать від їх хімічного та гранулометричного складу, а також від вологості [2].

Відповідно ГОСТ 444-75 флотаційний колчедан випускається п'яти марок (табл. 2.1) [6].

Таблиця 2.1 – ГОСТ 444-75. Колчедан серный флотационный. Технические условия

Найменування показника	Норми для марок
------------------------	-----------------

	КСФ-0	КСФ-1	КСФ-2	КСФ-3	КСФ-4
1. Зовнішній вигляд	Сипкий порошок. Не допускаються сторонні включення (куски породи, руди, дерева)				
2. Вміст сульфідної сірки, %, не менше	50	48	45	42	38
3. Сумарний вміст плюмбуму й цинку, %, не більше	не нормується	1	1	1	1
4. Вміст арсену, %, не більше	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
5. Вміст флуору, %, не більше	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
6. Вміст вологи, %, не більше	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
7. Масова частка хлору, %, не більше	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

В виробництві сульфатної кислоти використовуються марки КСФ-2 та КСФ-3.

Сульфатною кислотою називається хімічна сполука, склад якої виражається формулою  $H_2SO_4$ . Молярна маса складає 98,08 г/моль. Безводна сульфатна кислота представляє собою безбарвну маслянисту, дуже в'язку й гігроскопічну рідину з густиною 1,8305 г/см<sup>3</sup> (при 20°C), яка кипить при 279,6°C і тиску 760 мм рт. ст., кристалізується при 10,37°C. Густина сульфатної кислоти зі збільшенням її концентрації до вмісту 98,3% мас.  $H_2SO_4$  зростає, при подальшому підвищенні концентрації – падає. Сульфатна кислота змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, при цьому утворюються гідрати. Розбавлення її водою супроводжується сильним розігріванням – виділяється тепло. Такі фізичні властивості розчинів сульфатної кислоти, як густина, температура кристалізації та кипіння, залежать від її складу.

В техніці під сульфатною кислотою ( $H_2SO_4$ ) розуміють системи, що складаються з сульфур (VI) оксиду й води різного складу:  $nSO_3 \cdot mH_2O$ . При  $n = m = 1$  – це моногідрат сульфатної кислоти (100%-ва кислота), при  $m > n$  – водні розчини моногідрату, при  $m < n$  – розчини сульфур (VI) оксиду в моногідраті (олеум) [2].

За фізико-хімічними властивостями одержувана сульфатна кислота повинна відповідати нормам ГОСТ 2184-77 (табл. 2.2).

Поліпшену сульфатну кислоту транспортують у залізничних цистернах з кислотостійкої сталі з нанесенням трафаретів "Поліпшена сульфатна кислота", "Небезпечно". За погодженням із споживачем допускається транспортувати поліпшену сульфатну кислоту по кислотопроводу зі сталі марки Ст3 за ГОСТ 380 або нержавіючої сталі.

Технічну сульфатну кислоту 1-го і 2-го сортів, баштову та регеновану кислоти транспортують у залізничних сульфатнокислотних цистернах, а також у сталевих контейнерах, сталевих бочках за ГОСТ 6247 або постачають споживачеві перекачуванням по кислотопроводу зі сталі марки Ст3 за ГОСТ 380.

Олеум транспортують у спеціальних олеумних цистернах відправника з утепленням або пристроєм для підігріву з нанесенням трафаретів "Олеум" або "Олеум поліпшений", "Небезпечно". Допускається транспортувати олеум споживачеві перекачуванням трубопроводом із сталі 10X18H10T.

Технічну сульфатну кислоту транспортують залізничним транспортом в цистернах і автомобільним транспортом у контейнерах та бочках відповідно до правил перевезень вантажів, що діють на кожному виді транспорту.

Технічна сульфатна кислота 1-го і 2-го сортів, покращений та технічний олеум, баштова й регенована кислоти повинні зберігатися в ємностях із сталі, як нефутерованих, так і футерованих кислототривкою цеглою або кислотостійким матеріалом. Поліпшена сульфатна кислота повинна зберігатися в чистих герметично закритих ємностях з нержавіючої сталі або ємностях із сталі марки Ст3 за ГОСТ 380, футерованих кислототривкими плиткою або цеглою.

Гарантійний термін зберігання сульфатної кислоти – один місяць з дня виготовлення [7].

Для окиснення  $SO_2$  в  $SO_3$  використовується барієво-алюмо-ванадієва (БАВ) контактна маса або сульфованадат на діатоміті (СВД).

БАВ відповідає формулі  $nV_2O_5 \cdot 12SiO_2 \cdot 0,5Al_2O_3 \cdot 2K_2O \cdot 3BaO \cdot mKCl$  і містить 8%  $V_2O_5$ ; 11%  $K_2O$ ; 35%  $SiO_2$ ; 28 %  $BaO$ ; 4%  $Al_2O_3$ ; 5 %  $KCl$  і 9% інших сполук. Свіжоприготовлена контактна маса БАВ представляє собою гранули

білого або рожевого кольору. Щільність (насіпна) – 0,5-0,55 г/см<sup>3</sup>, пористість – 0,65 см<sup>3</sup>/г, питома поверхня – 30 м<sup>2</sup>/г.

СВД має приблизний склад  $35\text{SiO}_2 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SO}_3$  і містить 6-7%  $\text{V}_2\text{O}_5$ , 9-10%  $\text{K}_2\text{O}$ , 56-62%  $\text{SiO}_2$ , 2-3%  $\text{CaO}$ , не більше 5% ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 18-19% – сульфати (в перерахунку на  $\text{SO}_3$ ). За зовнішнім виглядом представляє собою зерна (гранули) від жовтого до світло-коричневого кольору. Щільність (насіпна) – 0,67 г/см<sup>3</sup>, питома поверхня – 3-4 м<sup>2</sup>/г.

Температура запалювання ванадієвих каталізаторів складає 380-420 °С [4].

Таблиця 2.2 – ГОСТ 2184-77. Кислота серная техніческая. Технічні умови

Найменування показника	Норма							Регено-рована
	Контактна		Олеум		Баштова	Регено-рована		
	поліпшена	технічна	поліпшений	технічний				
	I сорт	II сорт						
1. Масова частка моногідрату (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), %	92,5-94,0	не менше 92,5		не нормується		не менше 75	не менше 91	
2. Масова частка вільного триоксиду сульфуру (SO <sub>3</sub> ), %, не менше	—	—	—	24	19	—	—	
3. Масова частка феруму (Fe), %, не більше	0,006	0,02	0,1	0,006	не нормується	0,05	0,2	
4. Масова частка залишку після прожарювання, %, не більше	0,02	0,05	не нормується	0,02	0,02	0,3	0,4	
5. Масова частка оксидів нітрогену (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, не більше	0,00005	не нормується		0,0002	не нормується	0,05	0,01	
6. Масова частка нітросполук, %, не більше	не нормується							
7. Масова частка арсену (As), %, не більше	0,00008	не нормується		0,00008	не нормується		не нормується	
8. Масова частка хлористих сполук (Cl), %, не більше	0,0001	не нормується						
9. Масова частка шлюмбуму (Pb), %, не більше	0,001	не нормується		0,0001	не нормується		не нормується	
10. Прозорість	Прозора без розведення							
11. Колір, см <sup>3</sup> розчину порівняння, не більше	1	6	не нормується					не нормується

Опис технологічної схеми виробництва сульфатної кислоти контактним способом за методом ПК-ПА з сірчаного колчедану розглянутий нижче.

Флотаційний сірчаний колчедан через дозатор поступає в піч киплячого шару (поз. 1). Повітря на випал подається в піч знизу. Отриманий сульфур (IV) оксид, що містить 13%об.  $\text{SO}_2$ , при температурі  $\sim 700^\circ\text{C}$  подають у котел-утилізатор (поз. 3), де він охолоджується до температури  $420^\circ\text{C}$ . При цьому одержують енергетичну пару тиском 4 МПа і температурою  $450^\circ\text{C}$ , а також відбувається часткове очищення газу від огаркового пилу. Подальше очищення газу здійснюється в циклонах (поз. 4) і в сухих електрофільтрах (поз. 5). Огарок з печі та пил з котла-утилізатора, циклона й електрофільтра видаляється системою транспорту. Очищення сульфур (IV) оксиду від селену, арсену та інших домішок проводиться на стадії очистки, що складається з двох промивних башт (поз. 6, 7), двох мокрих електрофільтрів (поз. 8, 9) і сушильної башти (поз. 10).

Перша порожниста промивна башта (поз. 6) працює в випарному режимі: циркулююча кислота охолоджує газ, при цьому тепло витрачається на випаровування води з кислоти, що поступає на зрошення. Концентрація зрошувальної кислоти в першій башті складає 35-45%мас.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і підтримується на цьому рівні за рахунок передачі 5-10%-вої  $\text{H}_2\text{SO}_4$  з другої промивної башти (поз. 7). Кислота з другої башти (поз. 7) поступає в збірник кислоти (поз. 18) і після охолодження повертається на зрошення.

Після другої промивної башти газ проходить послідовно дві пари електрофільтрів (поз. 8, 9), потім сушильну башту (поз. 10), що зрошується 93-94%-вою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $28-30^\circ\text{C}$ . За рахунок поглинання пари води з газу зрошувальна кислота розбавляється та нагрівається, тому для зниження температури, її охолодження проводять в повітряному

холодильнику (поз. 22). Для підтримування концентрації кислоти до неї додають кислоту з моногідратного абсорбера й знов подають на зрошення.

Перед сушильною баштою (поз. 10) сульфур (IV) оксид розбавляють повітрям до вмісту в ньому 9%об.  $\text{SO}_2$  відповідно до технологічного режиму роботи контактного апарату.

Після сушильної башти сульфур (IV) оксид при 28-30°C проходить бризкоуловлювач (поз. 11) і нагрівається в трьох трубчастих теплообмінниках (поз. 13) і при температурі 420-440°C поступає на перший шар контактного апарату (поз. 14), де окислюється на 73,8-74%; його температура підвищується до 600°C. Пройшовши теплообмінник (поз. 13), газ поступає на другий шар каталізатора, де ступінь контактування досягає 86%, а температура газу зростає від 465 до 514°C. В теплообміннику (поз. 13) температура газу знов знижується до 450°C і він направляється на третій шар контактного апарату (поз. 14). Тут ступінь окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  досягає 94-94,5%, а температура підвищується до 465-470°C.

Пройшовши теплообмінники (поз. 13), газ при температурі 100°C поступає на абсорбцію першого ступеня: спочатку в олеумний абсорбер (поз. 21), потім в моногідратний (поз. 20). Після моногідратного абсорбера й фільтра-бризкоуловлювача газ підігрівається до 430°C в системі теплообмінників (поз. 13) і поступає на четвертий шар каталізатора, причому концентрація в ньому  $\text{SO}_2$  складає 0,77-0,84%об. Тут ступінь окиснення  $\text{SO}_2$  досягає 80%. В теплообміннику (поз. 13) температура газу знижується від 449 до 409°C. На п'ятому шарі окиснення  $\text{SO}_2$  досягає 87%. Загальний ступінь контактування при цьому дорівнює 99,8%.

Після п'ятого шару контактного апарату газ при температурі 409°C, пройшовши теплообмінники (поз. 13), віддає своє тепло і поступає на абсорбцію другого ступеня в моногідратному абсорбері (поз. 17). Частина сульфатної кислоти передається в збірник кислоти (поз. 18). Непоглинений газ, що містить 0,02-0,03% об.  $\text{SO}_2$ , викидається в атмосферу через вихлопну трубу [2].

