

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

150 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (VI) оксиду

Виконав: здобувач вищої освіти групи

ХТ-17з

Горобець Т.В.

(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Керівник **Золотарьова О. В.**

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедру **Суворін О. В.**

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент **Суворін О. В.**

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Севєродонецьк – 2021 р.

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

Горобець Тетяні Василівні

1. Тема проекту:

Виробництво сульфатної кислоти потужністю 150 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (VI) 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 контактного апарату (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 контактного апарату	29.05.2021	
14	Таблиця матеріального балансу	29.05.2021	

Здобувач вищої освіти _____

Т. В. Горобець

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 (VI) оксиду</i>	13
<i>2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції</i>	22
<i>3 Опис технологічної схеми</i>	26
<i>4 Матеріальні і теплові баланси</i>	27
<i>4.1 Матеріальний баланс стадії одержання сульфур (VI) оксиду в п'ятишаровому контактному апараті</i>	28
<i>4.2 Тепловий баланс стадії одержання сульфур (VI) оксиду в п'ятишаровому контактному апараті</i>	35
<i>5 Вибір і розрахунок основного апарату</i>	42
<i>5.1 Опис конструкції та принцип дії п'ятишарового контактного апарату</i>	42
<i>5.2 Конструктивний розрахунок п'ятишарового контактного апарату</i>	42
<i>5.3 Механічний розрахунок контактного апарату</i>	45

6	Вибір допоміжного обладнання	47
7	Контроль роботи, норми та правила обслуговування основного апарату	48
	7.1 Контроль стадії одержання сульфур (VI) оксиду	49
8	Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	52
9	Охорона праці	63
	9.1 Шкідливі виробничі фактори на проектованому виробництві	65
	9.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечних речовин, що застосовуються та виділяються в проектованому виробництві	65
	9.2 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів	68
	9.2.1 Вентиляція	68
	9.2.2 Освітлення виробничих приміщень	68
	9.2.3 Заходи електробезпеки	72
	9.3 Заходи пожежної безпеки	74
	Висновки	77
	Анотація	78
	Список використаної літератури	80

ВСТУП

Висока активність сульфатної кислоти та порівняно невелика вартість виробництва визначили величезні масштаби та надзвичайну розмаїтість її застосування. Важко знайти таку галузь народного господарства, в якій не

споживалася б у тих або інших кількостях сульфатна кислота або вироблені з неї продукти.

Найбільшим споживачем сульфатної кислоти є виробництво мінеральних добрив: суперфосфату, сульфату амонію та ін. Багато кислот (наприклад, фосфорна, оцтова, соляна) і солі одержують в значній частині за допомогою сульфатної кислоти. За допомогою сульфатної кислоти виробляються етиловий і інші спирти, деякі ефіри, синтетичні мийні засоби, ряд отрутохімікатів для боротьби зі шкідниками сільського господарства та бур'янистих трав. Сульфатну кислоту використовують для осушки газів і при концентруванні кислот, а також у процесах нітрування й при виробництві більшої частини вибухових речовин.

Сульфатна кислота широко застосовується в виробництві кольорових і рідких металів. У металообробній промисловості сульфатну кислоту або її солі застосовують для травлення сталевих виробів перед їх фарбуванням, лудінням, нікелюванням, хромуванням і т.д. Значні кількості сульфатної кислоти витрачаються на очищення нафтопродуктів [1].

Одержання ряду барвників (для тканин), лаків і фарб (для будівель і машин), лікарських речовин і деяких пластичних мас також пов'язане із застосуванням сульфатної кислоти. Розбавлені розчини сульфатної кислоти та її солей застосовують у виробництві штучного шовку, у текстильній промисловості для обробки волокна або тканин перед їх фарбуванням, а також в інших галузях легкої промисловості.

У харчовій промисловості сульфатна кислота застосовується при одержанні крохмалю, патоки та ряду інших продуктів. Транспорт використовує свинцеві сульфатнокислотні акумулятори.

Перспективи розвитку виробництва сульфатної пов'язані зі здійсненням технічного переозброєння, оскільки більшість підприємств, що виробляють цей продукт, мають фізично та морально зношену технологічну базу. Отже, питання про модернізацію сульфатнокислотного виробництва є дуже актуальним. Основні напрямки модернізації сульфатнокислотних виробництв:

- переведення систем на більш ефективну сировину зі спрощенням технологічного процесу та зниженням експлуатаційних витрат;
- інтенсифікація сульфатнокислотних систем шляхом збільшення концентрації сульфур (IV) оксиду в системах до 11,5-12,0%об. з використанням більш ефективних каталізаторів в контактних апаратах;
- оптимізація використання тепла випалу сировини та конверсії сульфур (IV) оксиду зі збільшенням вироблення енергетичної пари з наступним її використанням для виробництва власної електроенергії;
- застосування енерго- і матеріалозберігаючих обладнання та апаратів [2].

Метою даного дипломного проекту є проектування виробництва сульфатної кислоти потужністю 150 тис. т/рік з розробкою стадії одержання сульфур (VI) оксиду.

1 СТИСЛИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД З ОБҐРУНТУВАННЯМ МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА

1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва

Виробництво сульфатної кислоти складається з наступних стадій:

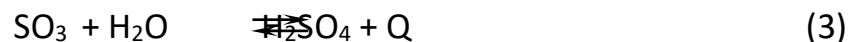
1. Одержання сульфур (IV) оксиду окисненням елементарної сірки або сірковмісної сировини киснем



2. Одержання сульфур (VI) оксиду окисненням сульфур (IV) оксиду киснем

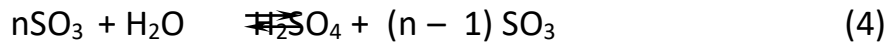


3. Одержання сульфатної кислоти з сульфур (VI) оксиду та води



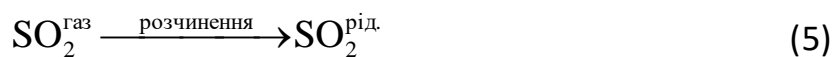
У першій стадії кисень легко приєднується до сірки, утворюючи сульфур (IV) оксид. Окиснення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксиду протікає повільно. Для прискорення реакції окиснення сульфур (IV) оксиду в промисловості застосовують тверді каталізатори або оксиди нітрогену.

У першому випадку сульфур (IV) оксид окислюється киснем повітря на поверхні твердих каталізаторів. Цей спосіб виробництва сульфатної кислоти називається контактним. Контактний спосіб полягає в тому, що сульфур (IV) оксид в газоподібному стані пропускається разом із повітрям через контактну масу (твердий каталізатор), окисляючись при цьому киснем до сульфур (VI) оксиду. В сучасному сульфатнокислотному виробництві в якості каталізатора використовується ванадієвий, який замінив раніш застосовуваний платиновий. Ванадієвий каталізатор (ванадієва контактна маса) більш стійкий по відношенню до отрут, що містяться в випалювальному газі, а крім того, він набагато дешевший платинового. Сульфур (VI) оксид поглинається сульфатною кислотою, розчиняється в ній, а потім поєднується з водою, що міститься в кислоті, за реакцією

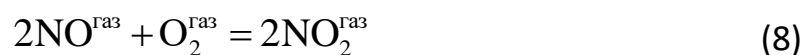


Залежно від кількісного співвідношенні води та сульфур (VI) оксиду утворюється сульфатна кислота різної концентрації. При $n = 1$ утворюється моногідрат сульфатної кислоти (100%-ва кислота), при $n < 1$ – розбавлена сульфатна кислота, при $n > 1$ – олеум [3].

Процес виробництва сульфатної кислоти нітрозним способом полягає в тому, що сульфур (IV) оксид окисляється киснем повітря за допомогою нітроген оксидів, які є передавачем кисню. Окиснення сульфур (IV) оксиду відбувається в нітрозі, що представляє собою розчин нітроген (III) оксиду (N_2O_3) у водному розчині сульфатної кислоти, тому сульфур (IV) оксид попередньо розчиняється в нітрозі. Утворений сульфур (VI) оксид поєднуючись із водою, що міститься в нітрозі, перетворюється в сульфатну кислоту. Цей процес може бути представлений наступним рівняннями:



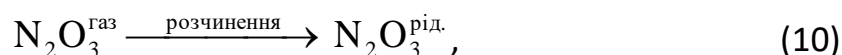
Утворений нітроген (II) оксид NO легко окисляється киснем у газовій фазі до нітроген (IV) оксиду NO_2



Із суміші нітроген (II) оксиду з нітроген (IV) оксиду утворюється нітроген (III) оксид



Газоподібний нітроген (III) оксид поглинається водним розчином сульфатної кислоти з утворенням нітрози



в якій знову сульфур (IV) оксид окисляється в сульфур (VI) оксид. Таким чином нітроген оксиди беруть кількаразову участь у процесі окиснення сульфур (IV) оксиду.

Сульфатну кислоту нітрозним способом одержують у зрошуваних баштах, тому цей спосіб часто називають баштовим [2].

На сьогоднішній день близько 80% всієї одержуваної в світі сульфатної кислоти виробляють контактним способом. Це пояснюється тим, що за контактним способом одержують висококонцентровану сульфатну кислоту та висококонцентрований олеум. Контактний спосіб дозволяє одержувати акумуляторну й хімічно чисту сульфатну кислоту, оскільки перед надходженням у контактний апарат випалювальний газ піддається ретельному очищенню. Контактні установки легше автоматизувати, апаратурне оформлення їх більше просте, ніж баштове. Недоліком контактного способу виробництва сульфатної кислоти є висока витрата сірчаного колчедану на тонну моногідрату, а також більші в порівнянні з баштовим способом капітальні затрати на будівництво контактного цеху.

При виробництві сульфатної кислоти за нітрозним методом одержують кислоту з більш низьким вмістом моногідрату та підвищеним вмістом домішок.

Істотним недоліком баштового способу є також труднощі автоматизації виробництва та викиди оксидів нітрогену в атмосферу, що приводиться до забруднення навколишнього середовища [4].

З огляду на вищевикладене в дипломному проєкті вибирається контактний спосіб одержання сульфатної кислоти.

Сировину для виробництва сульфатної кислоти можна розділити на дві основні групи. До першої відносяться: саморудна сірка та сірчаний (флотаційний та рядовий) колчедан. До другої відносяться відходи різних галузей промисловості: агломераційні, топкові та горючі гази, травильні розчини, відпрацьовані кислоти, гіпс.

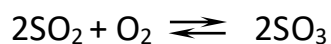
Кращою сировиною для виробництва сульфатної кислоти є сірка, що не містить шкідливих домішок (миш'як, фтор), які є отрутою для ванадієвих каталізаторів в процесі окиснення SO_2 в SO_3 . Однак собівартість сульфатної кислоти, отримуваної випалом сірки, вище, ніж з колчедану. Це пояснюється тим, що при розрахунку витрат на виробництво 1 т сульфатної кислоти вартість сировини при застосуванні сірки складає 80%, а при використанні колчедану 60% від загальних витрат. Отже, вартість сульфатної кислотної, виробленої з колчедану, нижче ніж з сірки [1].

З огляду на вищевикладене в якості сірковмісної сировини вибирається сірчаний колчедан.

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

Реакція окиснення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид, що лежить в основі процесу контактування випалювального газу, представляє собою

гетерогенно-каталітичну, оборотну, екзотермічну реакцію та описується рівнянням:



Тепловий ефект реакції залежить від температури й дорівнює 96,05 кДж при температурі 25°C і близько 93 кДж при температурі контактування. Система «SO₂ – O₂ – SO₃» характеризується станом рівноваги в ній і швидкістю процесу окиснення сульфур (IV) оксиду, від яких залежить сумарний результат процесу.

1. Рівновага в системі. Константа рівноваги реакції окиснення сульфур (IV) оксиду дорівнює:

$$\hat{E}_\delta = \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{SO}_2} \cdot P_{\text{O}_2}}, \quad (11)$$

де P_{SO_3} , P_{SO_2} , P_{O_2} – рівноважні парціальні тиски SO₃, SO₂ і O₂ відповідно.

Ступінь перетворення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид або ступінь контактування, що досягається на каталізаторі, залежить від активності каталізатора, температури, тиску, складу газу та часу контактування й описується рівнянням:

$$\tilde{O}_\delta = \frac{P_{\text{SO}_3}}{P_{\text{SO}_2} + P_{\text{SO}_3}} \quad (12)$$

З рівнянь (11) і (12) випливає, що рівноважний ступінь перетворення сульфур (IV) оксиду пов'язаний з константою рівноваги реакції окиснення:

$$\tilde{O}_\delta = \frac{1}{\hat{E}_\delta + \frac{1}{\sqrt{\delta_{i_2}}}} \quad (13)$$

Залежність X_p від температури, тиску та вмісту сульфур (IV) оксиду в випалювальному газі представлена в табл. 1.1 і на рис. 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність X_p від температури, тиску та вмісту сульфур (IV) оксиду в випалювальному газі

Температура, °C			Тиск, МПа			Вміст SO ₂ , об. частка		
1000	700	400	0,1	1,0	10	0,02	0,07	0,10
0,050	0,436	0,992	0,992	0,997	0,999	0,971	0,958	0,923

З рівняння (3) і табл. 1.1 випливає, що зі зниженням температури та підвищенням тиску газу SO₂ рівноважний ступінь перетворення X_p зростає, що узгоджується з принципом Ле-Шательє. У той же час, при постійній температурі та тиску рівноважний ступінь перетворення тим більше, чим менше вміст сульфур (IV) оксиду в газі, тобто чим менше співвідношення SO₂ : O₂. Це співвідношення залежить від виду сірковмісної сировини та надлишку повітря. На цій залежності заснована операція коригування складу пічного газу, тобто розбавлення його повітрям для зниження вмісту сульфур (IV) оксиду.

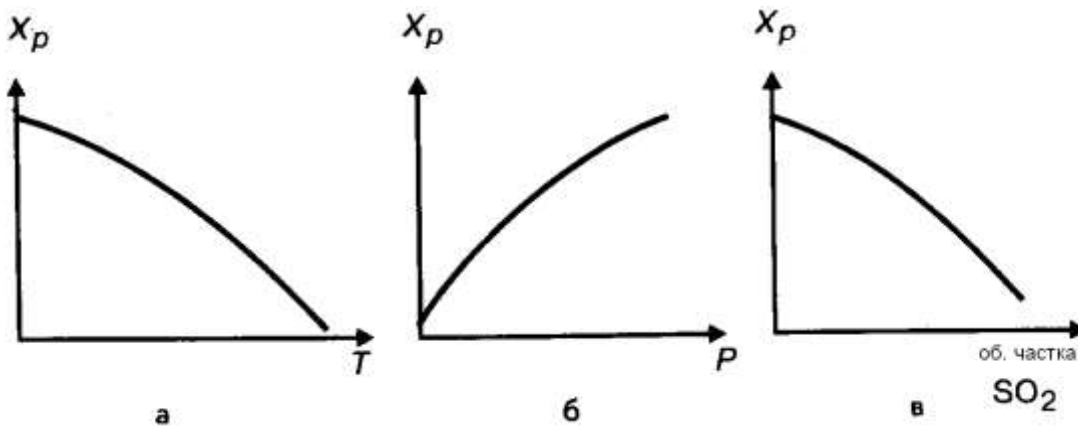


Рисунок 1.1 – Залежність рівноважного ступеня перетворення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид від температури (а), тиску (б) та вмісту SO_2 в газі (в)

Ступінь окиснення сульфур (IV) оксиду зростає зі збільшенням часу контактування, наближаючись до рівноваги по затухаючій кривій (рис. 1.2). Отже, час контактування має бути таким, щоб забезпечувати досягнення рівноваги в системі. З рис. 1.2 випливає, що чим вище температура, тим швидше досягається рівновага ($\tau_1 < \tau_2$), але тим менше рівноважний ступінь перетворення ($X_1 < X_2$ при $T_1 > T_2$). Таким чином, вихід сульфур (VI) оксиду залежить як від температури, так і від часу контактування. При цьому, для кожного часу контактування залежність виходу від температури виражається відповідною кривою, що має максимум. Очевидно, що лінія АА, яка огинає ці максимуми (рис. 1.3), представляє криву оптимальних температур для різного часу контактування, близьку до рівноважної і кривої.

2. Швидкість окиснення сульфур (IV) оксиду. Від швидкості окиснення залежить кількість сульфур (IV) оксиду, що окислюється в одиницю часу, і, отже, об'єм контактної маси, розміри реактора та інші характеристики процесу. Організація цієї стадії виробництва повинна забезпечити максимально високу

швидкість окиснення при максимальному ступені контактування, що досягається в даних умовах.

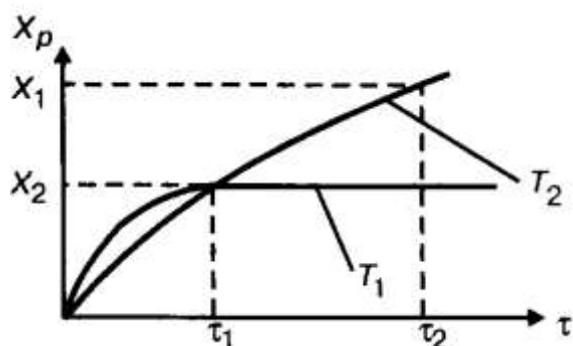


Рисунок 1.2 – Залежність X_p від часу контактування

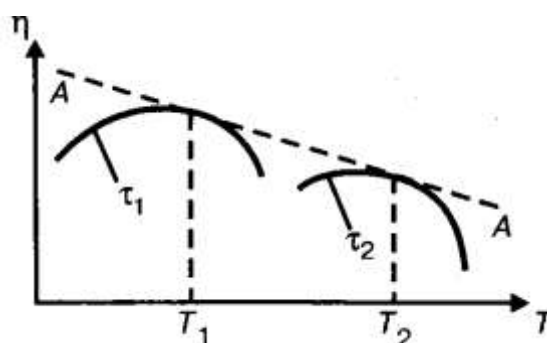


Рисунок 1.3 – Залежність виходу сульфур (VI) оксиду від температури при різному часі контактування

Енергія активації реакції окиснення сульфур (IV) оксиду киснем в сульфур (VI) оксид досить велика. Тому, за відсутності каталізатора реакція окиснення навіть при високій температурі практично не йде. Застосування каталізатора дозволяє знизити енергію активації реакції та збільшити швидкість окиснення відповідно до залежності для константи швидкості:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (14)$$

де k_0 – постійна величина;

E – енергія активації, Дж / моль;

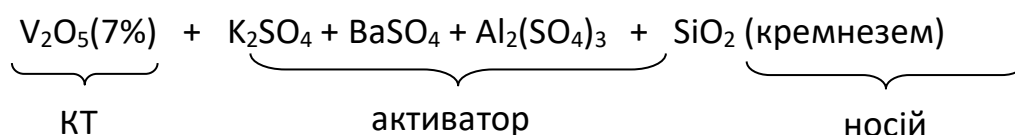
$R = 8,31$ – універсальна газова постійна, Дж / моль · °K;

T – температура, K.

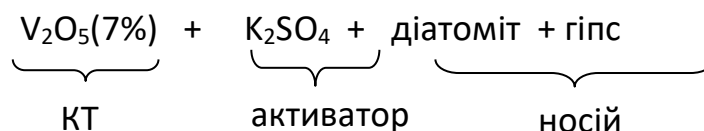
Якщо без каталізатора реакція окиснення SO_2 в SO_3 протікає як реакція 3-го порядку з енергією активації більше 280 кДж/моль, то в присутності ванадієвого каталізатора її порядок знижується до 1,8, а енергія активації становить 92 кДж /моль.

У виробництві сульфатної кислоти в якості каталізатора застосовуються контактні маси на основі оксиду ванадію (V) марок БАВ і СВД, названі так за початковими літерами елементів, що входять до їх складу:

БАВ (барій, алюміній, ванадій) складу:



СВД (сульфо-ванадат-діатомовий) складу:



Передбачається, що процес окиснення сульфур (IV) оксиду на цих каталізаторах відбувається через стадію дифузії реагентів до поверхні каталізатора, на якій утворено комплекс оксиду ванадію (V) з активатаром, сорбції реагентів на каталізаторі з подальшою десорбцією продукту реакції (оксиду сірки (VI)):

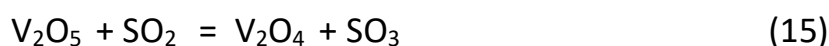
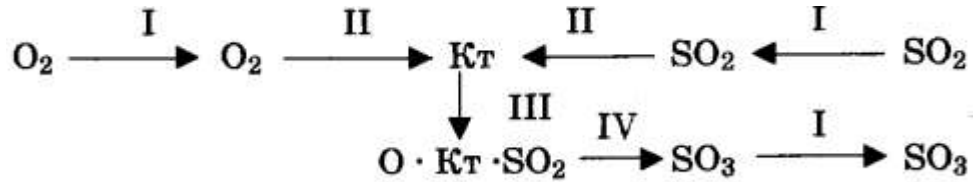


Схема дії ванадієвого каталізатора представлена на рис. 1.4.



I – дифузія, II – сорбція, III – утворення комплексу, IV – десорбція

Рисунок 1.4 – Схема дії каталізатора

Процес каталізу складається з декількох послідовно протікаючих елементарних актів: дифузія молекул нітрогену, кисню та сульфур (IV) оксиду до каталізатора (I), хемосорбції молекул реагентів на поверхні каталізатора (II), хімічної взаємодії кисню та сульфур (IV) оксиду на поверхні каталізатора з переносом електронів від молекул сульфур (IV) оксиду до молекул кисню та утворенням нестійких комплексів (III), десорбції утворених молекул сульфур (VI) оксиду й дифузії їх з пір і з поверхні каталізатора в газову фазу.

Температура запалювання контактних ванадієвих мас становить 380-420°C і залежить від складу газу SO₂, підвищуючись зі зменшенням вмісту в ньому O₂. Контактні маси повинні знаходитися в такому стані, щоб були забезпечені мінімальний гідравлічний опір потоку газу і можливість дифузії компонентів через шар каталізатора. Для цього контактні маси для реакторів з нерухомим шаром каталізатора формуються в вигляді гранул, таблеток або кілець, середнім діаметром окало 5 мм, а для реакторів киплячого шару у вигляді кульок діаметром близько 1 мм.

Для опису швидкості окиснення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид на ванадієвому каталізаторі при нерухомому шарі каталізатора запропоновані

різні кінетичні рівняння. до них відносяться, наприклад, рівняння (17), що зв'язує швидкість реакції зі ступенем перетворення сульфур (IV) оксиду, константою швидкості реакції, константою рівноваги та тиском газу:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{kP}{a} \cdot \frac{1-X}{1-0,2X} \left[\beta - \frac{X^2}{P \cdot K_p^2(1-X)} \right], \quad (17)$$

$$\beta = \frac{b - aX/2}{1 - aX/2}, \quad (18)$$

де X – рівноважний ступінь перетворення сульфур (IV) оксиду;

k – константа швидкості реакції окиснення;

a – початкова концентрація SO_2 в газі;

b – початкова концентрація O_2 в газі;

P – загальний тиск газу;

K_p – константа рівноваги реакції.

З рівнянь (17) і (18) випливає, що швидкість окиснення, залежить від константи швидкості реакції, сильно зростаючої при підвищенні температури (рівняння 14). Однак при цьому зменшується константа рівноваги K_p (рівняння

11) і зменшується значення члена $\left[\beta - \frac{X^2}{P \cdot K_p^2(1-X)} \right]$ в рівнянні (17). Таким

чином, швидкість процесу окиснення сульфур (IV) оксиду залежить від двох величин, що змінюються з ростом температури в протилежному напрямку.

Внаслідок цього крива залежності швидкості окиснення від температури повинна проходити через максимум. З рівняння (17) також випливає, що

швидкість окиснення сульфур (IV) оксиду тим більше, чим менше досягається в цьому процесі ступінь перетворення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид. Внаслідок цього для кожного ступеня перетворення залежність швидкості реакції від температури буде виражатися індивідуальною кривою, що має максимум. На рис. 1.5 представлена серія подібних кривих, що відповідають різним ступеням перетворення для газу постійного складу. З нього випливає, що швидкість реакції окиснення досягає максимуму при певних значеннях температур, які тим вище, чим менше цей ступінь перетворення, та представляють, очевидно, оптимальні температури. Лінія AA, що з'єднує точки оптимальних температур, називається лінією оптимальної температурної послідовності (ЛОТ) і вказує, що для досягнення найкращих результатів процес контактування слід починати при високій температурі, що забезпечує більшу швидкість процесу (на практиці близько 600°C), а потім для досягнення високого ступеня перетворення знижувати температуру, витримуючи температурний режим по ЛОТ.

Лінії BB і CC на рис. 1.5 окреслюють область допустимих коливань температури в реальному технологічному процесі контактування. Забезпечення високої температури на початку процесу окиснення вимагає великих витрат енергії на підігрів газу, що надходить на контактування. Тому, на практиці температуру газу на вході в контактний апарат, що надходить на перший шар каталізатора, задають лише трохи вище температури запалювання (близько 420°C). В ході реакції виділяється велика кількість тепла і оскільки процес в шарі каталізатора відбувається без відводу тепла, то температура газу підвищується по адіабаті 1, поки не досягне величини, що дорівнює 0,8ЛОТ (рис. 1.6).

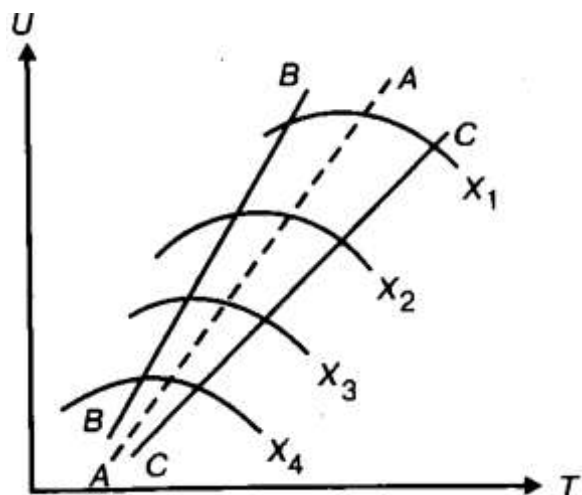
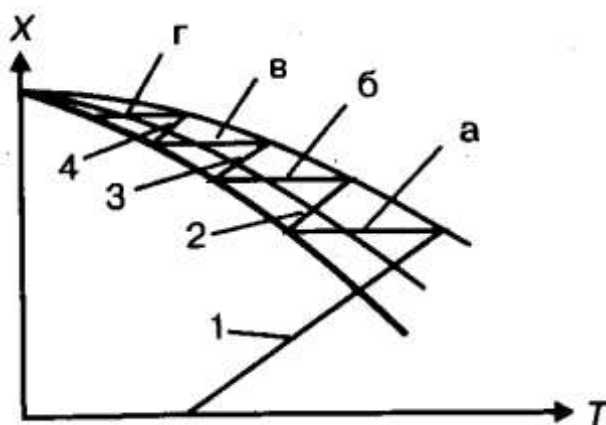


Рисунок 1.5 – Залежність швидкості окиснення сульфур (IV) оксиду від температури при різних ступенях перетворення $X_1 < X_2 < X_3 < X_4$



1, 2, 3, 4 – адіабати; а, б, в, г – лінії охолодження
Рисунок 1.6 – Діаграма контактування для чотирьох шарів каталізатору

Після цього газ охолоджують в теплообміннику (лінія а) доти, поки температура не досягне величини 0,8ЛОТ. Після теплообмінника газ направляється на другий шар каталізатора і ведуть процес по адіабаті 2, потім знову охолоджують і продовжують процес доти, поки не буде досягнутий заданий ступінь контактування. Зазвичай для цього достатньо мати в контактному апараті 4-5 шарів контактної маси.