## **4 МАТЕРІАЛЬНІ І ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ**

### **4.1 Матеріальний баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду**

Вихідні дані [8]:

1. Продуктивність печі з розрахунку на умовний 45%-вий колчедан, т/добу	200
2. Використовувана сировина – флотаційні хвости з вмістом 42,4% мас. S з розрахунку на сухий колчедан	
3. Вологість колчедану, %	3
4. Середня річна температура зовнішнього повітря, °C	3
5. Вологість повітря, %	75
6. Концентрація SO <sub>2</sub> в сухому випалювальному газі, % об.	13,6
7. Концентрація SO <sub>3</sub> в сухому випалювальному газі, % об.	0,1
8. Вміст сульфуру в пилу і огарку, %мас.	0,7
9. Температура колчедану, що поступає на випал, °C	8
10. Температура киплячого шару, °C	830
11. Температура газів при виході з печі, °C	820
12. Температура огарка при вивантаженні з шару, °C	820

З урахуванням заданої потужності виробництва (100 тис. т/рік), продуктивності печі киплячого шару КС-200 (200 т/добу) і ефективного часу роботи печі (329 діб), необхідна кількість печей дорівнює

$$\frac{100000}{329 \cdot 200} \approx 2 \text{ шт.}$$

1. Витрата сухого колчедану складає:

$$\frac{200000 \cdot 45}{42,4} \approx 212000 \text{ кг/добу, або } 8844 \text{ кг/годину.}$$



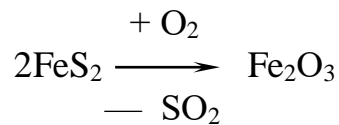
2. Витрата вологого колчедану складатиме:

$$\frac{8844 \cdot 100}{100 - 3} = 9118 \text{ кг/годину.}$$

3. Кількість сульфуру в колчедані

$$\frac{8844 \cdot 42,4}{100} = 3750 \text{ кг/годину.}$$

4. Сумарний вихід огарка й пилу розраховується, виходячи з припущення, що в умовах киплячого шару утворення огарка можна описати схемою:



В цьому випадку вихід огарка з 1 кг колчедану буде складати:

$$\frac{160 - 42,4}{160 - 0,7} = 0,738 \text{ кг/кг.}$$

Отже, сумарний вихід огарка й пилу становить

$$8844 \cdot 0,738 = 6527 \text{ кг/годину.}$$

5. Втрати сульфуру з огарком

$$\frac{6527 \cdot 0,7}{100} = 46 \text{ кг/годину.}$$

6. Вигоріло сульфуру колчедану з утворенням  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$

$$3750 - 46 = 3704 \text{ кг/годину.}$$

7. Утворилося  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$  по об'єму

$$\frac{3701 \cdot 21,895}{32,066} = 2530 \text{ м}^3/\text{годину.}$$

де 21,895– мольний об'єм  $\text{SO}_2$ ,  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ ;

32,066 – атомна маса сульфуру.

8. Утворилося  $\text{SO}_3$

по об'єму

$$\frac{2530 \cdot 0,1}{13,6 + 0,1} = 18,5 \text{ м}^3/\text{годину,}$$

по масі

$$\frac{18,5 \cdot 80,066}{22,416} = 66 \text{ кг / годину ,}$$

де 80,066 – молекулярна маса SO<sub>3</sub>, кг/кмоль;

22,416 – мольний об'єм SO<sub>3</sub>, який за умовою приймаємо рівним нормальному мольному об'єму, м<sup>3</sup>/кмоль.

В цій кількості SO<sub>3</sub> міститься сульфуру

$$\frac{18,5 \cdot 32,066}{22,416} = 26 \text{ кг/годину.}$$

9. Використано сульфуру на утворення SO<sub>2</sub>

$$3704 - 26 = 3678 \text{ кг/годину.}$$

10. Утворилося SO<sub>2</sub>

$$\frac{3678 \cdot 64,066}{32,066} = 7348 \text{ кг / годину , або } \frac{7348}{2,927} = 2511 \text{ м}^3/\text{годину ,}$$

де 64,066 – молекулярна маса SO<sub>2</sub>, кг/кмоль;

2,927 – густина SO<sub>2</sub>, кг/м<sup>3</sup>.

11. Об'єм отриманого сухого випалювального газу

$$\frac{2511 \cdot 100}{13,6} = 18466 \text{ м}^3/\text{годину.}$$

12. Концентрація кисню в випалювальному газі. Виводимо формулу, що зв'язує концентрацію кисню в випалювальному газі з наступними параметрами:

а) з концентрацією кисню в дутті; б) з концентрацією SO<sub>2</sub> і SO<sub>3</sub> у випалювальному газі; в) із стехіометричними співвідношеннями витраченого числа молей O<sub>2</sub> до утвореного числа молей SO<sub>2</sub> і SO<sub>3</sub>. При виведенні формули необхідно особливо відзначити, що молярні об'єми реальних O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> і SO<sub>3</sub> не рівні один одному.

Позначимо: n – концентрація O<sub>2</sub> у сухому дутті, % (об.); P<sub>so<sub>2</sub></sub> – стехіометричне співвідношення числа витрачених молей O<sub>2</sub> до числа молей утвореного SO<sub>2</sub>; P<sub>so<sub>3</sub></sub> – теж саме для SO<sub>3</sub>; K<sub>so<sub>2</sub></sub> = V<sub>o<sub>2</sub></sub> / V<sub>so<sub>2</sub></sub> – співвідношення

мольних об'ємів  $O_2$  і  $SO_2$ ;  $K_{SO_3} = V_{O_2}/V_{SO_3}$  – співвідношення мольних об'ємів  $O_2$  і  $SO_3$ .

На утворення 100 об'ємів сухого випалювального газу витрачається

$$\begin{aligned} & 100 - c_{SO_2} + P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} \cdot c_{SO_2} - c_{SO_3} + P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} \cdot c_{SO_3} = \\ & = 100 + (P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} - 1) \cdot c_{SO_2} + (P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} - 1) \cdot c_{SO_3} \text{ об'ємів дуття,} \end{aligned} \quad (9)$$

в яких міститься

$$\frac{n}{100} \left[ 100 + (P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} - 1) \cdot c_{SO_2} + (P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} - 1) \cdot c_{SO_3} \right] \text{ об'ємів кисню} \quad (10)$$

При утворенні  $SO_2$  і  $SO_3$  із вказаної кількості витрачається

$$P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} \cdot c_{SO_2} + P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} \cdot c_{SO_3} \quad (11)$$

Залишковий кисень міститься в 100 об'ємах випалювального газу. Тому

$$\begin{aligned} & \frac{n}{100} \left[ 100 + (P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} - 1) \cdot c_{SO_2} + (P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} - 1) \cdot c_{SO_3} \right] - \\ & - P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} \cdot c_{SO_2} - P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} \cdot c_{SO_3} = \\ & = n - \left[ \left( 1 - \frac{n}{100} \right) \cdot P_{SO_2} \cdot K_{SO_2} + \frac{n}{100} \right] \cdot c_{SO_2} - \left[ \left( 1 - \frac{n}{100} \right) \cdot P_{SO_3} \cdot K_{SO_3} + \frac{n}{100} \right] \cdot c_{SO_3} \end{aligned} \quad (12)$$

Для спрощення формули знайдемо залежність між  $P_{SO_2}$  і  $P_{SO_3}$ . Якщо при утворенні  $SO_2$  і  $SO_3$  вихідні тверді речовини і кінцеві тверді продукти однакові, то на одержання 1 моль  $SO_3$  буде витрачатися на 0,5 моль  $O_2$  більше, ніж на утворення 1 моль  $SO_2$ , тобто  $P_{SO_3} = P_{SO_2} + 0,5$ . З іншого боку, якщо припустити, що  $SO_3$  утворюється в печі із  $SO_2$  за реакцією  $2SO_2 + O_2 = SO_3$ , то і цьому випадку  $P_{SO_3} = P_{SO_2} + 0,5$ . Чисельні значення  $K_{SO_2}$  і  $K_{SO_3}$  знаходимо із відповідних мольних об'ємів

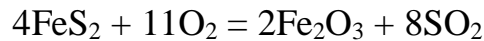
$$K_{SO_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{SO_2}} = \frac{22,393}{21,895} = 1,023;$$

$$K_{\text{SO}_3} \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{SO}_3}} = \frac{22,393}{22,416} = 0,999.$$

Значення  $n$  для звичайного повітряного дуття, не збагаченого киснем, дорівнює  $c_{\text{O}_2} = 21\%$  об. Підставляючи ці дані в попередню формулу, одержимо

$$\begin{aligned} c_{\text{O}_2} &= 21 - \left[ \left( 1 - \frac{21}{100} \right) \cdot P_{\text{SO}_2} \cdot 1,023 + \frac{21}{100} \right] \cdot c_{\text{SO}_2} - \left[ \left( 1 - \frac{21}{100} \right) \cdot (P_{\text{SO}_2} + 0,5) \cdot 0,999 + \frac{21}{100} \right] \cdot c_{\text{SO}_3} = \\ &= 21 - (0,8079 \cdot P_{\text{SO}_2} + 0,21) \cdot c_{\text{SO}_2} - (0,7892 \cdot P_{\text{SO}_2} + 0,605) \cdot c_{\text{SO}_3} \end{aligned} \quad (13)$$

Можна вважати, що в умовах киплячого шару випал в основному відбувається за рівнянням:



Тоді  $P_{\text{SO}_2} = \frac{11}{8} = 1,375$ .

Остаточно одержуємо наступну формулу для визначення концентрації кисню в сухому випалювальному газі при роботі на повітряному дутті:

$$c_{\text{O}_2} = 21 - 1,321 \cdot c_{\text{SO}_2} - 1,691 \cdot c_{\text{SO}_3} \quad (14)$$

Знаючи, що  $c_{\text{SO}_2} = 13,6\%$  об. і  $c_{\text{SO}_3} = 0,1\%$  об., одержимо

$$c_{\text{O}_2} = 21 - 1,321 \cdot 13,6 - 1,691 \cdot 0,1 = 2,87\% \text{ об.}$$

Якщо вважати, що молярні об'єми  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$  дорівнюють один одному, то  $K_{\text{SO}_2} = K_{\text{SO}_3}$ , і розрахована концентрація кисню складає  $3,20\%$  об.

А це значить, що допускається відносна помилка

$$\frac{(3,20 - 2,87) \cdot 100}{2,87} = 11,5\%.$$

13. Кількість кисню в випалювальному газі

$$\frac{18466 \cdot 2,87}{100} = 530 \text{ м}^3/\text{годину}, \text{ або } 530 \cdot 1,429 = 757 \text{ кг/годину.}$$

14. Об'єм азоту в випалювальному газі

$$18466 - (2511 + 18,5 + 530,0) = 15406 \text{ м}^3/\text{годину},$$

або

$$15406 \cdot 1,257 = 19362 \text{ кг/годину},$$

де 1,257 – густина атмосферного азоту, тобто суміші  $\text{N}_2 + \text{Ar}$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

15. Витрата сухого повітря при випалу

$$\frac{15406 \cdot 100}{100 - 21} = 19502 \text{ м}^3/\text{годину}, \text{ або } 19502 \cdot 1,293 = 25216 \text{ кг/годину}.$$

16. Кількість вологи, що поступає з повітрям

$$25216 \cdot 0,0036 = 91 \text{ кг/годину},$$

де 0,0036  $\text{кг H}_2\text{O/кг}$  сухого повітря – вологовміст повітря при 3 °C і  $\phi = 75\%$ .

17. Кількість вологого повітря

$$25216 + 91 = 25307 \text{ кг/годину}, \text{ або } 19502 + \frac{91}{0,804} = 19615 \text{ м}^3/\text{годину},$$

де 0,804 – густина пари води за нормальних умов,  $\text{кг/м}^3$ .

18. Кількість пари води в випалювальному газі

$$(9118 - 8844) + 91 = 365 \text{ кг/годину}, \text{ або } \frac{365}{0,804} = 19615 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

19. Загальна кількість випалювального газу

$$7348 + 66 + 757 + 19362 + 365 = 29898 \text{ кг/годину}.$$

20. Кількість пилу, що відноситься з газом і кількість крупного огарка, що видаляється через спускову трубу. Приймаємо, що віднесення дорівнює 90% від загальної кількості огарка.