3. У звичайному процесі підвищення ступеня контактування вище 0,98 часток одиниці недоцільно, оскільки пов'язано з різким збільшенням кількості та числа шарів контактної маси. Проте, навіть при цьому, максимальному для звичайного процесу ступені контактування, викид сульфур (IV) оксиду може досягати на сучасних установках 35-60 т/добу. Крім значних втрат продукції, це викликає необхідність в складних і дорогих очисних спорудах для нейтралізації відхідних газів. Для збільшення кінцевого ступеня контактування застосовують метод подвійного контактування та проводять процес окиснення SO_2 в дві стадії. На першій стадії контактування ведуть до ступеня перетворення що не перевищує 0,90-0,92 часток одиниці, після чого з

контактованого газу виділяють SO_3 . Потім проводять другу стадію контактування до ступеня перетворення 0,95 часток одиниці SO_2 , що залишається в газі. Метод подвійного контактування дозволяє підвищити ступінь контактування до 0,995 часток одиниці та на кілька порядків знизити викид SO_2 в атмосферу [5].

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, НАПІВФАБРИКАТІВ, ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Сірчаний колчедан представляє собою в основній своїй масі природну сполуку FeS_2 , що знаходиться в природних умовах у вигляді піриту або марказиту. Вміст сульфуру в сірчаному колчедані коливається в межах 30-50% мас., а феруму – 36-45% мас. В якості домішок в сірчаному колчедані зустрічаються сполуки міді, цинку, плюмбуму, арсену, нікелю, кобальту, селену, телуру, кварц, оксид алюмінію та ін. Сірчаний колчедан має жовтуватий або жовтувато-сірий колір, щільність його $\sim 5 \text{ г/см}^3$, насипна вага складає 2,2 – 2,4 т/м³.

Існують наступні сорти сірчаного колчедану: 1) рядовий колчедан, що видобувається в рудниках у вигляді кусків 50-400 мм; 2) флотаційний колчедан, що отримують в якості відходу при флотаційному збагаченні руд; 3) піритний концентрат, що одержують при вторинній флотації колчедану з відділенням пустої породи; 4) вуглистий колчедан [2].

Для проектованого виробництва сульфатної кислоти в якості сировини вибирається флотаційний колчедан марок КСФ-2 та КСФ-3 за ГОСТом 444-75 (табл. 2.1) [6].

Сульфур (IV) оксид (SO_2) – безбарвний газ із різким запахом, сильно подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Він в 2,26 разів легше повітря, при атмосферному тиску легко перетворюється в рідину, коли температура знижується до $-10,1^\circ\text{C}$, і замерзає при -73°C . Відносна молекулярна маса – 64,063 г/моль. Сульфур (IV) оксид добре розчиняється в воді: в одному об'ємі води при 20°C розчиняється 40 об'ємів. Реакція розчинення в воді екзотермічна, тому при цьому виділяється 34,4 кДж/моль тепла. Розчинність SO_2 в воді знижується з підвищенням температури [3].

Таблица 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 свинцю і цинку, %, не більше	не нормується	1	1	1	1
4. Вміст миш'яку, %, не більше	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
5. Вміст фтору, %, 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

При розчиненні сульфур (IV) оксиду в воді утворюється сульфідна кислота:

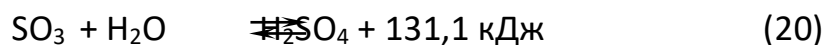


Сульфитна кислота – нестійка сполука і може існувати тільки в розчині. Розчинність сульфур (IV) оксиду в сульфатній кислоті менше, ніж у воді. З підвищенням концентрації сульфатної кислоти розчинність сульфур (IV) оксиду в ній зменшується, досягаючи мінімального значення, а потім знову збільшується.

Сульфур (VI) оксид (SO_3) – безбарвний газ, який на повітрі миттєво вступає в реакцію з парами води. При цьому утворюється туман сульфатної кислоти. Відносна молекулярна маса сульфур (VI) оксиду – 80,062 г/моль.

При температурі 44,75°C сульфур (VI) оксид існує в газоподібному стані. Зі зниженням температури перетворюється на безбарвну рідину. Також існує твердий сульфур (VI) оксид, причому він утворює три кристалічні модифікації (α , β , γ). Кожній модифікації відповідають наступні температури плавлення: 16,8; 31,5; 60,2 °C.

З водою газоподібний сульфур (VI) оксид реагує активно. При цьому утворюється сульфатна кислота й виділяється велика кількість тепла [1]:



Безводна сульфатна кислота H_2SO_4 (моногідрат) – важка, оліїста рідина з густиною 1,8305 г/см³ (при 20°C), кипить при 279,6°C і тиску 760 мм рт. ст., кристалізується при 10,37°C, має молекулярну масу 98,078 г/моль. При нагріванні вище 200°C безводна сульфатна кислота частково розкладається за схемою



утворюючи азеотропну суміш, яка містить 98,3%мас. H_2SO_4 і 1,7% мас. H_2O і має температуру кипіння $338,8^\circ\text{C}$. Сульфатна кислота змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, утворюючи гідрати ($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) з виділенням великої кількості тепла ($937,84$ кДж/кг H_2SO_4). З SO_3 сульфатна кислота утворює дві сполуки: $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$ і $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{SO}_3$. Розчин SO_3 в H_2SO_4 в межах 18-65%мас. називається олеумом [2].

Якість сульфатної кислоти повинна відповідати нормам ГОСТ 2184-77 (табл. 2.2) [7].

Таблиця 2.2 – ГОСТ 2184-77. Кислота серная техническая. Технические условия

Найменування показника	Норма						
	Контактна			Олеум		Баштова	Регено-рована
	поліпшена	технічна		поліпшений	технічний		
I сорт		II сорт					
1	2	3	4	5	6	7	8
Масова частка моногідрату (H_2SO_4), %	92,5-94,0	не менше 92,5		не нормується		не менше 75	не менше 91
Масова частка вільного сірчаного ангідриду (SO_3), %, не менше	—	—	—	24	19	—	—
Масова частка заліза (Fe), %, не більше	0,006	0,02	0,1	0,006	не нормується	0,05	0,2
Масова частка залишку після прожарювання, %, не більше	0,02	0,05	не нормується	0,02	0,02	0,3	0,4
Масова частка оксидів азоту (N_2O_3), %, не більше	0,00005	не нормується		0,0002	не нормується	0,05	0,01
Масова частка нітросполук, %, не більше	не нормується						0,2

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Масова частка миш'яку (As), %, не більше	0,00008	не нормується		0,00008	не нормується		
Масова частка хлористих сполук (Cl), %, не більше	0,0001	не нормується					
Масова частка свинцю (Pb), %, не більше	0,001	не нормується		0,0001	не нормується		

Прозорість	Прозора без розведення	не нормується	
Колір, см ³ розчину порівняння, не більше	1	6	не нормується

В якості каталізатора для окиснення сульфур (IV) оксиду в сульфур (VI) оксид використовується ванадієва контактна маса – сульфованадат на діатоміті (СВД), який має наступний склад: $V_2O_5 \cdot 3K_2O \cdot 6SO_3 \cdot 35SiO_2$. Маса СВД має високу механічну міцність. Гранули СВД мають світло-коричневий колір, насипна щільність складає 570-600 г/л. Середній діаметр гранул контактної маси СВД 5 мм, довжина – 7-15 мм. Кільцеподібна контактна маса СВД має зовнішній діаметр 8-10 мм, внутрішній діаметр 2,5-3 мм, висоту 8-10 мм. Температура запалювання – 380-420 °С [4].

3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

На сьогоднішній день у виробництві сульфатної кислоти контактним способом найбільш розповсюдженою є технологічна схема з використанням принципу подвійного контактування – подвійної абсорбції (ПК – ПА).

Подрібнений флотаційний колчедан рівномірно подається в завантажувальну камеру печі киплячого шару (поз. 1). Повітря, необхідне для випалу, подається в нижню частину печі. Воно приводить в стан кипіння суміш огарку та колчедану, що згорає. З печі утворений газ SO_2 поступає в котел-утилізатор (поз. 3), де охолоджується до 400-450°C. Усе надлишкове тепло тут використовується для утворення пари. Після котла-утилізатора газ очищається від крупних часток пилу в циклонах (поз. 4), а потім від дрібного в електрофільтрах (поз. 5). Огарок з печі та пил з котла-утилізатора, циклона та електрофільтра видаляється системою транспорту. Очищення газу SO_2 від

селену, арсену та інших домішок проводиться на стадії очистки, що складається з двох промивних башти (поз. 6 і 7), двох мокрих електрофільтрів (поз. 8 і 9) і сушильної башти (поз. 10).

Перша порожниста промивна башта (поз.6) працює у випарному режимі: циркулююча кислота охолоджує газ, при цьому тепло витрачається на випаровування води з кислоти, що поступає на зрошування. Концентрація зрошувальної кислоти в першій башті складає 35-45%мас. H_2SO_4 і підтримується на цьому рівні за рахунок передачі 5-10%-вої H_2SO_4 з другої промивної башти (поз.7). Кислота з другої башти (поз. 7) поступає в збірник кислоти (поз. 18) і після охолодження повертається на зрошування.

Після другої промивної башти газ проходить послідовно дві пари електрофільтрів (поз. 8 і 9), потім сушильну башту (поз. 10), зрошувану 93-94%-вою H_2SO_4 при 28-30°C. За рахунок поглинання пари води з газу зрошувальна кислота розбавляється й нагрівається, тому для зниження температури, її охолодження проводять в повітряному холодильнику (поз. 22). Для підтримування концентрації кислоти до неї додають кислоту з моногідратного абсорбера та знов подають на зрошування. Перед сушильною баштою (поз. 10) газ SO_2 розбавляють повітрям до вмісту в ньому 9%об. SO_2 відповідно до технологічного режиму роботи контактного апарату. Після сушильної башти газ SO_2 при 28-30°C проходить бризкоуловлювач (поз. 11) і нагрівається в трьох трубчастих теплообмінниках (поз. 13) і при температурі 440°C поступає на перший шар контактного апарату (поз. 14), де окислюється на 68-69%; його температура підвищується до 586°C. Пройшовши теплообмінник (поз. 13), газ поступає на другий шар каталізатора, де ступінь контактування досягає 87,5%, а температура газу зростає від 482 до 522°C. В теплообміннику (поз. 13) температура газу знижується до 450°C і він направляється на третій шар контактного апарату (поз. 14). Тут ступінь окиснення SO_2 в SO_3 досягає 94,9%, а температура підвищується до 466°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 та

фільтра-бризкоуловлювача газ підігрівається до 436°C в системі теплообмінників (поз. 13) і поступає на четвертий шар каталізатора, причому концентрація в ньому SO₂ складає 0,77-0,84%об. Тут ступінь окиснення SO₂ досягає 97,4%. В теплообміннику (поз. 13) температура газу знижується від 442 до 429°C. На п'ятому шарі ступінь окиснення газ SO₂ досягає 98%.

Після п'ятого шару контактного апарату газ при температурі 430°C, пройшовши теплообмінники (поз. 13), віддає своє тепло та 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. SO₂, викидається в атмосферу через вихлопну трубу [4].

4 МАТЕРІАЛЬНІ І ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ

Вихідні дані:

Склад газу, %об.:

SO ₂	7,5
O ₂	9,8
інертний газ	82,7
Температура газу, °C	50
Перший шар контактної маси:	
початкова температура газу, °C	440
кінцева температура газу, °C	586
ступінь перетворення	0,686
Другий шар контактної маси:	
початкова температура газу, °C	482
кінцева температура газу, °C	522
ступінь перетворення	0,875
Третій шар контактної маси:	
початкова температура газу, °C	450
кінцева температура газу, °C	466
ступінь перетворення	0,949
Четвертий шар контактної маси:	
початкова температура газу, °C	436
кінцева температура газу, °C	442
ступінь перетворення	0,974
П'ятий шар контактної маси:	
початкова температура газу, °C	429
кінцева температура газу, °C	430

ступінь перетворення

0,98

4.1 Матеріальний баланс стадії одержання сульфур (VI) оксиду в п'ятишаровому контактному апараті

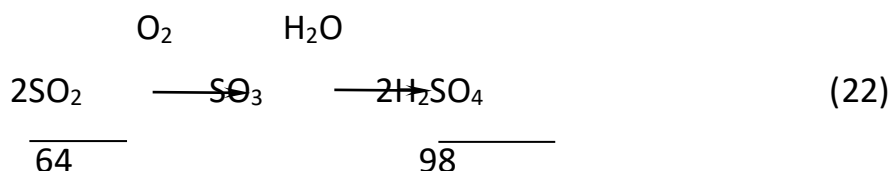
Годинна потужність виробництва складає

$$\frac{150000 \cdot 1000}{329 \cdot 24} = 18997 \text{ кг/год},$$

де 150000 – задана потужність виробництва, т/рік;

329 – ефективний фонд роботи виробництва, доба.

Процес одержання сульфатної кислоти схематично можна представити наступним хімічним рівнянням



Згідно наведеного рівняння стехіометрична кількість сульфур (IV) оксиду, що необхідна для одержання 18997 кг/годину сульфатної кислоти складає

$$\frac{2 \cdot 64 \cdot 18997}{2 \cdot 98} = 12406 \text{ кг} \quad \text{та} \quad \frac{12406 \cdot 22,4}{64} = 4342 \text{ м}^3.$$

З урахуванням загального ступеня контактування 98% та вмісту SO₂ в випалювальному газі витрата складатиме

$$\frac{4342}{0,98 \cdot 0,075} = 56076 \text{ м}^3.$$

Об'єм компонентів у вихідному випалювальному газі:

– SO₂

$$56076 \cdot 0,075 = 4206 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– O₂

$$56076 \cdot 0,098 = 5495 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– інертний газ

$$56076 \cdot 0,827 = 46375 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Маса компонентів у вихідному випалювальному газі:

– SO₂

$$4206 \cdot 2,93 = 12324 \text{ кг/годину};$$

– O₂

$$5495 \cdot 1,429 = 7852 \text{ кг/годину};$$

– інертний газ

$$46375 \cdot 1,251 = 58015 \text{ кг/годину},$$

де 2,93; 1,429; 1,251 – густина SO₂, O₂, інертного газу відповідно, кг/м³.