Кількість пилу, що уноситься газом

$$6527 \cdot \frac{90}{100} = 5874 \text{ кг/годину}.$$

Кількість більш крупного огарку, що видаляється через спускную трубу

$$6527 - 5874 = 653 \text{ кг/годину}.$$

Таблиця 4.1 – Матеріальний баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду

Прихід		Витрата			
Стаття	кг/годину	Стаття	кг/годину	м <sup>3</sup> /годину	% об.
Колчедан вологий:		Випалювальний газ:			
колчедан сухий	8844	SO <sub>2</sub>	7348	2511	13,27
		SO <sub>3</sub>	66	18,5	0,10
		O <sub>2</sub>	757	530	2,80
		N <sub>2</sub>	19362	15406	81,43
		пари води	365	454	2,40
Разом	9118	Разом	27898	18919,5	100,0
Повітря вологе:		Огарок:			
повітря сухе	25216	пил, що відноситься з газами	5874	—	—
волога повітря	91	великий огарок	653	—	—
Разом	25307	Разом	6527	—	—
Всього	34425	Всього	34425	18920	—

## 4.2 Тепловий баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду

### Прихід тепла

1. Тепло реакції утворення SO<sub>2</sub> [8].

Тепловий ефект реакції одержання SO<sub>2</sub> знаходимо за стандартними ентальпіями:

$$\Delta H_{\text{FeS}_2} = -177,40 \text{ кДж/моль} ; \quad \Delta H_{\text{O}_2} = 0 ; \quad \Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = -821,32 \text{ кДж/моль} ;$$

$$\Delta H_{\text{SO}_2} = -296,90 \text{ кДж/моль} .$$

Звідси для реакції



одержимо

$$q_1 = -\Delta H_1 = -(2 \cdot \Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 8 \cdot \Delta H_{\text{SO}_2} - 4 \cdot \Delta H_{\text{FeS}_2} - 11 \cdot \Delta H_{\text{O}_2}) , \quad (16)$$

де  $q_1$  – тепловий ефект реакції, кДж,

$\Delta H_1$  – зміна ентальпії, кДж.

$$q_1 = -(-2 \cdot 821,32 - 8 \cdot 296,90 + 4 \cdot 177,40 + 11 \cdot 0) = -(-3308,24) = 3308 \text{ кДж.}$$

При випалі колчедану за реакцією на кожен 1 кг згорілого сульфуру виділиться тепла:

$$q_{\text{SO}_2} = \frac{3308 \cdot 1000}{4 \cdot 2 \cdot 32,066} = 12900 \text{ кДж/кг сірки.}$$

При згоранні 3678 кг сульфуру виділиться тепла

$$Q_1 = 3678 \cdot 12900 = 47450000 \text{ кДж/годину,}$$

де 3678 – кількість сульфуру на утворення  $\text{SO}_2$  (дані з матеріального балансу), кг/годину.

2. Тепло реакції утворення  $\text{SO}_3$ . Маємо  $\Delta H_{\text{SO}_3} = -395,20 \text{ кДж/моль}$ .

Для реакції



одержимо

$$q_2 = -\Delta H_2 = -(2 \cdot \Delta H_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 8 \cdot \Delta H_{\text{SO}_3} - 4 \cdot \Delta H_{\text{FeS}_2} - 15 \cdot \Delta H_{\text{O}_2}), \quad (18)$$

$$q_2 = -(-2 \cdot 821,32 - 8 \cdot 395,20 + 4 \cdot 177,40 + 15 \cdot 0) = -(-4094,64) = 4095 \text{ кДж.}$$

При згоранні колчедану на кожен 1 кг сульфуру, що згорів до  $\text{SO}_3$ , виділиться тепла

$$q_{\text{SO}_3} = \frac{4095 \cdot 1000}{4 \cdot 2 \cdot 32,066} = 16000 \text{ кДж на 1 кг сірки.}$$

При згоранні 26 кг сульфуру виділиться тепла

$$Q_2 = 26 \cdot 16000 = 416000 \text{ кДж/годину,}$$

де 26 – кількість сульфуру, що міститься в  $\text{SO}_3$  (дані з матеріального балансу), кг/годину.

3. Фізичне тепло повітря. За довідковими даними знаходимо, що при  $3^{\circ}\text{C}$  і  $\varphi = 75\%$  ентальпія вологого повітря з розрахунку на 1 кг сухого повітря  $i_v = 11,7$  кДж/кг. Звідси

$$Q_3 = 11,7 \cdot 25216 = 295000 \text{ кДж},$$

де 25216 – витрата сухого повітря при випалі (дані з матеріального балансу), кг/годину.

4. Фізичне тепло сухого колчедану

$$Q_4 = 8844 \cdot 0,54 \cdot 8 = 38200 \text{ кДж/годину},$$

де 8844 – витрата сухого колчедану (дані матеріального балансу), кг/годину;

0,54 – теплоємність сухого колчедану, кДж/(кг ·  $^{\circ}\text{C}$ );

8 – температура колчедану, що поступає на випал (дані матеріального балансу),  $^{\circ}\text{C}$ .

5. Фізичне тепло води, що поступає з колчеданом

$$Q_5 = (9118 - 8844) \cdot 33,6 = 9223 \text{ кДж/годину},$$

де 9118 – витрата волого колчедану (дані матеріального балансу), кг/годину;

33,66 – ентальпія рідкої води при  $8^{\circ}\text{C}$ , кДж/кг.

6. Фізичне тепло вологого колчедану

$$Q_6 = 38200 + 9223 = 47423 \text{ кДж/годину}.$$

Загальний прихід тепла

$$Q_{\text{пр}} = 47450000 + 416000 + 295000 + 47423 = 48208423 \text{ кДж/годину}.$$

Витрата тепла

1. Фізичне тепло вологого випалювального газу

$$Q_1 = (7348 \cdot 0,768 + 66 \cdot 0,887 + 757 \cdot 1,019 + 19362 \cdot 1,102) \cdot 820 + 365 \cdot 4204 =$$



$$= 24339000 \text{ кДж/годину},$$

де 7348, 66, 757, 19362, 365 – вміст  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  у випалювальному газі (дані матеріального балансу), кг/годину;

0,768; 0,887; 1,019; 1,102 – теплоємності  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  відповідно, кДж/(кг · °С);

820 – температура випалювального газу, °С;

4204 – ентальпія перегрітої пари, кДж/кг.

2. Фізичне тепло пилу в газі. Залежність середньої теплоємності огарка від температури наближено можна виразити рівнянням

$$c = 0,6096 + 0,000788 \cdot t, \quad (19)$$

де  $t = 820$  – температура огарку при вивантаженні, °С.

$$c = 0,6096 + 0,000788 \cdot 820 = 1,256 \text{ кДж/(кг · °С)}.$$

Тоді фізичне тепло пилу в газі складатиме

$$Q_2 = 5874 \cdot 1,256 \cdot 820 = 6050000 \text{ кДж/кг},$$

де 5874 – кількість пилу, що відноситься з газом (дані матеріального балансу), кг/годину.

3. Фізичне тепло запиленого випалювального газу

$$Q_3 = 24339000 + 6050000 = 30389000 \text{ кДж/годину}.$$

4. Фізичне тепло крупного огарку, що видаляється через спускную трубу

$$Q_4 = 653 \cdot 1,256 \cdot 820 = 673000 \text{ кДж/годину},$$

де 653 – кількість крупного огарку (дані матеріального балансу), кг/годину.

5. Втрати тепла у навколишнє середовище. Приймаємо, що втрати тепла дорівнюють 3% від приходу тепла. Тоді

$$Q_5 = 48208423 \cdot 0,03 = 1446300 \text{ кДж/годину},$$

6. Тепло, що відводиться від киплячого шару

$$Q_6 = 48208423 - (30389000 + 673000 + 1446300) = 15700123 \text{ кДж/годину.}$$

Таблиця 4.2 – Тепловий баланс стадії одержання сульфур (IV) оксиду

Прихід			Витрата		
Стаття	кДж/годину	%	Стаття	кДж/годину	%
Від горіння колчедану до SO <sub>2</sub>	47450000	98,43	З випалювальним газом	24339000	50,48
Від горіння колчедану до SO <sub>3</sub>	416000	0,86	З пилом в газі	6050000	12,55
З повітрям	295000	0,61	З крупним огарком	673000	1,39
З колчеданом	47423	0,10	На пароутворення	15700123	32,58
			У навколишнє середовище	1446300	3,00
Всього	48208423	100,0	Всього	48208423	100,0

## 5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО АПАРАТУ

### 5.1 Опис конструкції і принцип дії печі з киплячим шаром

Одержання сульфур (IV) оксиду шляхом випалу сірчаного колчедану здійснюється в печі „КШ”. Піч має циліндричну форму з розширенням в верхній частині. Сталевий корпус печі (поз. 8) футерований шамотною (поз. 10) і діатомовою (поз. 9) цеглою. Піч має завантажувальну камеру – форкамеру (поз. 19), яка постачається провальною (поз. 23) і безпровальною решітками. Застосування форкамери попереджає забивання крупними кусками колчедану поду печі і дає можливість вертикально розташувати спускную трубу від тарілчастого живильника (для запобігання зависання в ній колчедану).

Под печі складається з безпровальної решітки, яка частково заходить у форкамеру, і провальної колосникової решітки. Безпровальна решітка представляє собою сталевий перфорований лист, залитий жаротривким бетоном на висоту 120 мм і заармований двома рядами круглої сталі. В отворах безпровальної решітки і колосниках провальної решіток встановлені повітряні сопла (поз. 5). За допомогою розподільної решітки (поз. 2), що встановлюється в повітряному коробі, досягається рівномірне розподілення повітря по

перетину. Повітря під подину печі подається трьома потоками: під провальну і безпровальну решітки форкамери і безпровальну решітку поду (штуцер Г).

Для інтенсифікації кипіння вологого й більш важкого, ніж огарок, колчедану під колосникову решітку подається повітря в 1,8-2 рази більше, ніж у безпровальну решітку.

Огарок видаляють із печі через бункер форкамери (поз. 24) із протилежної сторони печі.

Для розпалювання печі над киплячим шаром похило до горизонту встановлені газові пальники (поз. 20).

Над решіткою в футерівці є отвори для установки охолоджувальних елементів в киплячому шарі (поз. 26). Охолоджувальні елементи представляють собою труби з вуглецевої сталі, по яких циркулює вода. Нагріта вода поступає в котел-утилізатор.

Для спостереження за станом шару й факелом горіння встановлене оглядове вікно (поз.11), що обдувається повітрям. Для більш повного використання внутрішнього об'єму печі вихід газу здійснюється в центрі склепіння. Для проведення чищення і ремонту всередині печі встановлені лази, розташовані на рівні поду і розширеної верхньої циліндричної частини печі [9].

## 5.2 Конструктивний розрахунок печі киплячого шару

Визначимо основні розміри печі киплячого шару продуктивністю 200 т/добу.

Вихідні дані [8]:

1. Допустима інтенсивність випалу за умовним 45%-вим колчеданом  
на 1 м<sup>2</sup> решітки, кг/добу 8000  
на 1 м<sup>3</sup> печі, кг/добу 1500
2. Інтенсивність первинного дуття на 1 м<sup>2</sup> решітки, м<sup>3</sup>/с 7
3. Щільність флотаційного колчедану, кг/м<sup>3</sup> 3880

Гранулометричний склад флотаційного колчедану наведений в табл. 5.1.

1. Площа дугтьових решіток буде складає:

$$F_{д.р.} = \frac{200000}{8000} = 25 \text{ м}^2,$$

де 8000 – допустима інтенсивність випалу на 1 м<sup>2</sup> решітки, кг/добу.