Загальна маса сірчистого газу складає

$$12324 + 7552 + 58015 = 78191 \text{ кг/годину}.$$

Перший шар контактної маси

Кількість сульфур (VI) оксиду, отриманого в першому шарі контактної маси складає

$$\frac{12324 \cdot 80 \cdot 0,686}{64} = 10568 \text{ кг/годину},$$

де 80 і 64 – молекулярна маса SO_3 і SO_2 відповідно, кг/кмоль.

Витрата кисню на окислювання SO_2 дорівнює

$$\frac{12324 \cdot 0,686 \cdot 0,5 \cdot 32}{64} = 2114 \text{ кг/годину},$$

де 32 – молекулярна маса O_2 , кг/кмоль.

Залишається в газі:

$$\text{SO}_2 \quad 12324 \cdot (1 - 0,686) = 3870 \text{ кг/годину};$$

$$\text{O}_2 \quad 3870 - 2114 = 5738 \text{ кг/годину}.$$

Об'єм компонентів в газі:

– SO_3

$$\frac{10568}{3,57} = 2960 \text{ м}^3/\text{годину},$$

де 3,57 – густина SO_3 , кг/м^3 ;

– SO_2

$$\frac{3870}{2,93} = 1321 \text{ м}^3/\text{год};$$

– O_2

$$\frac{5738}{1,429} = 4015 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Другий шар контактної маси

Кількість сульфур (VI) оксиду, отриманого в другому шарі контактної маси складає

$$\frac{3870 \cdot 80 \cdot 0,875}{64} = 4233 \text{ кг/год}.$$

Витрата кисню на окиснення SO_2 дорівнює

$$\frac{3870 \cdot 0,875 \cdot 0,5 \cdot 32}{64} = 847 \text{ кг/год}.$$

Залишається в газі:

$$\text{SO}_2 \quad 3870 \cdot (1 - 0,875) = 484 \text{ кг/годину};$$

$$\text{O}_2 \quad 5738 - 847 = 4891 \text{ кг/годину}.$$

Всього сульфур (VI) оксиду

$$10568 + 4233 = 14801 \text{ кг/годину.}$$

Об'єм компонентів в газі:

– SO₃

$$\frac{14801}{3,57} = 4146 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– SO₂

$$\frac{484}{2,93} = 165 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– O₂

$$\frac{4891}{1,429} = 3423 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Третій шар контактної маси

Кількість сульфур (VI) оксиду, отриманого в третьому шарі контактної маси складає

$$\frac{484 \cdot 80 \cdot 0,949}{64} = 574 \text{ кг/годину}.$$

Витрата кисню на окиснення SO₂ дорівнює

$$\frac{484 \cdot 0,949 \cdot 0,5 \cdot 32}{64} = 115 \text{ т/год.}$$

Залишається в газі:

$$\text{SO}_2 \quad 484 \cdot (1 - 0,949) = 25 \text{ кг/годину};$$

$$\text{O}_2 \quad 4891 - 115 = 4776 \text{ кг/годину.}$$

Всього сульфур (VI) оксиду

$$14801 + 574 = 15375 \text{ кг/годину.}$$

Об'єм компонентів в газі:

– SO₃

$$\frac{15375}{3,57} = 4307 \text{ м}^3/\text{год.};$$

– SO₂

$$\frac{25}{2,93} = 9 \text{ м}^3/\text{год.};$$

– O₂

$$\frac{4776}{1,429} = 3342 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Четвертий шар контактної маси

Кількість сульфур (VI) оксиду, отриманого в четвертому шарі контактної маси складає

$$\frac{25 \cdot 80 \cdot 0,974}{64} = 31 \text{ т/год.}$$

Витрата кисню на окиснення SO₂ дорівнює

$$\frac{25 \cdot 0,974 \cdot 0,5 \cdot 32}{64} = 6,0 \text{ т.}$$

Залишається в газі:

$$\text{SO}_2 \quad 25 \cdot (1 - 0,974) = 0,7 \text{ кг/годину;}$$

$$\text{O}_2 \quad 4776 - 6,0 = 4770 \text{ кг/годину.}$$

Всього сірчаного ангідриду

$$15375 + 31 = 15406 \text{ кг/годину.}$$

Об'єм компонентів в газі:

– SO₃

$$\frac{15405}{3,57} = 4315 \text{ м}^3 \text{/год.}$$

– SO₂

$$0,7 = 0,2 \text{ м}^3 \text{/год.}$$

– O₂

$$\frac{4770}{1,429} = 3338 \text{ кг/годину.}$$

П'ятий шар контактної маси

Кількість сульфур (VI) оксиду, отриманого в п'ятому шарі контактної маси складає

$$\frac{0,7 \cdot 80 \cdot 0,98}{64} = 0,9 \text{ кг/годину.}$$

Витрата кисню на окиснення SO₂ дорівнює

$$\frac{0,7 \cdot 0,98 \cdot 0,5 \cdot 32}{64} = 0,2 \text{ кг/годину.}$$

Залишається в газі:

$$\text{SO}_2 \quad 0,7 \cdot (1 - 0,98) = 0,01 \text{ кг/годину;}$$

$$\text{O}_2 \quad 4770 - 0,2 = 4769,8 \text{ кг/годину.}$$

Всього сульфур (VI) оксиду

$$15406 + 0,9 = 15406,9 \text{ кг/годину.}$$

Об'єм компонентів в газі:

– SO₃

$$\frac{15405,9}{3,57} = 4316 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– SO₂

$$\frac{0,01}{2,93} = 0,003 \text{ м}^3/\text{годину};$$

– O₂

$$\frac{4769,8}{1,429} = 3336 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Загальний об'єм в п'ятому шарі контактної маси:

$$4316 + 0,003 + 3336 + 46375 = 54027 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Склад газу в п'ятому шарі контактної маси:

– SO₃

$$\frac{4360 \cdot 100}{54027} = 8,1\% \text{ ;}$$

– SO₂

$$\frac{0,003 \cdot 100}{54027} = 0,00001\% \text{ ;}$$

– O₂

$$\frac{3336 \cdot 100}{54071} = 6,17\% \text{ іт.} ;$$

– інертний газ

$$\frac{46375 \cdot 100}{54027} = 85,8\% \text{ іт.}$$

Результати розрахунків заносяться до таблиці матеріального балансу (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Матеріальний баланс процесу одержання сульфур (VI) оксиду

Компонент	Прихід				Компонент	Витрата			
	кг/годину	% мас.	м ³ /годину	%об.		кг/годину	% мас.	м ³ /годину	%об.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Перший шар контактної маси									
Газ на I шар:					Газ на II шар:				
SO ₂	12324	15,8	4206	7,5	SO ₃	10568	13,6	2960	5,5
O ₂	7852	10,0	5495	9,8	SO ₂	3870	4,9	1321	2,4
інертний газ	58015	74,2	46375	82,7	O ₂	5738	7,3	4015	7,3
					інертний газ	58015	74,2	46375	84,8
Разом:	78191	100,0	56076	100	Разом:	78191	100,0	54671	100,0
Другий шар контактної маси									
Газ з I шару:					Газ на III шар:				
SO ₃	10568	13,6	2960	5,5	SO ₃	14801	18,9	4146	7,7
SO ₂	3870	4,9	1321	2,4	SO ₂	484	0,6	165	0,3
O ₂	5738	7,3	4015	7,3	O ₂	4891	6,3	3423	6,3
інертний газ	58015	74,2	46375	84,8	інертний газ	58015	74,2	46375	85,7
Разом:	78191	100,0	54671	100,0	Разом:	78191	100,0	54109	100,0

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Третій шар контактної маси									
Газ з II шару:					Газ на IV шар:				
SO ₃	14801	18,9	4146	7,7	SO ₃	15375	19,7	4307	8,0
SO ₂	484	0,6	165	0,3	SO ₂	25	0,03	9	0,02
O ₂	4891	6,3	3423	6,3	O ₂	4776	6,108	3342	6,19
інертний газ	58015	74,2	46375	85,7	інертний газ	58015	74,2	46375	85,8
Разом:	78191	100,0	54109	100,0	Разом:	78191	100,0	54033	100,0
Четвертий шар контактної маси									
Газ з III шару:					Газ на V шар:				
SO ₃	15375	19,7	4307	8,0	SO ₃	15406	19,70	4315	8,05
SO ₂	25	0,03	9	0,02	SO ₂	0,7	0,001	0,2	0,0004
O ₂	4776	6,1	3342	6,19	O ₂	4770	6,1004	3338	6,15

інертний газ	58015	74,2	46375	85,8	інертний газ	58015	74,2	46375	85,8
Разом:	78191	100,0	54033	100,0	Разом:	78191	100,0	54028,2	100,0
П'ятий шар контактної маси									
Газ з IV шару:					Газ на виході з V шару:				
SO ₃	15406	19,70	4315	8,05	SO ₃	15406,4	19,71	4316	8,0
SO ₂	0,7	0,001	0,2	0,0004	SO ₂	0,01	0,00001	0,003	0,00001
O ₂	4770	6,1	3338	6,15	O ₂	4769,8	6,1002	3336	6,17
інертний газ	58015	74,2	46375	85,8	інертний газ	58015	74,2	46375	85,8
Разом:	78191	100,0	54028,2	100,0	Разом:	78191	100,0	54027	100,0

4.2 Тепловий баланс стадії одержання сульфур (VI) оксиду

в п'ятишаровому контактному апараті

Перший шар контактної маси

Кількість тепла, що надходить з вихідним газом:

$$Q_1 = V_1 \cdot t_n \cdot C_1, \quad (23)$$

де $V_1 = 56076$ – кількість вихідної газової суміші, м³/годину;

$t_n = 440$ – температура вихідної газової суміші, °С;

C_1 – теплоємність вихідної газової суміші, кДж/(м³ · °С).

$$C_1 = 1,7 \cdot 0,075 + 1,027 \cdot 0,098 + 1,33 \cdot 0,827 = 1,33 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С}),$$

де 1,7; 1,027; 1,33 – теплоємність SO₂, O₂, інертного газу відповідно, кДж/(м³ · °С);

0,075; 0,098; 0,827 – об'ємна частка SO₂, O₂, інертного газу в вихідній

газовій суміші відповідно.

$$Q_1 = 56076 \cdot 440 \cdot 1,33 = 32815675 \text{ кДж/годину.}$$

Теплота окиснення сульфур (IV) оксиду дорівнює

$$Q_2 = 94275 \cdot \frac{4206}{22,4} \cdot 0,686 = 12143445 \text{ кДж/годину,}$$

де 94275 – теплота реакції, кДж;

4206 – об'єм SO_2 в газовій суміші, m^3 /годину;

0,686 – ступінь перетворення в першому шарі контактної маси.

Загальний прихід тепла складає

$$32815675 + 12143445 = 44959120 \text{ кДж/годину.}$$

Тепло, що уноситься газом з першого шару:

$$Q_3 = V'_1 \cdot t_k \cdot C'_1, \quad (24)$$

де $V'_1 = 54671$ – кількість газу, що виходить з першого шару, m^3 /годину;

$t_k = 586$ – температура газу на виході з першого шару, $^{\circ}C$;

C'_1 – теплоємність газової суміші на виході з першого шару, $кДж/(m^3 \cdot ^{\circ}C)$.

Об'ємний склад газової суміші на виході з першого шару наступний:

$$\text{SO}_3 \quad \frac{5,5}{100} = 0,055;$$

$$\text{SO}_2 \quad \frac{2,4}{100} = 0,024;$$

$$\text{O}_2 \quad \frac{7,3}{100} = 0,073;$$

$$\text{інертний газ} \quad \frac{84,8}{975} = 0,848.$$

$$C'_1 = 1,31 \cdot 0,055 + 1,7 \cdot 0,024 + 1,027 \cdot 0,073 + 1,33 \cdot 0,848 = 1,32 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}),$$

де 1,32 – теплоємність SO_3 , кДж/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

$$Q_3 = 54671 \cdot 586 \cdot 1,32 = 42148317 \text{ кДж}/\text{годину}.$$

Втрати тепла в навколишнє середовище складають:

$$44959120 - 42148317 = 280803 \text{ кДж}/\text{годину}.$$

Другий шар контактної маси

Кількість тепла, що надходить з газом із теплообмінника першого шару контактної маси

$$Q_1 = 54671 \cdot 482 \cdot 1,32 = 34783877 \text{ кДж/годину},$$

де 54671 – кількість газу, що надходить на другий шар, м³/годину;

482 – температура газу, °С;

1,32 – теплоємність газу, кДж/(м³ · °С).

Теплота окиснення сульфур (IV) оксиду дорівнює

$$Q_2 = 94275 \cdot \frac{1321}{22,4} \cdot 0,875 = 4864737 \text{ кДж/годину},$$

де 1321 – об'єм SO₂ в газовій суміші, м³/годину;

0,875 – ступінь перетворення в другому шарі контактної маси.

Загальний прихід тепла складає

$$34783877 + 4864737 = 39648614 \text{ кДж/годину}.$$

Тепло, що уноситься газом з другого шару:

$$Q_3 = 54109 \cdot 522 \cdot 1,31 = 37012896 \text{ кДж},$$

де 54109 – кількість газу, що виходить з другого шару, м³/годину;

522 – температура газу на виході з другого шару, °С;

1,31 – теплоємність газової суміші на виході з другого шару, кДж/(м³ · °С).

Втрати тепла в навколишнє середовище складають:

$$39648614 - 37012896 = 2635718 \text{ кДж/годину.}$$

Третій шар контактної маси

Кількість тепла, що надходить з газом із теплообмінника третього шару контактної маси

$$Q_1 = 54109 \cdot 450 \cdot 1,31 = 31897256 \text{ кДж/годину,}$$

де 54109 – кількість газу, що надходить на третій шар, м³/годину;

450 – температура газу, °С;

1,31 – теплоємність газу, кДж/(м³ · °С).