Таблиця 5.1 – Гранулометричний склад флотаційного колчедану

Розмір часток, мкм	Кількість, %	Розмір часток, мкм	Кількість, %	Розмір часток, мкм	Кількість, %
менше 6	13,23	53-63	1,29	180-210	3,74
6-10	11,21	63-75	1,86	210-250	3,47
10-15	5,58	75-85	4,62	250-300	2,65
15-20	5,96	85-105	8,21	300-355	1,83
20-30	10,56	105-125	11,78	355-420	1,01
30-42	0,17	125-150	7,89	420-500	0,16
42-53	0,73	150-180	4,02	більше 500	0,03

2. Кількість первинного дугтя

$$V_{перв} = 7 \cdot 25 \cdot 60 = 10500 \text{ м}^3/\text{годину}, \text{ або } \frac{10500}{3600} = 2,91 \text{ м}^3/\text{с},$$

де 7 – допустима інтенсивність первинного дугтя на 1 м<sup>2</sup> решітки, м<sup>3</sup>/хв.;

60 – коефіцієнт переходу від хвилин до годин, хв./ годину.

3. Площа провальної решітки. Площа провальної решітки  $F_{п.р}$  зазвичай складає 10% від загальної площі дугтьових решіток

$$F_{п.р} = 25 \cdot 0,10 = 2,5 \text{ м}^2.$$

4. Площа безпровальної решітки

$$F_{б.р} = 25 - 2,5 = 22,5 \text{ м}^2.$$

5. Діаметр циліндричної частини печі

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 22,5}{3,14}} = 5,325 \text{ м.}$$

6. Кількість дуття провальної решітки. Приймаємо кількість дуття провальної решітки удвічі більше, ніж відсоток площі решітки, тобто дуття провальної решітки складатиме  $2 \cdot 10 = 20\%$  від первинного дуття

$$V_{\text{п.р}} = 2,91 \cdot 0,20 = 0,58 \text{ м}^3/\text{с.}$$

7. Сумарна площа дуттьових труб провальної решітки. Допустима швидкість повітря в дуттьових трубах 12,5 м/с. Звідси

$$\Sigma F_{\text{д.т.}} = \frac{0,58}{12,5} = 0,0464 \text{ м}^2,$$

де 12,5 – швидкість повітря в дуттьових трубах, м/с.

8. Кількість труб дуттьової решітки. Для дуттьової решітки приймаємо труби сталеві водогазопровідні (ГОСТ3262-82) з умовним проходом 70 мм і площею внутрішнього перетину 35,8 см<sup>2</sup>. Звідси

$$n = \frac{0,0464}{35,8 \cdot 10^{-4}} = 13.$$

9. Ширина дуттьової решітки. Приймаємо відстань між трубами рівною зовнішньому діаметру труб, а відстань між першою трубою і стінкою завантажувальної камери і між останньою трубою і безпровальною решіткою рівними половині діаметру труби.

Одержуємо:

$$b = 13 \cdot 2 \cdot 0,0755 = 1,963 \text{ м,}$$

де 0,0755 – зовнішній діаметр труби, м.

10. Довжина кожної труби

$$l = \frac{2,5}{1,963} = 1,274 \text{ м.}$$

11. Сумарна площа отворів дуттьових решіток. Допустима швидкість дуття в отворах 8 м/с. Звідси

$$\Sigma F_{\text{до}} = \frac{0,58}{8} = 0,0725 \text{ м}^2.$$

12. Кількість отворів в трубах. Приймаємо діаметр отворів 10 мм (0,01 м).  
Тоді:

$$n = \frac{0,0725 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,01^2} = 923.$$

13. Крок отворів в трубах. У кожній трубі є  $923 / 13 = 71$  отвір. Отвори розташовані в шаховому порядку в два ряди. Кут осей їх з вертикаллю складає  $45^\circ$ . У одному ряду 35, а в іншому 36 отворів. Приймаємо, що зовнішні межі крайніх з 36 отворів ряду знаходяться на відстані 2 мм. Тоді сума відстаней між отворами буде:

$$l - n \cdot 10 - 2 \cdot 2 = 1274 - 360 - 4 = 910 \text{ мм}$$

і кожна відстань дорівнює  $910 / 35 = 26$  мм, тобто крок отворів 36 мм. В ряду з 35 отворів відстань від стінки печі до краю отвору дорівнює

$$2 + \frac{36}{2} = 20 \text{ мм}.$$

14. Кількість дуття під безпровальну решітку

$$V_{\text{б,р}} = 2,91 - 0,58 = 2,33 \text{ м}^3/\text{с}.$$

15. Кількість грибків безпровальної решітки. Приймаємо діаметр дуттьового отвору грибка 7 мм (0,007 м), кількість їх в грибку 8. Тоді, враховуючи, що допустима швидкість повітря дорівнює 8 м/с, отримаємо

$$n_{\text{гр}} = \frac{2,33 \cdot 3,14 \cdot 0,007^2}{8 \cdot 8 \cdot 4} = 946 \text{ грибків}.$$

Оскільки площа безпровальної решітки  $22,5 \text{ м}^2$ , то на кожному квадратному метрі є  $946 / 22,5 = 42,04 \approx 42$  грибка. Тоді в усій решітці

$$42 \cdot 22,5 = 945 \text{ грибків.}$$

Швидкість в дуттьовому отворі грибка дорівнюватиме:

$$w_{\text{д.о.}} = \frac{2,33 \cdot 3,14 \cdot 0,007^2}{945 \cdot 8 \cdot 4} = 8,01 \text{ м/с,}$$

що задовольняє значенням, які зазвичай приймаються, 5-8 м/с.

16. Швидкість повітря в центральному каналі головки грибка. З розрахунку на те, що в центральний канал грибка повинні відкриватися 8 дуттьових отворів діаметром 7 мм кожний, діаметр центрального каналу повинен бути не менше 23 мм. В цьому випадку проміжки між отворами по внутрішній поверхні центрального каналу будуть близько 2 мм. Діаметр закріпного болта головки грибка 10 мм. Таким чином, площа живого перетину каналу складе:

$$F_{\text{ж.п.}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,023^2 - 0,010^2) = 0,000337 \text{ м}^2.$$

Звідси, швидкість повітря в центральному каналі

$$w_{\text{ц.к.}} = \frac{2,33}{0,00037 \cdot 945} = 7,32 \text{ м/с.}$$

17. Швидкість газу в киплячому шарі. Умовно приймаємо співвідношення між кількістю випалювального газу й кількістю дуття в шарі таким же, як і в усій печі. Тоді при температурі шару 830°C і площі його 25 м<sup>2</sup>

$$w_{\text{к.ш.}} = \frac{18920 \cdot 10500 \cdot \left(1 + \frac{830}{273}\right)}{19615 \cdot 25 \cdot 3600} = 0,45 \text{ м/с,}$$

де 18920 – об'єм випалювального газу (дані матеріального балансу), м<sup>3</sup>/годину;

10500 – об'єм первинного дуття, м<sup>3</sup>/годину;

19615 – об'єм загального повітря, м<sup>3</sup>/годину;

25 – площа дуттьової решітки грати, м<sup>2</sup>;

830 – температура шару, °С.

18. Динамічна в'язкість газу в шарі. Приймаємо склад газу в шарі таким же, як і склад випалювального газу. В'язкість сульфур (VI) оксиду умовно дорівнює в'язкості сульфур (IV) оксиду. Тоді в'язкість випалювального газу при 830°С складатиме

$$\mu_{\text{к.ш.}} = \frac{(c_{\text{SO}_3} + c_{\text{SO}_2}) \cdot \sqrt{M_{\text{SO}_2} \cdot T_{\text{SO}_2}^{\text{к}}} \cdot \mu_{\text{SO}_2} + c_{\text{O}_2} \cdot \sqrt{M_{\text{O}_2} \cdot T_{\text{O}_2}^{\text{к}}} \cdot \mu_{\text{O}_2} + \dots}{(c_{\text{SO}_3} + c_{\text{SO}_2}) \cdot \sqrt{M_{\text{SO}_2} \cdot T_{\text{SO}_2}^{\text{к}}} + c_{\text{O}_2} \cdot \sqrt{M_{\text{O}_2} \cdot T_{\text{O}_2}^{\text{к}}} + \dots}, \quad (20)$$

де  $T_{\text{SO}_2}^{\text{к}}$ ,  $T_{\text{O}_2}^{\text{к}}$  – критична температура газу, °К;

$\mu_{\text{SO}_2}$ ,  $\mu_{\text{O}_2}$  – в'язкість газу, Н·с/м<sup>2</sup>.

$$\mu_{\text{к.ш.}} = \frac{(0,0010 + 0,1323) \cdot 166 \cdot 4,12 \cdot 10^{-5} + 0,0280 \cdot 70,2 \cdot 5,02 \cdot 10^{-5} + 0,8143 \cdot 59,5 \cdot 4,23 \cdot 10^{-5} + 0,0240 \cdot 108 \cdot 3,93 \cdot 10^{-5}}{(0,0010 + 0,1323) \cdot 160 + 0,0280 \cdot 70,2 + 0,8143 \cdot 59,5 + 0,0240 \cdot 108} = 4,21 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2.$$

19. Діаметр максимальної частки, що вилітає з шару. Діаметр частки, що може вилетіти з шару під дією газодинамічних сил, дорівнює

$$d_{\text{маск}} = \sqrt{\frac{11,3 \cdot 4,21 \cdot 10^{-5} \cdot 0,45}{3880}} = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,236 \text{ мм} = 236 \text{ мкм},$$

де  $\mu_{\text{к.ш.}}$  – в'язкість газу в киплячому шарі, Н·с/м<sup>2</sup>;

3880 – щільність колчедану, кг/м<sup>3</sup>.

Це значить, що всі частки колчедану, діаметр яких менше 236 мкм, вилетять з киплячого шару у вільний простір печі. За гранулометричним складом визначаємо, що повністю вилетять всі фракції до 180-210 мкм включно. Частково вилетить фракція 210-250 мкм.

20. Залишок колчедану в киплячому шарі. У киплячому шарі повністю залишаться всі фракції з розмірами часток 250 мкм і більше. Якщо допустити,



що всередині фракції розподілення часток підкоряється лінійному закону, то кількість часток крупніше 236 мкм цієї фракції можна знайти з виразу

$$\frac{3,47 \cdot (250 - 236)}{250 - 210} = 1,21\%.$$

Таким чином, всього в шарі залишиться

$$1,21 + 2,65 + 1,83 + 1,01 + 0,16 + 0,03 = 6,89\%$$

від колчедану, що поступає на випал.

21. Швидкість газу в печі

$$w_{\text{п}} = \frac{18920 + \left(1 + \frac{820}{273}\right)}{22,5 \cdot 3600} = 0,935 \text{ м/с},$$

де 22,5 – площа циліндричної частини печі, м<sup>2</sup>.

22. В'язкість газу в печі складає  $\mu_{\text{п}} = 4,20 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$ .

23. Діаметр максимальної частки огарку, що відноситься із печі. Щільність огарку можна прийняти 4990 кг/м<sup>3</sup>.

$$d_{\text{маск}} = \sqrt{\frac{11,3 \cdot 4,20 \cdot 10^{-5} \cdot 0,935}{4990}} = 2,98 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,298 \text{ мм} = 298 \text{ мкм}.$$

Із співставлення результатів п.19 і 23 виходить, що всі частки, що вилетіли з киплячого шару, будуть віднесені із печі. Залишок колчедану в шарі 6,89% від загальної кількості огарку, що близько до прийнятого в матеріальному балансі залишку крупного огарку (10%), особливо, якщо врахувати, що деяке число часток може при випалі агрегатуватися.