Теплота окиснення сульфур (IV) оксиду дорівнює

$$Q_2 = 94275 \cdot \frac{165}{22,4} \cdot 0,949 = 659020 \text{ кДж/годину,}$$

де 165 – об'єм SO₂ в газовій суміші, м³/годину

0,949 – ступінь перетворення в третьому шарі контактної маси.

Загальний прихід тепла складає

$$31897256 + 659020 = 32556276 \text{ кДж/годину.}$$

Тепло, що уноситься газом з третього шару:

$$Q_3 = 54033 \cdot 466 \cdot 1,29 = 32481398 \text{ кДж/годину},$$

де 54033 – кількість газу, що виходить з третього шару, м³/годину

466 – температура газу на виході з третього шару, °С;

1,29 – теплоємність газової суміші на виході з третього шару, кДж/(м³ · °С).

Втрати тепла в навколишнє середовище складають:

$$32556276 - 32481398 = 74878 \text{ кДж/годину}.$$

Четвертий шар контактної маси

Кількість тепла, що надходить з газом із теплообмінника четвертого шару контактної маси

$$Q_1 = 54033 \cdot 436 \cdot 1,29 = 30390321 \text{ кДж/годину},$$

де 54033 – кількість газу, що надходить на четвертий шар, м³/годину;

436 – температура газу, °С;

1,29 – теплоємність газу, кДж/(м³ · °С).

Теплота окиснення сульфур (IV) оксиду дорівнює

$$Q_2 = 94275 \cdot \frac{9}{22,4} \cdot 0,974 = 36894 \text{ кДж/годину} ,$$

де 9 – об'єм SO₂ в газовій суміші, м³/годину;

0,974 – ступінь перетворення в четвертому шарі контактної маси.

Загальний прихід тепла складає

$$30390321 + 36894 = 30427214 \text{ кДж/годину.}$$

Тепло, що уноситься газом з четвертого шару:

$$Q_3 = 54028,2 \cdot 442 \cdot 1,27 = 30328190 \text{ кДж/годину,}$$

де 54028,2 – кількість газу, що виходить з четвертого шару, м³/годину;

442 – температура газу на виході з четвертого шару, °С;

1,27 – теплоємність газової суміші на виході з четвертого шару, кДж/(м³ · °С).

Втрати тепла в навколишнє середовище складають:

$$30427214 - 30328190 = 99024 \text{ кДж/годину.}$$

П'ятий шар контактної маси

Кількість тепла, що надходить з газом із теплообмінника п'ятого шару контактної маси

$$Q_1 = 54028,2 \cdot 429 \cdot 1,27 = 29436184 \text{ кДж/годину,}$$

де 54028,2 – кількість газу, що надходить на п'ятий шар, м³/годину;

429 – температура газу, °С;

1,27 – теплоємність газу, кДж/(м³ · °С).

Теплота окислювання сірчистого газу дорівнює

$$Q_2 = 94275 \cdot \frac{0,2}{22,4} \cdot 0,98 = 825 \text{ кДж/годину,}$$

де 0,2 – об'єм SO₂ в газовій суміші, м³/годину;

0,98 – ступінь перетворення в п'ятому шарі контактної маси.

Загальний прихід тепла складає

$$29436184 + 825 = 29437009 \text{ кДж/годину.}$$

Тепло, що уноситься газом з п'ятого шару:

$$Q_3 = 54027 \cdot 430 \cdot 1,26 = 29271830 \text{ кДж/годину,}$$

де 54027 – кількість газу, що виходить з п'ятого шару, м³/годину;

430 – температура газу на виході з п'ятого шару, °С;

1,26 – теплоємність газової суміші на виході з п'ятого шару, кДж/(м³·°С).

Втрати тепла в навколишнє середовище складають:

$$29437009 - 29271830 = 165179 \text{ кДж.}$$

Отримані розрахункові дані заносяться до таблиці теплового балансу (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Тепловий баланс процесу одержання сульфур (VI) оксиду

Прихід	кДж/годину	Витрата	кДж/годину
Перший шар контактної маси			
Тепло, що надходить з газом	32815675	Тепло, що уноситься з шару	42148317
Теплота реакції окиснення SO ₂	12143445	Втрати тепла	2810803
Разом	44959120	Разом	44959120
Другий шар контактної маси			
Тепло, що надходить з газом	34783877	Тепло, що уноситься з шару	37012896
Теплота реакції окиснення SO ₂	4864737,3	Втрати тепла	2635718
Разом	39648614	Разом	39648614
Третій шар контактної маси			

Тепло, що надходить з газом	31897256	Тепло, що уноситься з шару	32481398
Теплота реакції окиснення SO ₂	659020	Втрати тепла	74878
Разом	32556276	Разом	32556276
Четвертий шар контактної маси			
Тепло, що надходить з газом	30390321	Тепло, що уноситься з шару	30328190
Теплота реакції окиснення SO ₂	36894	Втрати тепла	99024
Разом	30427214	Разом	30427214
П'ятий шар контактної маси			
Тепло, що надходить з газом	29436184	Тепло, що уноситься з шару	29271830
Теплота реакції окиснення SO ₂	825	Втрати тепла	165179
Разом	29437009	Разом	29437009
РАЗОМ	177028233	РАЗОМ	177028233

5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО АПАРАТУ

5.1 Опис конструкції та принцип дії п'ятишарового контактного апарату

Контактний апарат складається зі сталевого циліндричного корпусу (поз. 1), футерованого шамотною цеглою (поз. 2) товщиною 113 мм. В апараті є п'ять полк (поз. 6) з каталізатором, причому на чотири верхні завантажуються кільцеподібна маса, а на нижню – гранульована. Кількість каталізатора на полках зменшується зверху вниз (на самій нижній полці шар каталізатора менший, ніж на попередній, оскільки гранульована контактна маса більш активна, ніж кільцева).

Оскільки апарат має великий діаметр, в центрі встановлюється опорна колона (поз. 7), зібрана з чавунних труб. На трубах, з яких складається колона, є виступи (поз. 8), на корпусі апарату напроти виступів приварюються металеві кільця (поз. 9). На ці кільця та виступи спираються колосникові решітки (поз. 10), які підтримують каталізатор. На решітку укладається сталева сітка, на яку насипається шар подрібненого кварцу висотою 50 мм, а потім – каталізатор. Зверху каталізатора також насипається невеликий шар кварцу, що попереджає віднесення часток каталізатору потоком газу.

Сульфур (IV) оксид, очищений від домішок і нагрітий до 440°C в зовнішньому теплообміннику, поступає на перший шар каталізатора, де реагує 68-69% всього SO₂. Потім газ проходить послідовно інші чотири шари каталізатора, охолоджуючись до необхідної температури в зовнішніх теплообмінниках. Кінцевий ступінь контактування складає 98% [3].

5.2 Конструктивний розрахунок п'ятишарового контактного апарату

Площа перетину контактного апарату розраховується за формулою [9]

$$S = \frac{V_{\dot{a}}}{W_{\dot{a}}}, \quad (25)$$

де $V_{\dot{a}}$ – об'єм випалювального газу, що надходить в апарат, м³/с;

$W_{\dot{a}}$ – швидкість газу в апараті, м/с.

$$S = \frac{56076}{3600 \cdot 1} = 16 \text{ м}^2.$$

Діаметр контактного апарату визначається з виразу [9]:

$$D = \sqrt{\frac{S}{0,785}} \quad (26)$$

$$D = \sqrt{\frac{16}{0,785}} = 4,5 \text{ м}.$$

Приймаємо контактний апарат типу К-58-5 з діаметром 9 м і загальною висотою 17,415 м. Продуктивність – 540 т/добу. Загальний ступінь контактування – 98%.

Об'єм контактної маси в робочому стані в шарі каталізатора визначається за формулою [9]:

$$V_{\text{раб.}} = V_{\text{г}} \cdot c \cdot \tau, \quad (27)$$

де $V_{\text{г}}$ – об'єм газу, що проходить через каталізатор в одиницю часу, $\text{м}^3/\text{с}$;

c – коефіцієнт запасу, що залежить від нерівномірності температур в шарі;

τ – умовний час контактування в шарі, с.

Об'єм контактної маси в I-му шарі каталізатора дорівнює:

$$V_{\text{раб.1}} = 16 \cdot 2 \cdot 0,24 = 7,7 \text{ м}^3.$$

Об'єм контактної маси при завантаженні в 1,1 рази більше робочого об'єму. Отже

$$V_{\text{зав.1}} = 7,7 \cdot 1,1 = 8,5 \text{ м}^3.$$

В апарат засипається контактної маси в кількості

$$m_{\text{зав.1}} = 8,5 \cdot 450 = 3825 \text{ кг},$$

де 450 – насипна вага кільцеподібної контактної маси, кг/м³.

Аналогічно визначається об'єм і маса контактної маси, що завантажується в інші шари:

– II шар

$$V_{\text{раб.2}} = \frac{54671}{3600} \cdot 1,5 \cdot 0,268 = 6,1 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{зав.2}} = 6,1 \cdot 1,1 = 6,7 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{зав.2}} = 6,7 \cdot 450 = 3022 \text{ кг};$$

– III шар

$$V_{\text{раб.3}} = \frac{54109}{3600} \cdot 1,2 \cdot 0,402 = 7,3 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{зав.3}} = 7,3 \cdot 1,1 = 8,0 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{зав.3}} = 8,0 \cdot 450 = 3589 \text{ кг};$$

– IV шар

$$V_{\text{раб.4}} = \frac{54033}{3600} \cdot 1,2 \cdot 0,436 = 7,9 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{зав.4}} = 7,9 \cdot 1,1 = 8,6 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{зав.4}} = 8,6 \cdot 450 = 3887 \text{ кг};$$

– V шар

$$V_{\text{раб.5}} = \frac{54028,2}{3600} \cdot 1,2 \cdot 0,503 = 9,1 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{зав.5}} = 9,1 \cdot 1,1 = 10 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{зав.5}} = 10 \cdot 500 = 5000 \text{ кг},$$

де 500 – насипна вага гранульованої контактної маси, кг/м³.

Всього в контактний апарат завантажується контактної маси:

$$3825 + 3022 + 3589 + 3887 + 5000 = 19323 \text{ кг}.$$

Висота шару контактної маси визначається за формулою [9]:

$$h = \frac{V_{\text{цаâ.}}}{S} \quad (28)$$

Висота шару контактної маси на кожній полці контактного апарату складає

$$h_1 = \frac{8,5}{16} = 0,53 \text{ м};$$

$$h_3 = \frac{7,3}{16} = 0,46 \text{ м};$$

$$h_2 = \frac{6,1}{16} = 0,38 \text{ м};$$

$$h_4 = \frac{7,9}{16} = 0,49 \text{ м};$$

$$h_5 = \frac{9,1}{16} = 0,57 \text{ м.}$$

5.3 Механічний розрахунок контактної обичайки

Виконаємо розрахунок товщини циліндричної обичайки контактної апарату.

Апарат працює під надлишковим тиском 0,11 МПа. Матеріал обичайки – сталь 20. Внутрішній діаметр обичайки контактної апарату – 9 м.

Розрахункова товщина обичайки контактної апарату визначається за формулою [10]:

$$S_p = \frac{D \cdot P}{2[\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (29)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження для сталі 20;

$\varphi_p = 0,9$ – коефіцієнт міцності повздовжніх зварних швів.

Допустиме напруження розраховується за формулою [10]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b}, \quad (30)$$

де $\sigma_b = 412$ – тимчасовий опір (межа міцності), МПа;

$n_b = 2,4$ – коефіцієнт запасу міцності за тимчасовим опором (межею міцності).

$$[\sigma] = \frac{412}{2,4} = 172 \text{ МПа.}$$

$$S_{\delta} = \frac{9000 \cdot 0,11}{2 \cdot 172 \cdot 0,9 - 0,11} = 3,2 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки обичайки визначається за виразом [10]:

$$S \geq S_p + C, \quad (31)$$

де C – прибавка до розрахункової товщини обичайки, мм.

Прибавка до розрахункової товщини обичайки визначається за формулою [10]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (32)$$

де $C_1 = 1$ – прибавка для компенсації корозії і ерозії, мм;

$C_2 = 1$ – прибавка для компенсації мінусового допуску, мм;

$C_3 = 0$ – прибавка технологічна, мм.

$$C = 1 + 1 = 2 \text{ мм.}$$

$$S \geq 3,2 + 2 = 5,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо значення стандартної товщини листового прокату 6 мм.

Допустимий тиск в обичайці контактного апарату визначаємо за формулою [10]:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (33)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 172 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2)}{9000 + (6 - 2)} = 0,14 \text{ МПа}.$$

Умова міцності

$$P = 0,11 \text{ МПа} < [P] = 0,14 \text{ МПа}$$

виконується.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул [10]:

$$\frac{S - C}{D} < 0,1 \quad (34)$$

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 2}{9000} = 0,0004 < 0,1.$$

Умова виконується.

6 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Вибір допоміжного обладнання стадії одержання сульфур (VI) оксиду виробництва сульфатної кислоти наведений в табл. 6.1 [1 – 4].

Таблиця 6.1 – Вибір допоміжного обладнання

Позна- чення апарата	Найменування обладнання	Призначення і коротка характеристика	Кіль- кість
поз. 13	Теплообмінник	<p>Призначений для нагрівання вихідного випалювального газу та охолодження реакційного газу між шарами контактної маси. Представляє собою кожухотрубчастий апарат.</p> <p>Поверхня теплообміну – 2960 м². Кількість трубок – 1988 шт. Діаметр трубок – 57×3,5 мм;</p> <p>довжина трубок – 9 м. Діаметр апарату – 4,2 м.</p> <p>Кількість перегородок – 2. Швидкість газу: в трубках – 5,0 м/с, в між трубному просторі – 6-8,5 м/с.</p>	8

7 КОНТРОЛЬ РОБОТИ, НОРМИ ТА ПРАВИЛА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

У виробництві сульфатної кислоти всі апарати з'єднані в технологічній схемі послідовно (виробництво є безперервним).

При перебоях в роботі одного апарату порушується режим роботи наступних апаратів. Так, при зменшенні концентрації сульфур (IV) оксиду в газі, що надходить на контактування, знижується температура в контактних апаратах і зменшується ступінь окиснення. Щоб відновити нормальний режим і підвищити ступінь окиснення SO₂ до необхідного, газові потоки доводиться регулювати відповідними засувками. При цьому на стадії абсорбції в зв'язку зі зменшенням кількості SO₃, що поглинається, необхідно змінити кількість кислоти, що передається зі стадії очистки, в збірник при моногідратному абсорбері, і кількість моногідрату, що направляється в збірник олеума.

При дотриманні правильного технологічного режиму регулювати апаратуру доводиться дуже рідко і обслуговуючий персонал тільки стежить за режимом і реєструє його параметри. Так, при сталості об'єму та концентрації компонентів газової суміші, що надходить на стадію одержання сульфур (VI) оксиду, температурний режим контактних апаратів не змінюється. Отже, не змінюється й процес окиснення та зберігаються стабільні умови роботи стадії абсорбції. Тому кількість кислоти, що передається з цієї стадії на стадію очистки та повертається назад, а також кислоти, що циркулює між абсорберами, залишається постійною, концентрація кислоти не змінюється й зберігається високий ступінь абсорбції.

Впровадження комплексної автоматизації в виробництві сульфатної кислоти визначається головним чином поліпшенням умов праці, зменшенням витрат сировини, електроенергії, води та інших параметрів, підвищенням

інтенсивності процесу, оскільки автоматизований процес можна вести при найбільш високих (оптимальних) показниках. Підтримувати такі показники при ручному регулюванні практично неможливо, тому що навіть незначні відхилення від оптимального режиму можуть призвести до порушення автотермічного процесу або великих виробничих втрат.

У виробництві сульфатної кислоти автоматизація контролю процесів та управління ними дуже багато значить, оскільки в ході хімічних процесів можливе виділення в атмосферу виробничих приміщень шкідливих продуктів (газів, парів, пилу).

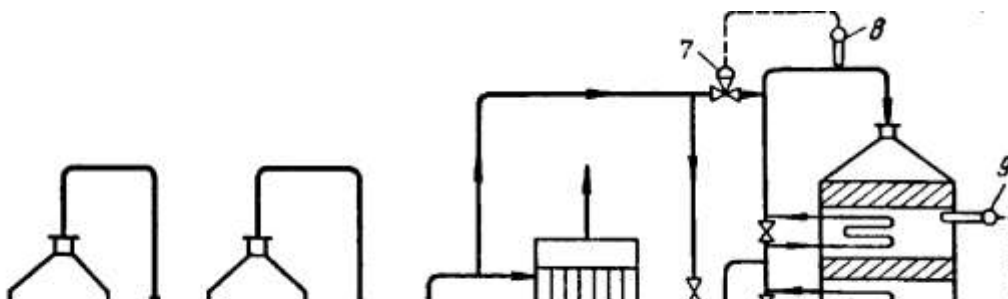
Контроль виробництва служить для своєчасного виявлення відхилень від встановленого режиму та дозволяє запобігти поширенню порушення технологічного режиму на наступні стадії процесу.

Методи контролю поділяють на ручні і автоматичні. При ручних методах контролю здійснюється відбирання проби (сировини, напівпродукту або продукту), її хімічний аналіз і обчислення результатів аналізу. Ці методи часто вимагають тривалого часу, за яке може статися глибоке порушення режиму. Автоматичні методи дозволяють вести контроль не періодично (як ручні), а безперервно. Автоматичні прилади не тільки реєструють показники, а й сигналізують про відхилення вимірюваного параметра від заданого значення. Велика перевага автоматичних методів контролю полягає в тому, що вони дають можливість реєструвати показання приладів на значній відстані (дистанційне), наприклад на спеціальному контрольному пункті. Однак не для всіх показників існують надійні методи автоматичного контролю, тому ручні методи мають поки що широке поширення [3].

7.1 Контроль стадії одержання сульфур (VI) оксиду

Для досягнення максимально високого ступеня контактування при заданому складі газу температурний режим контактного апарату необхідно підтримувати з точністю до $\pm 3-5^{\circ}\text{C}$. Як відомо, температурний режим стадії одержання сульфур (VI) оксиду залежить від концентрації SO_2 в газі, що надходить на окиснення, тому регулювання температурного режиму цієї стадії зазвичай поєднується з автоматичним підтриманням необхідної концентрації SO_2 .

Схема автоматизації стадії одержання сульфур (VI) оксиду зображена на рис. 7.1.



1 – сушильна башта; 2 – бризковловлювач; 3 – газодувка; 4 – зовнішній теплообмінник; 5 – контактний апарат; 6, 7 – регулюючі клапани;
8, 9 – термопари

Рисунок 7.1 – Схема автоматизації стадії одержання сульфур (VI) оксиду

Постійна температура газу на вході в контактний апарат підтримується шляхом перестановки клапана (поз. 7), який регулює кількість холодного газу, що надходить на каталізатор крім теплообмінника (байпасний газ). Датчиком є термопара (поз. 8), що вимірює температуру газу на вході в апарат. При постійній температурі газу на вході в перший шар контактної маси температура газу на виході з нього (при постійному об'ємі газу) залежить тільки від концентрації SO_2 в газі, який надходить в апарат. Ця залежність використовується для підтримування постійної концентрації одержання сульфур (IV) оксиду. Імпульс від термопари (поз. 9), що вимірює температуру газу після першого шару контактної маси, подається клапану (поз. 6) на лінії подачі атмосферного повітря, яке додається до газу перед входом в сушильну

башту. Таким чином, одночасно з регулюванням температури підтримується необхідна концентрація SO_2 в газі.

При постійній температурі газу після першого шару каталізатора та постійній концентрації SO_2 в газі температурний режим другого і наступних шарів контактної маси досить стійкий. Концентрацію газу можна регулювати за показаннями газоаналізатора. Автоматизація контактного апарату дає можливість досягти наступної точності регулювання температури та концентрації [8]:

	Точність
Температура газу, °C	
на вході в апарат	± 0,5
на виході з першого шару контактної маси	± 2,0
Концентрація SO_2 , %об.	± 0,3

8 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

При ступені окиснення 98% і повноті абсорбції 99,9% у відхідних газах сульфатнокислотних систем міститься 0,15%об. SO_2 (4 г/м³) і 0,007%об. SO_3 (0,3 г/м³), а також деяка кількість бризок сульфатної кислоти, що уноситься з абсорберів.

При попаданні SO_2 в навколишнє середовище він взаємодіє з киснем повітря. Внаслідок цього в стратосфері утворюється шар з високим вмістом SO_3 . Далі SO_3 реагує з водою та утворюється сульфатна кислота, яка є причиною випадання кислотних дощів. Викиди SO_2 в біосферу чинять негативний вплив на всі компоненти навколишнього середовища: на ґрунтовий та рослинний покриви, водні об'єкти, живі організми. У людини повітря, що забруднене SO_2 , викликає як гострі, так і хронічні отруєння. Тривала дія невеликих концентрацій є наслідком появи захворювань органів дихання та травлення, кон'юнктивіту, захворювань шкіри, почуття слабкості; руйнування зубів і зниження працездатності (до повної втрати). При вдиханні великих концентрацій він викликає подразнення дихальних шляхів, оболонки ока, подразнюються зволожені ділянки шкіри, може привести до летального результату.

Відомо понад 200 різних способів видалення SO_2 з відхідних газів, більше 25 з них знайшли промислове застосування. Всі відомі методи очистки відхідних газів від SO_2 можна розділити на три основні групи:

1. аміачні методи, що дозволяють одночасно з очищенням газу від SO_2 отримувати амоній сульфат і гідрогенсульфат, що використовуються як товарні продукти, або висококонцентрований SO_2 і відповідну сіль;

2. методи нейтралізації SO_2 , що дозволяють одночасно отримувати сульфіти та сульфати. Ці методи забезпечують високий ступінь очистки газів, але отримувані продукти мають обмежене використання;
3. каталітичні методи, засновані на окисненні SO_2 в присутності каталізаторів з одержанням розбавленої сульфатної кислоти.

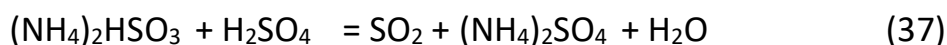
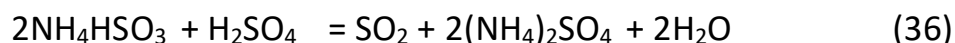
Вибір того чи іншого метода очистки від SO_2 здійснюється з урахуванням місцевих умов, техніко-економічних показників і потреби в одержуваних продуктах [1].

1. Аміачні методи очистки відхідних газів від SO_2 . В основі аміачного способу очистки лежить обробка розчином амоній сульфіту з утворенням амоній гідрогенсульфіту:

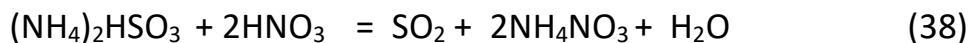


Отриманий амоній гідрогенсульфіт підлягає розкладанню кислотним, автоклавним, циклічним або нециклічним способом.

Аміачно-сульфатнокислотний метод. Сутність полягає в обробці амоній гідрогенсульфіту сульфатною кислотою. SO_2 , що виділяється, направляється в виробництво сульфатної кислоти, а отриманий амоній сульфат реалізується в якості мінерального добрива:

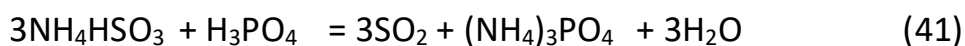
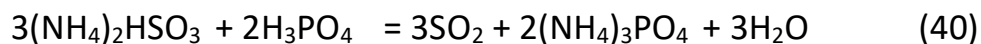


Аміачно-нітратнокислотний метод. Сутність методу полягає в очистці відхідних газів від SO₂ сульфід-гідрогенсульфідним розчином з наступним розкладанням отриманих розчинів нітратною кислотою

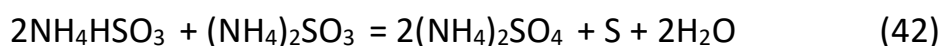


В результаті цих реакцій утворюється товарний SO₂ та амоній нітрат (амонійна селітра), що використовується в якості мінерального добрива.

Аміачно-фосфатнокислотний метод. При використанні цього способу очистки утворюються фосфатні добрива та SO₂, котрий може бути перероблений в сульфатну кислоту. Розкладання амоній сульфід-гідрогенсульфіту сульфатною кислотою протікає за реакціями:



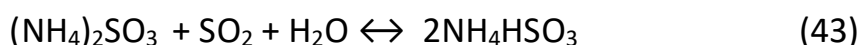
Аміачно-автоклавний метод. На відміну від аміачно-кислотного методу розкладання сульфід-гідрогенсульфідних розчинів здійснюється не кислотами, а нагріванням в автоклаві до 140-150°C. При цьому в кислому середовищі відбувається розкладання солей амонію



Отриманий амоній сульфат та сірка використовуються як товарні продукти.

Недоліками методу є велика витрата аміаку та пари.

Аміачно-циклічний метод. Сутність полягає в поглинанні SO_2 водними розчинами амоній сульфід-гідрогенсульфіту при низькій температурі та виділенні його при нагріванні. Процес протікає за зворотною реакцією

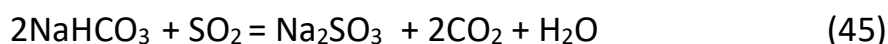


Виділений при нагріванні SO_2 осушують і використовують як товарний продукт високої якості або переробляють в сірку або сульфатну кислоту. Розчин амоній сульфід охолоджують і знову використовують для абсорбції SO_2 . Ступінь очищення газу при цьому становить 90%.

До недоліків аміачно-циклічного методу очищення можна віднести великі витрати на нагрівання, необхідність виготовлення всієї апаратури з кислотостійких матеріалів, високу вартість установки та великі експлуатаційні витрати [3].

2. Методи очистки, засновані на нейтралізації SO_2 .

Содовий спосіб очистки відхідних газів від SO_2 полягає в наступних реакціях:

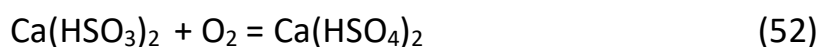
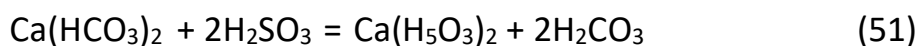
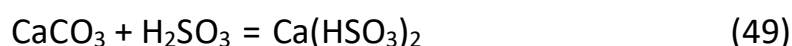
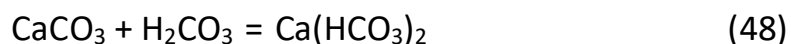
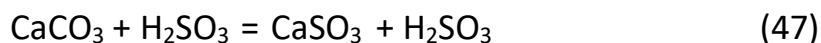


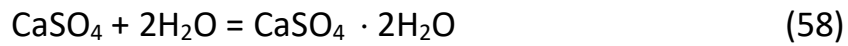
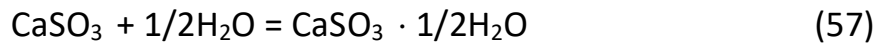
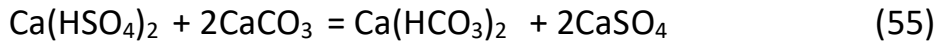
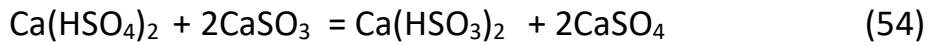


Вапняний та вапняковий метод. В основі метода лежить нейтралізація сульфатної кислоти, що утворюється в результаті розчинення SO_2 , кальцій гідроксидом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (вапном) або кальцій карбонатом CaCO_3 (вапняком). Вапно є більш дорогим і дефіцитним матеріалом, однак його застосування в якості сорбенту дозволяє майже в 2 рази скоротити витрату реагенту, знизити витрату електроенергії на приготування суспензії та зрошення абсорберів.