24. Визначаємо об'єм печі, якщо допустима інтенсивність випалу 1500 кг/добу умовного колчедану на 1 м<sup>3</sup> печі

$$V_{\text{п}} = \frac{200000}{1500} = 133 \text{ м}^3.$$

25. Об'єм завантажувальної камери. При висоті завантажувальної камери 3 м, об'єм її складатиме

$$V_{з.к.} = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ м}^3.$$

26. Об'єм циліндричної частини печі

$$V_{ц} = 133 - 7,5 = 125 \text{ м}^3.$$

27. Висота циліндричної частини печі

$$h_{п} = \frac{125}{22,5} = 5,5 \text{ м}.$$

28. Поверхня охолодження печі

$$S_{ох.} = S_{з.к.} + S_{в.с.} + S_{кр} =$$

$$= 2 \cdot (Ш_p + 0,5) \cdot (h_{з.к.} + 0,5) + (Ш_p + 0,5) \cdot (l_{тр} + 1) + \pi \cdot (D_{п} + 1) \cdot (h_{п} + 0,5) + \frac{1}{2} \pi \cdot (D_{п} + 1)^2 \quad (21)$$

$$S_{ох.} = 2 \cdot (1,963 + 0,5) \cdot (3,0 + 0,5) + (1,963 + 0,5) \cdot (1,274 + 1) + \\ + 3,14 \cdot (5,35 + 1) \cdot (5,5 + 0,5) + \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot (5,35 + 1)^2 = 205,8 \text{ м}^2.$$

29. Втрати тепла у навколишнє середовище. При температурі зовнішніх поверхонь 85°C сумарний коефіцієнт тепловіддачі дорівнює

$$\beta = 9,3 + 0,58 \cdot 85 = 14,23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

Отже, втрати тепла в навколишнє середовище складатимуть

$$Q_{втр.} = 205,8 \cdot 14,23 \cdot (85 - 3) \cdot 1,3 \cdot 3600 = 1124000000 \text{ Дж/годину} = \\ = 1124000 \text{ кДж/годину},$$

де 3 – температура зовнішнього повітря, °C;

1,3 – коефіцієнт, що враховує наявність засувок, швів, введів трубопроводів, люків і інших причин, викликаючих збільшення поверхні тепловіддачі або температури поверхонь, що охолоджуються;

3600 – коефіцієнт переходу від секунд до годин, с/годину.

Отримане значення  $Q_{\text{втр}}$  менше прийнятого в тепловому балансі. Це доказує, що кількість корисно використовуваного тепла може бути більше, ніж розрахована вище.

30. Час знаходження газів в печі

$$\tau_{\text{знах.}} = \frac{133 \cdot 273 \cdot 3600}{18920 \cdot 1093} = 6,3 \text{ с.}$$

## 6 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Вибір допоміжного обладнання стадії одержання сульфур (IV) оксиду виробництва сульфатної кислоти наведений в табл. 6.1 [1-3].

Таблиця 6.1 – Вибір допоміжного обладнання

Позначення апарата	Найменування обладнання	Призначення і коротка характеристика	Кількість
поз. 3	Котел-утилізатор	Котел-утилізатор КС-200 ГТКУ призначений для використання тепла сульфур (IV) оксиду, отриманого в печі КШ. Тип конструкції – двоходовий, двопакетний. Продуктивність – 12,5 т/годину пари; параметри пари: тиск – 4 МПа, температура – 450°C; опір котла – 0,64 кПа; поверхня теплообміну: випарювальна в котлі – 306 м <sup>2</sup> , охолоджувальних елементів печі – 15 м <sup>2</sup> , пароперегрівача – 17,7 м <sup>2</sup>	1
поз. 4	Циклон	Циклон ЦН-24 призначений для очистки сульфур (IV) оксиду від пилу. Внутрішній діаметр – 200-1800, мм; кут нахилу кришки і вхідного патрубку – 24°; висота вхідного патрубку – 1,11 м; висота вихлопної труби з фланцем – 2,11 м; висота циліндричної частини корпусу – 2,11 м; висота конуса циклона – 1,75 м; загальна висота – 4,26 м; ступінь очистки – 80-90%	1
поз. 5	Сухий електрофільтр	Електрофільтр ОГ-4 призначений для тонкої очистки сульфур (IV) оксиду від пилу. Кінцева запиленість газу – 0,05-0,1 г/м <sup>3</sup> ; температура газів – 275-425°C; швидкість газів – 0,5-0,6 м/с; гідравлічний опір – 0,6 кПа; витрата електроенергії на очистку 1000 м <sup>3</sup> /годину – 1,2 кВт · годину; ступінь очистки – 99,5-99,9%	1

## 7 КОНТРОЛЬ РОБОТИ, НОРМИ ТА ПРАВИЛА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

### 7.1 Норми та правила обслуговування печі киплячого шару

До введення в експлуатацію піч повинна бути ретельно просушена, щоб уникнути розтріскування й руйнування футеровки. Попередньо піч очищають від опалубки, лісів, будівельного сміття, перед сушкою повністю закривають грибки сталевими листами. В бункер тарілчастого живильника завантажують огарок або пісок на висоту не менше 300 мм. Сушку ведуть, використовуючи в якості палива сухі колоті дрова (або газ). Після досягнення температури 150°C подальший обігрів печі можна здійснювати продуктами горіння мазуту або газу. Загальна тривалість сушки в середньому 10-12 діб.

Продукти горіння й пари води видаляються, минаючи котел, через тимчасову витяжну трубу, змонтовану на люку газоходу від печі до котла. Під час сушки через охолоджуючі елементи повинна циркулювати вода. Одночасно з сушкою печі ведуть сушку та підготовку до пуску котла-утилізатора.

До пуску печі виконують такі підготовчі роботи:

1. Очищають від сторонніх домішок: камеру горіння, газоходи, спускні пристрої, повітропідвідний конус, перевіряють чистоту всіх отворів грибків.
2. Проводять холодні гідродинамічні випробування печі. Перевіряють правильність подачі та розподілу повітря по зонах дуттьової решітки (в провальну й безпровальну частини форкамери, на основну безпровальну подину печі). Питома витрата повітря в форкамеру повинна знаходитися в межах 1500-1800 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> · годину. Особлива увага при холодних випробуваннях печі звертається на те, щоб продування повітря не

відбувалося через подину; заміряють гідравлічний опір решітки.

3. Піч і весь пічний агрегат перевіряють на герметичність при відповідному послідовному перекритті замикаючих пристроїв. Піч, котел і циклони випробовують на герметичність при напорі повітря не менше 500 мм вод. ст., електрофільтр при напорі не менше 200 мм вод. ст.
4. Перевіряють справність всіх механізмів і обладнання пічного агрегату (обладнання обкатують протягом декількох діб до пуску печі), стан охолоджувальних елементів і всієї системи утилізації тепла (відповідно до спеціальної інструкції з випробувань котельних установок), оснащення та справність усіх контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.
5. Піч на висоту 1000-1100 мм завантажують сухим огарком, просіяним через сито з отворами 2 мм, і вирівнюють шар огарка. Для полегшення пуску печі бажано, щоб огарок містив 5-6% мас. сульфуру, для чого в нього можна додати відповідну кількість колчедану (огарок можна замінити піском).
6. Проводять перевірку стану киплячого шару. При цьому клапан на вході в колектор чистого газу закривають і відкривають вихлопний шибер для виходу газу в атмосферу (після пускового димососа). Включають димосос і дуттьовий вентилятор і подають в піч протягом 10-15 хв. номінальну кількість повітря. Після припинення подачі повітря (для чого вимикають вентилятор і димосос), спостерігають, як лежить шар. Він повинен бути рівним з невеликим поглибленням в форкамері внаслідок більшої питомої витрати повітря в ній. Нерівність шару вказує на нерівномірний розподіл повітря, подача якого в цьому випадку повинна бути перерозподілена за допомогою відповідних засувок. Якщо ж після цього висота шару помітно знизиться (за рахунок віддувки дрібної фракції), в піч довантажують огарок до колишньої висоти шару 1000-110 мм.

Після закінчення всіх підготовчих робіт приступають до розігріву печі, котла та електрофільтру, використовуючи в якості палива природний газ. Перед розігрівом печі включають всі механізми для видалення огарка й циркуляційні насоси.

Для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов роботи стадії одержання сульфур (IV) оксиду рекомендується наступний порядок розігріву пічного агрегату і пуску печі:

1. Приступають до розпалювання газових пальників, установлених в печі та в спеціальній топці для розігріву електрофільтрів, і проводять розігрів кладки печі, котла і електрофільтру продуктами горіння палива.
2. Одночасно з розпалом включають електрообігрів кварцових труб електрофільтру. Після досягнення в перших двох полях електрофільтру температури 300-270°C включають напругу.
3. Після включення електрофільтра починають розігрів огарка з відведенням димових газів з працюючого електрофільтру в атмосферу. При такому способі розігріву виключається забруднення атмосфери частинками огарка. Витрата повітря при розігріві шару огарка становить 60-70% номінального та збільшується в міру підвищення температури киплячого шару та номіналу.
4. Для поповнення шару, що необхідно внаслідок часткового видування огіркового пилу під час розігріву, в піч подають огарок із живильника або спеціально встановленої тічки через один з люків печі.
5. Після досягнення температури киплячого шару 500-550°C починають подачу колчедану та вимикають пальники. Колчедан подають невеликими порціями, включаючи живильник на 10 с, одночасно спостерігаючи за температурою. Якщо температура після включення подачі колчедану продовжує підвищуватися, то, дочекавшись припинення підйому температури, починають живлення печі зменшеною кількістю колчедану. Якщо ж температура в шарі після припинення подачі колчедану відразу знижується (ця відбувається при недостатньому живленні печі), необхідно збільшити кількість завантаженого в піч колчедану. Через регулярні інтервали (1-2 хв.) необхідно припинити подачу колчедану та спостерігати за температурою шару.

Якщо при припиненні подачі колчедану температура шару не підвищується, отже, в піч подається необхідна кількість колчедану і при

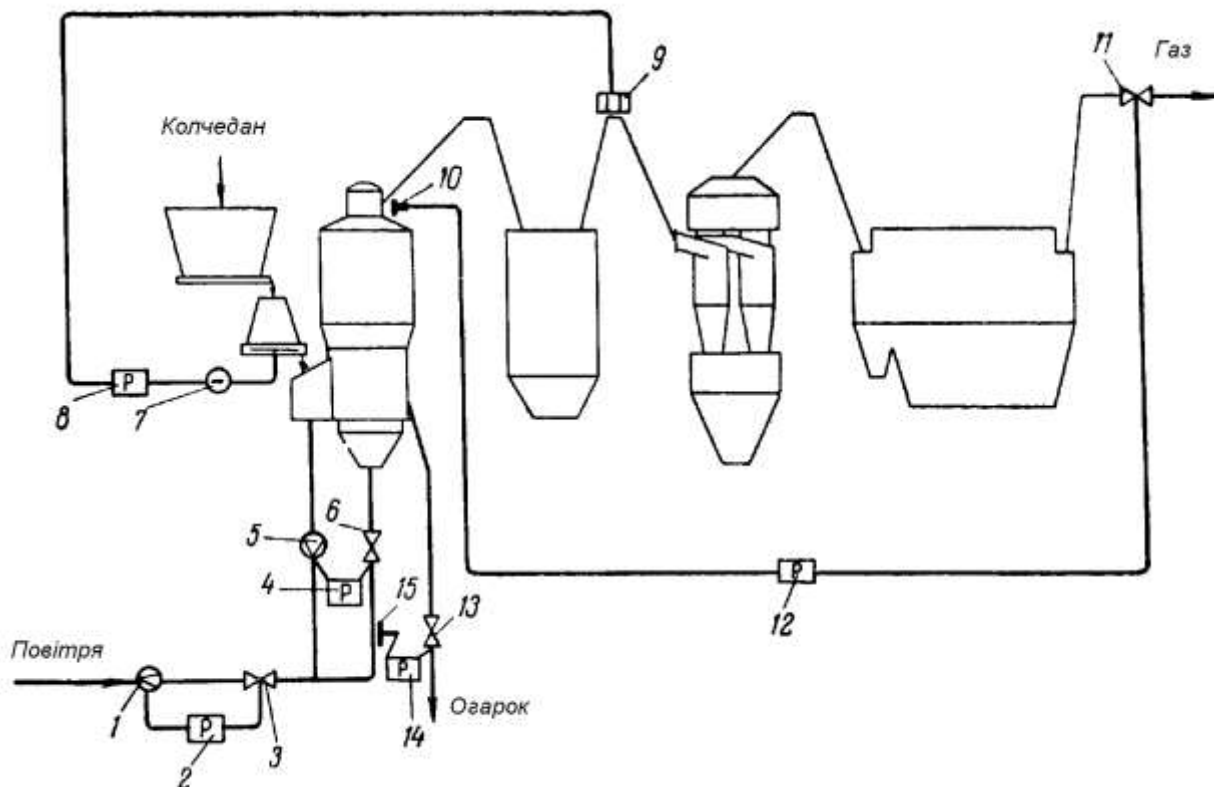
подальшій її роботі може бути досягнута нормальна температура шару (750-800°C). Якщо його температура протягом 10 хв. залишається незмінною, то можна переходити на подачу випалювального газу на стадію одержання триоксиду сульфуру.

У тих випадках, коли після припинення подачі колчедану в піч температура шару продовжує підвищуватися й перевищить 770°C, швидко припиняють подачу повітря в піч і чекають, коли шар охолоне до 730°C за рахунок відведення тепла холодильними елементами. Потім подають в піч повітря (не подаючи колчедану) і спостерігають за температурою. При зниженні температури включають живильник на меншу подачу колчедану та знову спостерігають за температурою. Ці операції повторюють до тих пір, поки не встановиться нормальний температурний режим в печі.

Пуск котлів-утилізаторів проводиться спеціалізованими організаціями, дозвіл на пуск дають місцеві органи Держтехнагляду після проведення випробувань і огляду котла [9].

## **7.2 Схема автоматизації печі з киплячим шаром**

На рис. 7.1 зображена схема автоматизації роботи печі з киплячим шаром для випалу сірчаного колчедану. Постійним об'єм випалювального газу, що виходить з печі, і постійна концентрація в ньому сульфур (IV) оксиду підтримуються автоматично. Сталість об'єму випалювального газу забезпечується подачею в піч заданої кількості повітря. Імпульс від діафрагми (поз. 1), яка вимірює загальну кількість повітря, що надходить в піч, через регулятор (поз. 2) впливає на дросельний клапан (поз. 3). Імпульс від діафрагми (поз. 5), яка вимірює кількість повітря, що надходить в форкамеру, через регулятор (поз. 4) впливає на дросельний клапан (поз. 6). Постійна концентрація SO<sub>2</sub> в газі, що виходить з печі, досягається завдяки тому, що газоаналізатор (поз. 9), який має газозабірний пристрій після котла-утилізатора, впливає через регулятор (поз. 8) на електродвигун (поз. 7) постійного струму, який відповідно змінює число обертів тарілки живильника, який подає колчедан в піч.



1, 5 – діафрагми; 2 – регулятор загальної витрати повітря; 3, 6, 11 – регулюючі дросельні вентиля; 4 – регулятор витрати повітря в форкамеру; 7 – електродвигун постійного струму; 8 – регулятор числа оборотів тарілки живильника; 9 – газоаналізатор; 10, 15 – газозабірні пристрої; 12 – регулятор тиску; 13 – подвійний секторний затвор; 14 – регулятор опору шару  
Рисунок 7.1 – Схема автоматизації печі киплячого шару для випалу колчедану

Розрідження в верхній частині печі підтримується постійним. Шляхом передачі імпульсу тиску від вимірювача (поз. 10) через регулятор (поз. 12) дросельного вентиля (поз. 11), встановленим після електрофільтру. Постійна величина опору киплячого шару підтримується за допомогою передачі імпульсу тиску від вимірювачі (поз. 15) через регулятор (поз. 14) подвійному секторному затвору (поз. 13). Миттєві відхилення концентрації  $\text{SO}_2$  становлять 0,5-0,7% об. від його номінальної концентрації 12% об..

Через високу температуру газів, що виходять з печі, газозабірний пристрій газоаналізатора встановлюється на газовому тракті після котла-утилізатора, де температура газів не перевищує  $45^\circ\text{C}$ , а концентрація  $\text{SO}_2$  на 1-1,5% об. нижче за рахунок підсосу повітря в котел.

Велика запиленість випалювального газу створює значні труднощі при експлуатації газоаналізатора, газозабірний пристрій якого часто забивається огарковим пилом. Проте досвід експлуатації печей КШ показав, що при



профілактичному очищення газозабірною пристроєм (не рідше одного разу на 2-3 доби) газоаналізатор працює досить надійно.

При регулюванні подачі колчедану за концентрацією  $\text{SO}_2$  газу датчиком системи регулювання є газоаналізатор. Його інерційність обмежує швидкість дії системи регулювання. Тому поряд з регулюванням подачі колчедану за концентрацією  $\text{SO}_2$  застосовують також каскадне регулювання подачі колчедану за температурою киплячого шару з корекцією за концентрацією сірчистого ангідриду [10].

## **8 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Охорона навколишнього середовища на хімічному підприємстві характеризується комплексом вжитих заходів, які спрямовані на попередження негативного впливу людської діяльності підприємства на навколишню природу, що забезпечує сприятливі та безпечні умови людської життєдіяльності. Враховуючи стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, перед людством постала складна задача – охорона найважливіших складових навколишнього середовища (земля, вода, повітря), схильних сильному забрудненню техногенними відходами і викидами, що призводить до окислення ґрунту і води, руйнування озонового шару землі та кліматичним змінам. Промислова політика всього світу привела до таких незворотних і суттєвих змін в навколишньому середовищі, що це питання (охорона навколишнього середовища на підприємстві) стало загальносвітовою проблемою і примусило державні апарати розробити довгострокову екологічну політику зі створення внутрішньодержавного контролю за ПДВ.

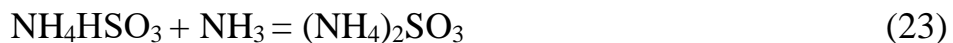
Основними умовами для поліпшення екології в країні є: раціональне використання, охорона і витрата запасів природного резерву, забезпечення безпеки екології та протирадіаційні заходи, підвищення і формування екологічного мислення у населення, а також контроль над екологією в промисловості [11].

Досконалість технології виробництва будь-якого продукту оцінюється кількістю одержуваних відходів і ступенем їх утилізації.

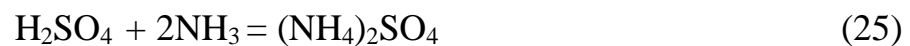
Відхідні гази виробництва сульфатної кислоти контактним способом із сірчаного колчедану містять  $\text{SO}_2$  і  $\text{SO}_3$ , туман, бризки та пари сульфатної кислоти. Для виділення із відхідних газів сульфур (IV) оксиду використовуються

наступні способи абсорбції.

1. Аміачний – з отриманням сульфїт-бісульфїтного розчину амонїю, який далі використовується в якості товарного продукту або розкладається кислотою з утворенням висококонцентрованого SO<sub>2</sub> і відповідного добрива, або ж регенерується з одержанням висококонцентрованого сульфур (IV) оксиду. Висококонцентрований SO<sub>2</sub> повертається в контактну систему або перероблюється в товарний рідкий сульфур (IV) оксид. Основою аміачного способу очищення є процес поглинання сульфур (IV) оксиду з газів розчином сульфїт-бісульфїту амонїю. Процес абсорбції SO<sub>2</sub> розчином сульфїт-бісульфїту амонїю можна виразити наступним рівнянням:



Сульфатнокислотний туман, SO<sub>3</sub> і бризки сульфатної кислоти, які присутні в вихлопних газах, частково взаємодіють в абсорбері з поглинальним розчином, утворюючи амонїю сульфат:



Частки туману H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, що не вловлюються, а також туман амонїйних солей і бризів поглинаючого розчину остаточно уловлюються в електрофільтрі.

2. Содовий спосіб очищення вихлопних газів від сульфур (IV) оксиду заснований на активному поглинанні SO<sub>2</sub> розчином кальцинованої соди. При цьому протікають реакції



3. Кислотно-каталітичний (окиснення SO<sub>2</sub> в розчині сульфатної кислоти в присутності іонів мангану) – з одержанням слабкої сульфатної кислоти, використовуваної для виробництва добрив.

Для очищення вихлопних газів від туману сульфатної кислоти використовуються електрофільтри, скрубери Вентурі, фільтри з кераміки.

При нормальній роботі сульфатнокислотного цеху вода з холодильників для кислот не містить шкідливих домішок. Вона вважається умовно чистою та може скидатися у водойми. Але у випадках витoku кислоти з холодильників і їх ремонті вода стає кислою, тому скидати її у водойми не можна. Найбільш раціональний спосіб очищення кислих стоків полягає в організації системи водообороту зі станцією нейтралізації в циклі. При цьому вода від усіх холодильників надходить до прийомних баків, звідкіля насосами подається до градирні для охолодження, потім збирається в збірники і насосами передається на холодильники. При виявленні кислотності води автоматично включається станція нейтралізації, і у воду додаються нейтралізуючі добавки (крейда, вапно, вапняне молоко) [2].

Виробництво сульфатної кислоти з сірчаного колчедану має тверді відходи: огарки, пил циклонів і сухих електрофільтрів, шлами промивних башт, шлами мокрих електрофільтрів. Головним чином огарки використовують в цементній промисловості в якості мінералізуючої добавки до портландцементної шихти. Значним споживачем огарків є сільське господарство, де вони використовуються в якості добрива, що містять мідь. Огарки знаходять застосування в кольоровій металургії – в якості залізовмісних флюсів, у промисловості будівельних матеріалів – в якості залізистого барвника для одержання інсектицидів. Невеликі кількості огарку та пилу сухих електрофільтрів використовують для одержання мінеральних пігментів: залізного сурику, мумії, вохри.

Колчедани, що використовуються для виробництва сульфатної кислоти, містять селен (0,002-0,02% мас.). Оскільки селен зустрічається в природі в дуже невеликих концентраціях у вигляді сполук, супутніх сірчистим металам (Fe, Cu, Zn), то відходи переробки колчедану в сульфатнокислотному виробництві є одним з основних джерел одержання селену. Основна його частина виділяється зі шламами в промивних баштах і мокрих електрофільтрах системи очищення випалювальних газів [12].

## **9 ОХОРОНА ПРАЦІ**

Закон України «Про охорону праці» є основоположним документом в галузі охорони праці, що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних державних органів відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Інші нормативні акти мають відповідати не тільки Конституції та іншим законам України, але, насамперед, цьому Закону.

Організація охорони праці на підприємстві покладається на роботодавця. Останній зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [16].

### **9.1 Шкідливі виробничі фактори на проектованому виробництві**

В сульфатнокислотному виробництві можливі випадки отруєння сульфур (IV) оксидом і сульфур (VI) оксидом, туманоподібною сульфатною кислотою, при вдиханні пилу колчеданного та огаркового, хімічні опіки при контакті з сульфатною кислотою та олеумом, термічні опіки при контакті з гарячими поверхнями апаратури та комунікацій; не виключена також небезпека ураження електричним струмом.