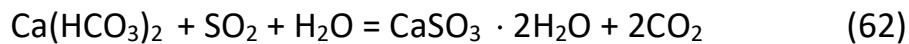
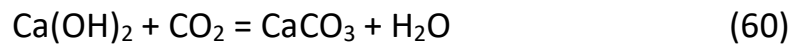
Процес абсорбції SO_2 для вапнякового та вапняного методів заснований на наступних реакціях:

– вапняковий





– вапняний



Перевагою цих методів є: відносна простота технології при високому ступені очищення газів від SO_2 , що досягає в сучасних установках 95-98%; низькі капітальні та експлуатаційні витрати; можливість очищення газу без попереднього охолодження та знепилювання.

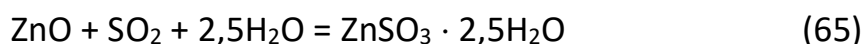
Недоліки – недостатній ступінь використання вапняку, утворення відходів у вигляді шламу або забрудненого гіпсу [2].

Магnezитовий метод. Сутність цього методу полягає в зв'язуванні SO₂ суспензією магній оксиду MgO з утворенням магній сульфїту, що випадає в осад



Магnezитовий метод очищення має переваги перед іншими методами: можливість очищення запилених газів, що мають високу температуру, відсутність стічних вод. До недоліків слід віднести наявність твердих речовин в системі поглинання, а також велика витрата енергії на розкладання MgSO₃.

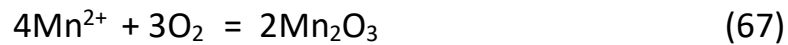
Цинковий метод. Сутність методу полягає в поглинанні SO₂ з газів суспензією цинк оксиду. При цьому протікають реакції:



3. Каталітичні методи очистки відхідних газів від SO₂.

Піролюзитний метод заснований на окисненні SO₂ киснем в рідкій фазі в присутності каталізатора – піролюзиту.

При вивченні механізму каталітичного окиснення SO₂ було встановлено, що при наявності кисню манган нижчої валентності Mn²⁺ окислюється до Mn³⁺, при цьому одночасно відбувається індуктивне окиснення SO₂



Далі тривалентний манган окислює SO_2 , переходячи знову в Mn^{2+} :



Особливість озono-каталітичного способу очистки відхідних газів полягає в тому, що окиснення SO_2 здійснюється не тільки киснем, що поглинається з газу, але і озоном, який вводиться до складу газу в кількості 0,002-0,005%об. Введення озону в газову фазу значно інтенсифікує реакцію окиснення SO_2 , тому необхідні швидкість процесу та ступінь поглинання SO_2 досягаються при більш низькій концентрації іонів мангану в розчині (до 0,1%мас.) і на меншій поверхні абсорбції. Концентрація одержуваної кислоти може бути підвищена до 40-50% [4].

Кислі стоки в виробництві сульфатної кислоти утворюються при промиванні SO_2 , на стадії осушіння газу та за рахунок витоків. Стічні води збираються в відстійнику та нейтралізуються до $\text{pH} \geq 6$. Відбувається осадження сульфат-іону в вигляді кальцій сульфату. Після відстоювання та освітлювання вода надходить в водооборотний цикл і використовується в виробничому процесі [1].

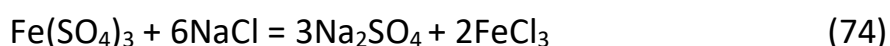
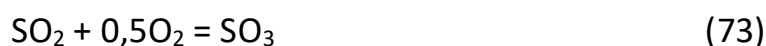
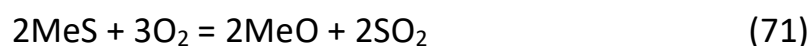
На 1 т одержуваної сульфатної кислоти одержують 0,55 т огарку. Утилізація огарків можлива за наступними напрямками: для видобування

кольорових металів і виробництва чавуна та сталі, в цементній і скляній промисловості, в сільському господарстві.

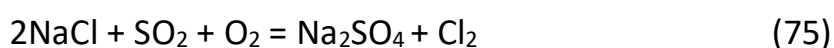
Для видобування цінних компонентів з огарків використовуються різні способи випалу (хлоруючий, сульфатизуючий та ін.). Оскільки колчедан містить понад 0,5%мас. міді, то його доцільно перероблювати з метою її виділення.

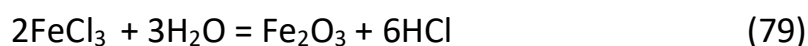
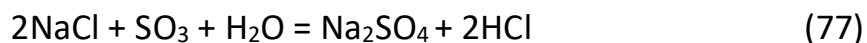
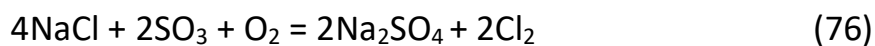
Перед хлоруючим випалом до огарку домішують до 20% подрібненого натрій хлориду NaCl. У процесі випалу протікає ряд реакцій, в результаті яких мідь переходить в розчинну сполуку купрум (II) хлорид CuCl₂. Сірка утворює з натрій хлоридом натрій сульфат. Оптимальна температура випалу знаходиться в межах 550-600°C. Випал супроводжується виділенням сульфур оксидів та гідроген хлориду. Кислі гази випалу поглинають водою з отриманням суміші кислот (HCl і H₂SO₄), яку використовують для вилуговування міді.

Хімізм процесів, що протікають є досить складним. Спочатку відбувається окиснення сульфідів і утворення ферум (III) хлориду за таких реакцій:

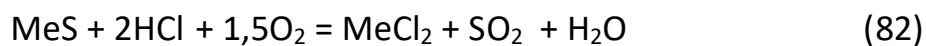
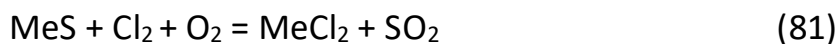
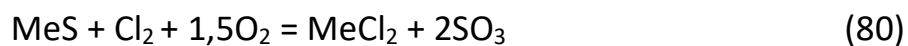


Потім відбувається взаємодія газової фази (O₂, SO₂, SO₃, H₂O) з шихтою, що призводить до формування газоподібних хлоруючих агентів:

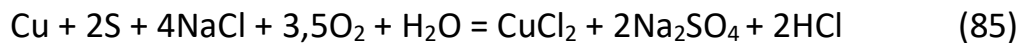




Утворені хлор і гідроген хлорид взаємодіють з оксидними та сульфідними сполуками металів, що знаходяться в огарку:



Сумарно і наближено процес хлоруючого випалу щодо міді може бути виражений наступним рівнянням:



В результаті випале 85-90% огаркової міді перетворюється в водорозчинну сіль купрум (II) хлорид CuCl_2 . З випаленої маси мідь витравлюють теплою водою в кілька стадій: спочатку розчином від попередніх операцій, а потім розбавленою кислотою, за допомогою якої вилуговується 6-10% міді, що залишилася в кеку та не перейшла в CuCl_2 . Отриману витяжку обробляють залізним скрапом для виділення цементної міді. Цю операцію проводять без доступу повітря, оскільки в присутності кисню відбуваються реакції, що ведуть до утворення ферум (III) гідроксиду $\text{Fe}(\text{OH})_3$, який забруднює одержувану цементну мідь. Цементна мідь містить 70-90%мас. купруму і велику кількість забруднень. Вона може бути відправлена на переплавку в чорнову мідь або використана для отримання мідного купоросу. Відпрацьований розчин містить до 100 г/л Na_2SO_4 . Його випарюють або виморожують для отримання $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Ступінь видобування міді з огарка становить 95-96%. Вилужений огарок просушують в механічних печах до вологості 8-10%мас., а потім агломерують або брикетують з подальшим випалом у печах каналного типу при температурі розм'якшення Fe_2O_3 ($\geq 1200^\circ\text{C}$). Після такої обробки огарок надходить на доменну плавку. Переробка 1 т огарка може дати до 4,5 кг міді та 900 кг агломерату.

Невелика кількість огарка та пилу сухих електрофільтрів використовується для отримання мінеральних пігментів: залізного сурику, мумії, охри. Технологія їх приготування може бути різною.

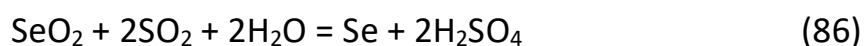
Зазвичай для отримання пігментів типу мумії та залізного сурику огарок при нагріванні обробляють концентрованою сульфатною кислотою. Отриманий ферум (II) сульфат змішують з алебастром, крейдою, глиною та випалюють в

печах. Залежно від температури випалу і обраних добавок в результаті хімічних взаємодій отримують пігменти різних відтінків. Недоліком такої технології є присутність в одержуваних пігментах сульфуру та його сполук, внаслідок чого фарби на основі таких пігментів можна використовувати для покриття металевих поверхонь, оскільки сульфур сприяє корозії металу.

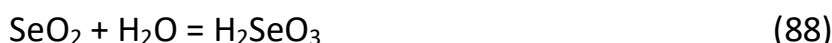
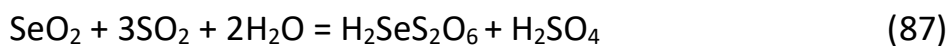
Розроблено технологію мінеральних пігментів, на основі яких отримують фарби, придатні для покриття всіляких поверхонь, в тому числі і металевих. Відповідно до цієї технології, яка виключає використання сульфатної кислоти, для приготування пігменту типу залізного сурику використовують фракцію огарка 1,3-0,27 мм, найбільш багату оксидом заліза. Цей огарок подрібнюють, сушать і прожарюють перед змішуванням з наповнювачами.

В колчеданах, що застосовуються для виробництва сульфатної кислоти, міститься 0,002-0,02%мас. селену, що є хімічним аналогом сульфуру, тому при випалі колчеданів разом з SO_2 утворюється SeO_2 . Оскільки селен зустрічається в природі в дуже малих концентраціях (від десятитисячних до тисячних, рідко до сотих часток відсотка) у вигляді сполук, що супутніх сульфідам металів (Fe, Cu, Zn), то відходи переробки піриту в сульфатнокислотному виробництві є одним з основних джерел одержання селену. Основна його частина виділяється з шламами в промивних баштах і мокрих електрофільтрах системи очищення сірчистого газу.

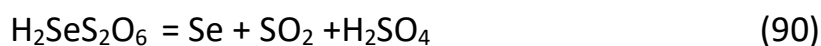
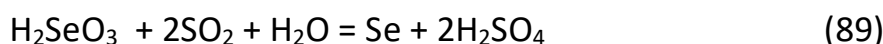
Механізм виділення селену з газу SO_2 досить складний. При очищенні відхідного газу SeO_2 поглинається туманом і краплями зрошувальної сульфатної кислоти. Розчинність SeO_2 в сульфатній кислоті висока та збільшується з підвищенням температури. SO_2 , що розчиняється в сульфатній кислоті, відновлює SeO_2 :



Одночасно відбуваються процеси утворення політіоселенових кислот (типу $\text{H}_2\text{SeS}_2\text{O}_6$) і селенистої кислоти:



Селениста кислота і селенополітіонати стійкі при температурах нижче 70°C . При більш високих температурах вони розкладаються за реакціями:



Відновлення SeO_2 найбільш повно проходить в розбавлених кислотах. Утворений металевий селен осідає разом з частинками пилу з кислоти промивних башт в відстійниках, збірниках і холодильниках кислоти у вигляді шламу, що називається «бідним». Такий шлам містить зазвичай до 5%мас. селену.

Інша частина металевого селену осідає разом з туманом сульфатної кислоти та залишками пилу в мокрих електрофільтрах. Через невеликий вміст пилу осад тут містить багато селену (до 50%мас.) і носить назву «багатого» шламу. Весь селен, що осаджується в процесі очищення газу, приблизно порівну розподіляється між «бідним» і «багатим» шламом.

Відомо кілька способів переробки шламів газоочистки виробництва сульфатної кислоти з метою виділення селену. Один з найбільш поширених

способів полягає в наступному. Зібраний при очищенні холодильників, відстійників і збірників кислоти промивних башт «бідний» шлам розбавляють водою і прогрівають гострою парою для більш повного виділення металевого селену. Утворену при цьому пульпу фільтрують і отриманий осад промивають водою і 0,5%-вим розчином соди. Потім шлам сушать при 90-100°C. Аналогічним чином обробляють і «багатий» шлам з мокрих електрофільтрів.

Ступінь вилучення селену з колчедану становить 30-60% [11].

9 ОХОРОНА ПРАЦІ

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя та здоров'я в 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.

З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а саме:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, відповідальних за вирішення конкретних питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх додержання;
- розробляє за участю сторін колективного договору і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;
- забезпечує виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються;
- впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;
- забезпечує належне утримання будівель і споруд, виробничого обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом;
- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань, та здійснення профілактичних заходів, визначених комісіями за підсумками розслідування цих причин;
- організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, оцінку технічного стану виробничого обладнання та устаткування, атестацій робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам з охорони праці в порядку і строки, що передбачені законодавством, та за їх підсумками вживає заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;
- розробляє і затверджує положення, інструкції, інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства, та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих

приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці;

- здійснює контроль за дотриманням працівником технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів колективного та індивідуального захисту, виконанням робіт відповідно до вимог з охорони праці;
- організовує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками у галузі охорони праці;
- вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає (за необхідності) професійні аварійно-рятувальні формування у разі виникнення на підприємстві аварій та нещасних випадків.

Законодавство про охорону праці передбачає і обов'язки працівників. Зокрема вони зобов'язані:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги нормативних актів про охорону праці, правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;
- проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог [12].

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 [1].

Основні фізико-хімічні властивості та характеристика токсичності хімічних речовин, які використовуються та одержують в проектованому виробництві, представлені в табл. 9.1, 9.2 [13].