**9.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечних речовин, що застосовуються та виділяються в проєктованому виробництві**

Таблиця 9.1 – Основні фізико-хімічні властивості речовин

Назва речовини		Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С
Раціональна номенклатура	Систематична номенклатура					
Дисульфід феруму	Дисульфід заліза	FeS <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \text{S} - \text{S} \\ \diagdown \quad / \\ \text{Fe} \end{array}$	тверда речовина	1177-1188	–
Сульфур (IV) оксид	Діоксид сірки	SO <sub>2</sub>	O = S = O	газ	– 75,5	– 10,01
Сульфур (VI) оксид	Триоксид сірки	SO <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \text{O} = \text{S} = \text{O} \\    \\ \text{O} \end{array}$	газ	16,83	44,9
Сульфатна кислота	Сірчана кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{O}-\text{S}-\text{O}-\text{H} \\    \\ \text{O} \end{array}$	рідина	10,38	337

Таблиця 9.2 – Характеристики застосовуваних і одержаних речовин

Речовина	Клас шкідливості	Характер дії на організм людини	Граничнодопустима концентрація				Засоби індивідуального захисту
			у повітрі, мг/м <sup>3</sup>			у воді, мг/л	
			робочої зони	населеного пункту			
				C <sub>мр</sub> *	C <sub>сд</sub> **		
1	2	3	4	5	6	7	8
Дисульфід феруму	4	Пил потрапляючи через органи дихання може викликати фіброз легеневої тканини	4	–	–	–	Респіратор «Пелюстка-200»
Сульфур (IV) оксид	2	В легких випадках: викликає подразнення верхніх дихальних шляхів і очей, сльозотечу, чхання, першіння в горлі, кашель.	10	0,5	0,05	–	Протигаз марки «В» або «БКФ»

Продовження табл. 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Сульфур (VI) оксид	2	При поразці середньої важкості: загальна слабкість, сухий кашель, біль у носі і горлі, нудота, болі в надчеревній ділянці, носові кровотечі. У важких випадках: гостра задуха, болісний кашель, набряк легенів, смерть.	1	0,3	0,1	–	Протигаз марки «БКФ»
Сульфатна кислота	2	При вдиханні: подразнення верхніх дихальних шляхів, ускладнене дихання, набряк легенів. При потраплянні на шкіру: викликає важкі хімічні опіки. При потраплянні в очі: викликає хімічні опіки, сліпота	1	0,3	0,1	100	Костюм для захисту від кислоти з бавовняної тканини, що просочена кислото-відштовхуючою пропиткою Кк, шолом, фартук вініловий кислото-лугостійкий, гумові чоботи К50Щ50, рукавички з полівінілхлориду КкЩ50, захисні окуляри з органічного скла

## 9.2 Засоби запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

### 9.2.1 Вентиляція

Для запобігання накопиченню в приміщеннях газів у вибухонебезпечних концентраціях або в концентраціях, що перевищують санітарні норми, в нормальних умовах експлуатації передбачена безперервнодіюча примусова припливна і природна витяжна вентиляція.

Вимоги до вентиляції, а також опалення виробничих будівель визначаються «Санітарними нормами проектування промислових підприємств».

Вентиляційні системи можуть бути загально-обмінними, локальними (місцевими) і комбінованими. При загально-обмінній вентиляції зміна повітря відбувається у всьому об'ємі приміщення. Призначенням локальної вентиляції є локалізація шкідливих виділень у місцях їхнього утворення і видалення їх із приміщення. При комбінованій системі одночасно з загальним повітрообміном локалізуються також і окремі найбільш інтенсивні джерела виділень.

В виробничих приміщеннях передбачається змішана (природна і механічна) вентиляція. Природна вентиляція здійснюється через віконні отвори. Природний неорганізований повітрообмін у приміщення обумовлений дією двох факторів: теплового тиску і вітрового тиску.

Для сповіщення про порушення в роботі припливних вентиляційних агрегатів передбачена світлова і звукова сигналізація з винесенням на щит в ЦПУ. Передбачена також подача повітря до щитів у компресорів і в ЦПУ, у яких найбільш тривалий час знаходиться персонал.

Вентиляційні камери, майданчики і інші місця та установки вентиляційного обладнання повинні бути забезпечені електричним освітленням. Майданчики для обслуговування вентиляційних систем, стаціонарні сходи і отвори в перекриттях повинні бути обмежені поручнями висотою не меншого 1 метра. Вентиляційні камери повинні бути обладнані засобами пожежогасіння.

Згідно до норм в виробничих приміщеннях з об'ємом на одного працюючого менше за  $20 \text{ м}^3$  подача зовнішнього повітря на кожного працюючого повинна складати не менше за  $30 \text{ м}^3$  /годину, а з об'ємом на одного працюючого більше  $20 \text{ м}^3$  подача зовнішнього повітря повинна складати не менше  $20 \text{ м}^3$  /годину. В виробничих приміщеннях без вікон подача зовнішнього повітря повинна складати не менш за  $40 \text{ м}^3$ /годину на людину (кратність повітрообміну не менш за 3-5).



У цеху виробництва сульфатної кислоти, як і в більшості інших виробництв є можливість виникнення аварійної ситуації, в результаті якій найчастіше відбувається викид шкідливих і небезпечних речовин. Тому слід передбачати організацію аварійної витяжної вентиляції, яка спрацює при підвищенні концентрації шкідливих речовин [13].

### **9.2.2 Засоби боротьби з пилом**

На стадіях дн можливо пилевиділення встановлені газопиловловлюючі установки (ГПУУ) – ротоклон, рукавні фільтри, що очищають повітря, що відходить від технологічних апаратів, від пилу. Повністю позбавитися пилу неможливо, тому на даному виробництві всі співробітники застосовують засоби індивідуального захисту. Протигази з фільтруючою коробкою марки «А» або «М», герметичні захисні окуляри, захист шкіри. При високих концентраціях газу або пари - ізолюючі або шлангові протигази [5].

### **9.2.3 Освітлення приміщень**

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути трьох видів:

1. Природне – це пряме або відбите світло сонця (небосхилу), що освітлює приміщення через світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях.
2. Штучне – здійснюється штучними джерелами світла (лампами розжарювання або газорозрядними) і призначене для освітлення приміщень у темні години доби, або таких приміщень, які не мають природного освітлення.
3. Сполучене (суміщене) – одночасне поєднання природного і штучного освітлення.

Виробничі приміщення хімічних виробництв за зоровими умовами роботи здебільшого відносяться до IV (роботи малої точності) і V (грубі роботи) розрядів. Цехи з крупним і нескладним устаткуванням в основному відносять до V розряду (грубі роботи).

Приміщення для контрольно-вимірювальних приладів, лабораторій, проектних бюро відносяться до III (точні роботи) і II (роботи з високою точністю) розрядів.

Штучне освітлення може бути загальним і комбінованим. Застосування одного місцевого освітлення неприпустимо.

Для штучного освітлення використовують: лампи накаливання, йодні лампи, люмінесцентні лампи.

Аварійне освітлення призначене для забезпечення освітленості виробничого приміщення при відключенні робочого освітлення.

Норми на проектування штучного освітлення знову споруджуваних і реконструйованих будинків і споруджень промислових підприємств із використанням газорозрядних ламп і ламп накаливання визначаються «Будівельними нормами і правилами».

В виробничому приміщенні яке відноситься до V розряду (грубі роботи), використані світильники типу ВЗГ 200 [14].

Виконаємо розрахунок природного та штучного освітлення приміщення центрального пульта керування (ЦПК).

Розміри приміщення ЦПК: довжина – 7 м, ширина – 6 м, висота – 4 м.

### **9.2.3.1 Розрахунок природного освітлення**

Розрахунок природного освітлення зводиться до визначення кількості віконних отворів.

Сумарна площа віконних отворів приблизно розраховується, як добуток площі приміщення на світловий коефіцієнт приміщення та визначається за формулою [15]:

$$S_{\text{вік}} = \left( \frac{1}{5} \div \frac{1}{6} \right) \cdot S_i, \quad (29)$$

- де  $S_{\text{вік}}$  – загальна площа віконних отворів,  $\text{м}^2$ ;  
 $S_{\text{п}}$  – площа виробничого приміщення,  $\text{м}^2$ ;  
 $1/6 \div 1/5$  – світловий коефіцієнт для приміщень хімічних виробництв.

$$S_{\text{а\text{в}е}} = \frac{42}{5} = 8,4 \text{ м}^2.$$

Приймається бічне однобічне освітлення через два віконні отвори розміром  $1,76 \times 2,37 \text{ м}$ .

### 9.2.3.2 Розрахунок загального штучного освітлення

Для освітлення приміщення центрального пульта керування вибирається світильник типу ОД – відкритий люмінесцентний з лампами денного світла (ЛД).

Кількість рядів світильників у приміщенні визначається за формулою [15]:

$$N_{\delta} = \frac{\hat{A}}{(B - h_{\delta}) \cdot [L/h]}, \quad (30)$$

- де  $B = 6$  – ширина приміщення, м;  
 $H = 4$  – висота приміщення, м;  
 $h_p = 0,8$  – висота робочої поверхні, м;  
 $[L/h] = 1,5$  – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_{\delta} = \frac{6}{(4 - 0,8) \cdot 1,5} \approx 2 \text{ ряди}.$$

Максимально допустима відстань між рядами світильників визначається з виразу формулою [15]:

$$L_{\text{max}} = \frac{\hat{A}}{N_p}, \quad (31)$$

$$L_{\max} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м.}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею визначається за формулою формулою [15]:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]}, \quad (32)$$

$$h = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м.}$$

Висота звисання світильників від стелі визначається за формулою [159]:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (33)$$

$$h_3 = 4 - 0,8 - 2 = 1,2 \text{ м.}$$

Для розрахунку штучного освітлення використовується метод світлового потоку, при цьому кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення, розраховується за формулою [15]:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z}, \quad (34)$$

- де  $E = 400$  – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк;  
 $S = 42$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  
 $F = 3260$  – світловий потік однієї люмінесцентної лампи потужністю 80 Вт, лм;  
 $K = 1,5$  – коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп у приміщеннях з малим виділенням забруднень;  
 $Z = 1$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від конструкції світильника, тип світильника люмінесцентний;  
 $U = 1$  – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який залежить від конструкції світильника, коефіцієнта відбиття стелі і стін, а також показника приміщення  $i$ .

Кількість світильників складає:

$$n = \frac{400 \cdot 42 \cdot 1,5}{3260 \cdot 1 \cdot 1} \approx 8 \text{ шт.}$$

Кожен світильник типу ОД комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 4 світильники з 8 працюючими лампами в них. Схема розташування світильників зображена на рис. 9.1.

Загальна потужність електроосвітлювальної установки визначається за формулою [15]:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1 \div 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \quad (35)$$

де  $n = 8$  – розрахункова кількість ламп, шт;

$W = 80$  – потужність однієї лампи, Вт.

$$N = \frac{8 \cdot 80 + 0,2 \cdot 8 \cdot 80}{1000} = 0,77 \text{ кВт.}$$

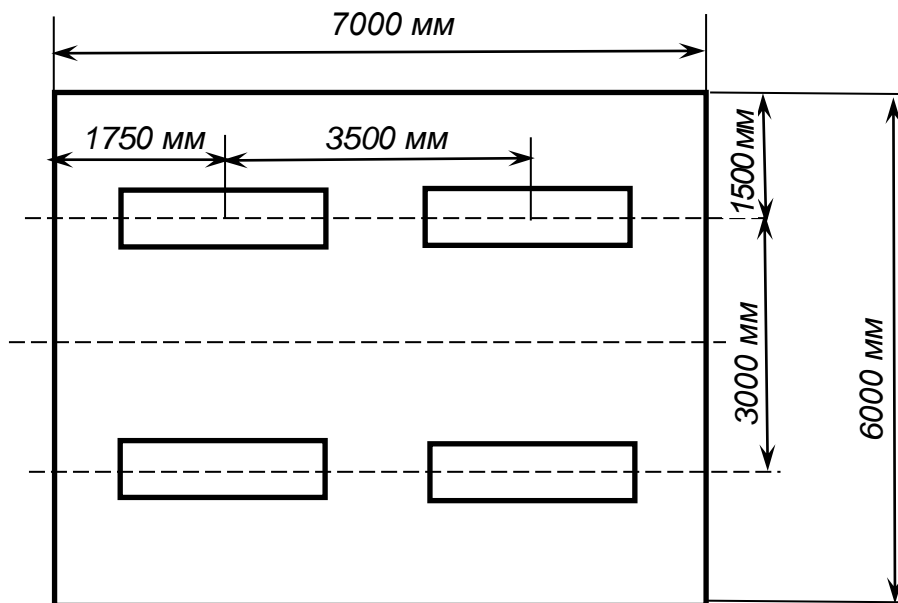


Рисунок 9.1 – Схема розміщення світильників

## 9.2.4 Засоби боротьби з шумом й вібрацією

Джерелами шуму в цеху є: компресори, насоси, вентиляційні системи, різні установки. Ці джерела шуму також є і джерелом вібрації.

Ефективними засобами боротьби з шумом і вібрацією є:

- балансування двигунів і обертових частин машин;
- ізоляція фундаменту;
- застосування демпфуючих матеріалів (азбесту, гуми);
- зниження рівня шуму, за рахунок збільшення діаметрів газовідводів.

Для зниження рівня шуму, який з'являється при переміщенні газів і рідин по трубопроводах, застосовують трубопроводи більшого діаметру для зниження швидкості руху і відповідно шуму.

Також ефективним засобом є індивідуальні засоби захисту. Для боротьби з шумом в цеху застосовуються:

- протишумові навушники;
- протишумові вкладиші марки «Беруші».

Для захисту від вібрації застосовуються віброізоляційне взуття і рукавиці [16].

## 9.2.5 Засоби захисту від статичної електрики

Статична електрика – це електрзаряди, що виникають в результаті тертя діелектрика об діелектрик або провідник і зберігаються тривалий час на поверхні.

Джерелами статичної електрики можуть бути трубопроводи, що транспортують речовину, або рухомі частини механізмів і машин.

Небезпечний прояв статичної електрики – виникнення вогню, нервові розлади організму, корозія матеріалів, псування змащувальних речовин.

До заходів боротьби із статичною електрикою відносяться:

- збільшення вологості повітря вище 75%;

- застосування іонізаторів повітря;
- антистатичні добавки;
- запобігання накопиченню зарядів на обладнанні (шляхом заземлення всіх металевих частин, на яких можуть з'явитися заряди).

Для відведення статичної електрики, яка накопичується на людині, передбачено забезпечення працівників струмопровідним взуттям і одягом з синтетичних матеріалів і шовку. Забороняється носити одяг з синтетичних матеріалів, а так само кільця і металеві прикраси [16].

### **9.2.6 Заходи електробезпеки**

На стадії електроочищення при необережному поводженні з струмопровідними проводами і деталями електричний струм представляє велику небезпеку для людини. Ураження електричним струмом поділяються на теплові (опіки) і механічні (розриви тканин). Електричний удар може викликати загальне ураження всього організму. Слід знати: чим довше людина перебуває під впливом струму, тим сильніше уражається його організм. Вихід ураження залежить від величини і напруги струму, тривалості його впливу, шляхи проходження струму і стану здоров'я людини. Особливо небезпечні ураження струмом для осіб, які страждають хворобами серця і туберкульозом. Ураження струмом високої напруги, яке можливо, наприклад, в електрофільтрах, дуже небезпечно, а іноді смертельно.

Для запобігання уражень електричним струмом кожен працюючий у виробництві сульфатної кислоти повинен суворо дотримуватися правил техніки безпеки, зокрема, не торкатися незахищеними руками до оголених проводів, що знаходяться під струмом, не ремонтувати самостійно електричне освітлення і електродвигуни (ці роботи виконують тільки чергові електромонтери), включати електродвигуни обов'язково в гумових рукавичках. Всі частини електрофільтру і підвищувально-випрямляючої підстанції, які по ходу процесу не повинні бути під напругою, ретельно заземляються.

Ремонт апаратів і догляд за ними повинні здійснюватися тільки після вимкнення струму і ретельної перевірки заземлення апаратів. Категорично заборонено вводити в приміщення електрофільтрів і виконувати там будь-які роботи, поки не вимкнений струм. Всі двері в приміщення, де розташовані апарати і дроти високої напруги (шинний коридор, приміщення розподільного пункту і ізоляторів), повинні бути закриті і забезпечені блокуванням, що забезпечує зняття напруги під час відкривання дверей.

При ураженні електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від дії струму (відключити лінію, якої торкається потерпілий, або від'єднати його від струмопровідних проводів). При цьому треба пам'ятати, що потерпілий знаходиться під дією струму і може бути джерелом ураження струмом для людини, який надає йому допомогу. Останній повинен надіти гумові рукавички і чоботи або в крайньому випадку обернути руки сухою матерією і встати на суху дошку. Після від'єднання від проводу потерпілому необхідно зробити штучне дихання і відразу викликати лікаря.

До заходів електробезпеки відносяться: забезпечення недоступності струмопровідних частин устаткування, які знаходяться під напругою; електричний розділ мережі; усунення небезпеки поразки після появи напруги на корпусах, кожухах і частинах електроустаткування, яка досягається вживанням низьких напруг, використанням подвійної ізоляції, вимірюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням; використання спеціальних електрозахисних пристроїв – переносних приладів і пристроїв; організація безпечної експлуатації електроустановок і інше.

Для усунення переходу напруги на корпус і на неструмопровідні частини електричного і технологічного устаткування після закриття на них одну з фаз застосовують захисне заземлення або занулення [16].

Виконаємо розрахунок заземлення приміщення центрального пульта керування.



Розрахунок заземлюючого контуру здійснюється, виходячи з умови, що загальний опір заземлюючого контуру  $R_{ззп}$  повинен бути меншим за 4 Ом.

Загальний опір захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою [15]:

$$R_{\zeta\zeta i} = \frac{R_{\zeta} \cdot R_{\hat{m}}}{R_{\hat{m}} \cdot n \cdot \eta_{\zeta} + R_{\zeta} \cdot \eta_{\hat{m}}}, \quad (36)$$

де  $R_{\zeta}$  – опір заземлювача, в якості якого використовується металевий стрижень, Ом;

$R_{см}$  – опір металевої смуги, що з'єднує заземлювачі, Ом;

$n$  – кількість заземлювачів;

$\eta_{\zeta} = 0,4$  – коефіцієнт екранування заземлювача;

$\eta_{см} = 0,6$  – коефіцієнт екранування з'єднуючої смуги

Опір заземлювача визначається за формулою [15]:

$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{2\pi \cdot \ell} \left( \ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + \ell}{4 \cdot t - \ell} \right), \quad (37)$$

де  $\rho = 110$  – питомий електричний опір суглинку, Ом·м;

$\ell = 5$  – довжина заземлювача, м;

$d = 0,016$  – діаметр заземлювача, м;

$t = 3,3$  – відстань від середини розташованого в ґрунті заземлювача до рівня землі, м.

Опір смуги, що з'єднує заземлювачі, визначається за формулою [15]:

$$R_{\hat{m}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t'}, \quad (38)$$

де  $L = 26$  – довжина смуги, що з'єднує заземлювачі, м;

$b = 0,03$  – ширина смуги, м;

$t' = 0,5$  – відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні землі, м.

Кількість заземлювачів захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою [15]:

$$n = \frac{\Psi \cdot R_{\zeta}}{4 \cdot \eta_{\zeta}},$$

(39)

де  $\Psi = 2$  – коефіцієнт сезонності, який залежить від кліматичної зони території;

$R_{\zeta}$  – опір заземлювача, Ом;

4 – припустимий загальний опір, Ом;

$\eta_{\zeta} = 0,4$  – коефіцієнт екранування заземлювача.

$$R_{\zeta} = \frac{110}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 23,9 \text{ } \hat{\Omega};$$

$$n = \frac{2 \cdot 23,9}{4 \cdot 0,4} = 30 \text{ } \text{шт};$$

$$R_{\hat{\Omega}} = \frac{110}{2 \cdot 3,14 \cdot 26} \cdot \ln \frac{2 \cdot 26^2}{0,03 \cdot 0,5} = 11,4 \text{ Ом};$$

$$R_{\zeta \hat{\Omega}} = \frac{23,9 \cdot 11,4}{11,4 \cdot 30 \cdot 0,4 + 23,9 \cdot 0,6} = 0,8 \text{ Ом}.$$

Оскільки  $R_{\text{зп}} = 0,8 \leq 4$  Ом, то можна зробити висновок, що захисний заземлюючий пристрій зможе забезпечити електробезпеку центрального пульта керування.

### 9.3 Пожежонебезпека

Для попередження виникнення пожежі на території цеху необхідно постійно утримувати її в чистоті очищати від сміття, відходів виробництва. Протипожежні розриви між будівлями, спорудами, закритими майданчиками для зберігання матеріалів, устаткування не дозволяється захаращувати, використовувати для складання матеріалів, устаткування, стоянок на ділянках території, де можливе скупчення горючих газів або пари, проїзд автомашин і іншого транспорту не допускається. Куріння на території цеху не допускається, куріння в цеху дозволене тільки в спеціально відведених місцях.

Евакуаційні шляхи при виході повинні залишатися вільними і нічим не захаращуватися. При виникненні пожежі забезпечити безпеку всіх людей під час евакуації в будівлях.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі.

Сходові марші і майданчики повинні мати справні обгороджування і поручні, які не повинні зменшувати ширину сходових маршів і майданчиків згідно будівельним нормам.

Сходові клітки, внутрішні, відкриті і зовнішні сходи, коридори, проходи і ін. шляхи евакуації мають бути забезпечені евакуаційним освітленням, світильники евакуаційного освітлення повинні включатися з настанням темноти. Не допускається влаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети; захаращувати шляхи евакуації.

Також частою причиною виникнення пожежі є електроустаткування і електроустановки.

На проєктованому виробництві встановлені засоби пожежогасіння для ліквідації можливих загорянь:

- пожежні крани з рукавами і стовбурами;
- вогнегасники ОПШ-10;

– ящики з піском і азбестовим полотном.

Електродвигуни і освітлювальна арматура застосовуються у вибухобезпечного виконання [17].

## **ВИСНОВКИ**

Відповідно до завдання на дипломний проект було спроектовано виробництво сульфатної кислоти потужністю 100 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (IV) оксиду.

В проекті був обраний спосіб виробництва за системою ПК-ПА (подвійного контактування – подвійної абсорбції), оскільки цей спосіб є найбільш ефективним і економічно доцільним. В якості сировини вибраний сірчаний колчедан, випал якого здійснюється в печі киплячого шару продуктивністю 200 т/годину.

Пояснювальна записка містить характеристики сировини та готової продукції (фізико-хімічні властивості, ГОСТи), фізико-хімічні основи технологічного процесу випалу колчедану в печі киплячого шару, опис технологічної схеми виробництва, розрахунки матеріального та теплового балансів стадії одержання сульфур (IV) оксиду, конструктивний розрахунок печі з киплячим шаром, обране допоміжне обладнання.

Запропонована в проектованому виробництві система автоматизація стадії одержання сульфур (IV) оксиду дозволяє проводити технологічний процес в оптимальному режимі, а також отримувати продукт, що відповідає нормам ГОСТ 2184-77 «Кислота серная техническая. Технические условия».

Оскільки проектоване виробництво має значну кількість відходів і шкідливих газових викидів, то були запропоновані способи їх утилізації.

Велика увага приділена питанню охорони праці в виробництві сульфатної кислоти, виконані розрахунки штучного освітлення та заземлення центрального пульту управління стадії одержання сульфур (IV) оксиду.