Таблиця 9.1 – Основні фізико-хімічні властивості речовин

Назва речовини		Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан	Температура плавлення, °C	Температура кипіння, °C
Раціональна номенклатура	Систематична номенклатура					
Дисульфід феруму	Дисульфід заліза	FeS ₂	$\begin{array}{c} \text{S} - \text{S} \\ \backslash \ / \\ \text{Fe} \end{array}$	тверда речовина	1177-1188	–
Сульфур (IV) оксид	Діоксид сірки	SO ₂	O = S = O	газ	– 75,5	– 10,01
Сульфур (VI) оксид	Триоксид сірки	SO ₃	O = S = O	газ	16,83	44,9

			$\begin{array}{c} \parallel \\ \text{O} \end{array}$			
Сульфатна кислота	Сірчана кислота	H_2SO_4	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{O}-\text{S}-\text{O}-\text{H} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$	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 ³			у воді, мг/л	
			робочої зони	населеного пункту			
				$C_{\text{мр}}^*$	$C_{\text{сд}}^{**}$		
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»

Сульфур (VI) оксид	2	При поразці середньої важкості: загальна слабкість, сухий кашель, біль у носі і горлі, нудота, болі в надчеревній ділянці, носові кровотечі.	1	0,3	0,1	–	Протигаз марки «БКФ»
-----------------------	---	--	---	-----	-----	---	----------------------------

Продовження табл. 9.2

1	2	3	4	5	6	7	8
		У важких випадках: гостра задуха, болісний кашель, набряк легенів, смерть.					

Сульфатна кислота	2	<p>При вдиханні: підразнення верхніх дихальних шляхів, ускладнене дихання, набряк легенів.</p> <p>При потраплянні на шкіру: викликає важкі хімічні опіки.</p> <p>При потраплянні в очі: викликає хімічні опіки, сліпота</p>	1	0,3	0,1	100	<p>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</p>
-------------------	---	---	---	-----	-----	-----	--

9.2 Заходи запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

9.2.1 Вентиляція

Завданням вентиляції є забезпечення чистоти повітря в заданих метеорологічних умовах.

Для ефективної роботи системи вентиляції, необхідно виконувати наступні санітарно-гігієнічні вимоги:

- кількість припливного повітря має майже відповідати кількості повітря, що видаляється; різниця між ними повинна бути мінімальною;
- припливні й витяжні системи в приміщенні повинні бути правильно розміщені, тобто свіже повітря повинно подаватися в ту частину приміщення, де кількість шкідливих речовин мінімальна, а видалятися з тих ділянок, де виділення шкідливих речовин максимальне;
- система вентиляції не повинна викликати перегрів або переохолодження робітників;
- система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях;
- вона повинна бути електро- та вибухобезпечною [14].

9.2.2 Освітлення виробничих приміщень

Основне завдання освітлення зводиться до створення найкращих умов для огляду об'єкта. Це завдання можна вирішити освітлювальною системою, яка відповідає таким вимогам:

1. освітленість повинна відповідати зоровій роботі, яка визначається наступними параметрами:
 - об'єкт відмінності – найменший даний об'єкт, окремі його частини та дефекти;
 - фон – поверхня, прилегла до об'єкта;
 - контраст об'єкта з фоном характеризується співвідношенням яскравості розглянутого об'єкта та фону;
2. необхідність забезпечення рівномірного розподілу яскравості робочої поверхні, а також в межах навколишнього простору;
3. в полі зору повинна бути відсутньою пряма або відбита блискіть;

4. величина освітленості повинна бути постійною в часі. Це досягається використанням стабілізуючих пристроїв;
5. слід вибрати оптимальну спрямованість світлового потоку;
6. необхідно правильно вибрати спектральний склад світла;
7. всі елементи освітлювальних установок, що знижують трансформатори, повинні бути довговічними, електро-, вибухо- і пожежобезпечними [15].

Виконаємо розрахунок загального штучного освітлення приміщення центрального пульта управління (ЦПУ) стадії одержання сульфур (VI) оксиду.

Розміри приміщення, м: довжина – 5, ширина – 4, висота – 3,5.

Для освітлення приміщення центрального пульта управління вибирається світильник типу Лц_о «Люцеттар» – світильник розсіяного світла.

Кількість рядів світильників у приміщенні визначається за формулою [16]:

$$N_{\delta} = \frac{\hat{A}}{(l - h_{\delta}) \cdot [L/h]}, \quad (91)$$

де $B = 4$ – ширина приміщення, м;

$H = 3,5$ – висота приміщення, м;

$h_p = 0,8$ – висота робочої поверхні, м;

$[L/h] = 1,5$ – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_{\delta} = \frac{4}{(3,5 - 0,8) \cdot 1,5} \approx 1 \text{ дүә.}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею визначається за формулою [16]:

$$h = \frac{\hat{A}}{[L/h]}, \quad (92)$$

$$h = \frac{4}{1,5} = 2,6 \text{ м.}$$

Висота звисання світильників від стелі визначається за формулою [16]:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (93)$$

$$h_3 = 3,5 - 0,8 - 2,6 = 0,1 \text{ м.}$$

Для розрахунку штучного освітлення використовується метод світлового потоку, при цьому кількість світильників, необхідна для освітлення приміщення, розраховується за формулою [16]:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z}, \quad (94)$$

- де $E = 100$ – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк;
 $S = 20,0$ – освітлювана площа, м²;
 $F = 1710$ – світловий потік однієї лампи накаливання потужністю 150 Вт, лм;
 $K = 1,3$ – коефіцієнт запасу для лампи накаливання в приміщеннях з малим виділенням забруднень;
 $Z = 1,03$ – поправочний коефіцієнт, що залежить від конструкції світильника, тип світильника – Лц;
 $U = 0,25$ – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який

залежить від конструкції світильника, коефіцієнта відбиття стелі і стін, а також показника приміщення $i = 4$.

Кількість світильників складає:

$$n = \frac{100 \cdot 20 \cdot 1,3}{1710 \cdot 0,25 \cdot 1,03} \approx 6 \text{ шт.}$$

Схема розташування світильників зображена на рис. 9.1.

Загальна потужність електроосвітлювальної установки визначається за формулою [16]:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1 \div 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \quad (95)$$

де $n = 6$ – розрахункова кількість ламп, шт;

$W = 150$ – потужність однієї лампи, Вт.

$$N = \frac{6 \cdot 150 + 0,2 \cdot 6 \cdot 150}{1000} = 1,08 \text{ кВт.}$$

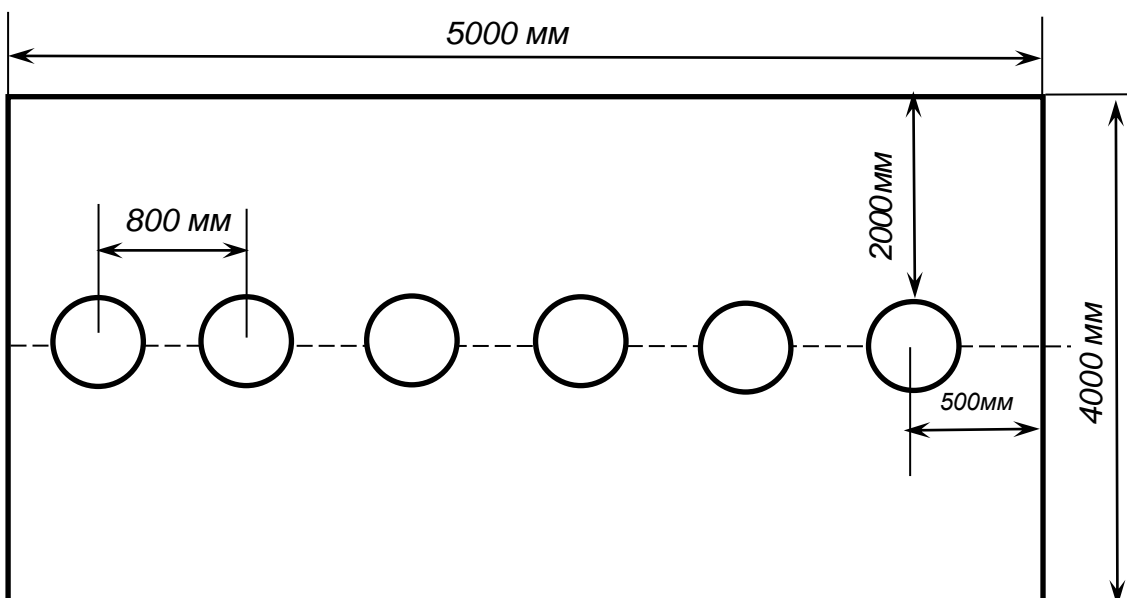


Рисунок 9.1 – Схема розміщення світильників

9.2.3 Заходи електробезпеки

До заходів електробезпеки відносяться:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки поразки за з'явлення напруги на корпусах, кожухах та частинах електроустаткування, що досягається використанням малих напруг;
- застосуванням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів – переносних приладів і пристроїв; організація безпечної експлуатації електроустановок тощо.

Для усунення переходу напруги на корпус і на неструмоведучі частини електричного та технологічного обладнання за замкнення на них одної з фаз застосовують захисне заземлення або занулення [14].

Виконаємо розрахунок заземлення приміщення центрального пульту управління.

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 [16]:

$$R_{\zeta\zeta i} = \frac{R_{\zeta} \cdot R_{\tilde{m}}}{R_{\tilde{m}} \cdot n \cdot \eta_{\zeta} + R_{\zeta} \cdot \eta_{\tilde{m}}}, \quad (96)$$

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

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

n – кількість заземлювачів;

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

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

Опір заземлювача визначається за формулою [16]:

$$R_{\zeta} = \frac{\rho}{2\pi \cdot \ell} \left(\ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + \ell}{4 \cdot t - \ell} \right), \quad (97)$$

де $\rho = 700$ – питомий електричний опір піску, Ом·м;

$\ell = 7$ – довжина заземлювача, м;

$d = 0,01$ – діаметр заземлювача, м;

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

Опір смуги, що з'єднає заземлювачі, визначається за формулою [16]:

$$R_{\tilde{\Pi}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t'}, \quad (98)$$

де $L = 18$ – довжина смуги, що з'єднає 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 [16]:

$$n = \frac{\Psi \cdot R_{\zeta}}{4 \cdot \eta_{\zeta}}, \quad (99)$$

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

R_{ζ} – опір заземлювача, Ом;

4 – припустимий загальний опір, Ом;

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

$$R_{\zeta} = \frac{700}{2 \cdot 3,14 \cdot 7} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 7}{0,01} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 7}{4 \cdot 3,3 - 7} \right) = 124,2 \hat{\Pi};$$

$$n = \frac{2 \cdot 124,2}{4 \cdot 0,4} = 155 \text{ } \varnothing;$$

$$R_{\tilde{m}} = \frac{700}{2 \cdot 3,14 \cdot 18} \cdot \ln \frac{2 \cdot 18^2}{0,03 \cdot 0,5} = 66,3 \text{ Ом};$$

$$R_{\zeta\zeta i} = \frac{124,2 \cdot 66,3}{66,3 \cdot 155 \cdot 0,4 + 124,2 \cdot 0,6} = 1,96 \text{ Ом}.$$

Оскільки $R_{ззп} = 1,96 \leq 4 \text{ Ом}$, то можна зробити висновок, що захисний заземлюючий пристрій зможе забезпечити електробезпеку центрального пульта управління.

9.3 Заходи пожежної безпеки

Будівля вважається правильно спроектованою, якщо поряд з рішенням функціональних, санітарних і технічних вимог забезпечуються умови пожежної безпеки. Зонування території полягає в групуванні в окремий комплекс об'єктів, споріднених за функціональним призначенням і пожежною небезпекою. При цьому приміщення з підвищеною пожежонебезпекою повинні бути розташовані з підвітряного боку. Для попередження розповсюдження пожежі з однієї будівлі на іншу між ними влаштовують протипожежні розриви. При визначенні розташування пожежного розриву враховується ступінь вогнестійкості будівлі. Для запобігання поширенню вогню використовують

протипожежні перешкоди. До них відносять: стіни, перегородки, двері, ворота, люки, перекриття. Протипожежні стіни повинні бути виконані з негорючих матеріалів з межею вогнестійкості не менше годин. А вікна і двері з межею вогнестійкості – не менше 1 години. Перекриття не повинні мати отворів, через які можуть проникати продукти горіння.

Можливість швидкої ліквідації пожежі залежить від своєчасного оповіщення про пожежу. Поширеним засобом оповіщення є телефонний зв'язок. Також швидким і надійним видом пожежної зв'язку є електрична система, яка складається з 4 частин: приладу-сповіщувача (датчиків), що встановлюється на об'єкті та приводиться в дію автоматично; приймальної станції, що приймає сигнали від одержувача; системи проводів, що з'єднує датчики з приймальною станцією; акумуляторних батарей.

Будівлі, споруди, приміщення, технологічні установки повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, вогнегасниками, ящиками з піском, бочками з водою, покривалами з теплоізоляційного негорючого полотна, грубововняної тканини повсті, пожежними відрами, совковими лопатами, пожежним інструментом (гаками, ломами, сокирами тощо), які використовуються для локалізації і ліквідації пожеж у їх початковій стадії розвитку.

Для розміщення первинних засобів пожежогасіння повинні встановлюватись спеціальні пожежні щити (стенди). На пожежних щитах необхідно вказувати їх порядкові номери та номер телефону для виклику пожежної охорони.

Адміністрація підприємства забезпечує проведення первинних (при наймі на роботу) та щорічних навчань щодо пожежної безпеки та здійснює перевірки відповідності стану приміщень вимогам цієї інструкції.

При виникненні пожежі дії адміністрації в першу чергу спрямовуються на забезпечення безпеки та евакуації людей. При виникненні пожежі необхідно:

- застосувати систему оповіщення;
- негайно повідомити адміністрацію підприємства;
- негайно повідомити пожежну охорону по телефону (101), вказавши точну адресу і місце пожежі, що горить, наявність в будівлі людей і своє прізвище;
- до прибуття пожежної команди вжити заходів по евакуації людей і приступити до гасіння пожежі наявними засобами;
- організувати евакуацію майна і матеріальних цінностей.

При виникненні пожежі або загоранні керівники структурних підрозділів у приміщеннях, зайнятих цим структурним підрозділом, зобов'язані:

- перевірити чи викликана пожежна допомога;
- очолити керівництво гасінням пожежі до прибуття пожежних підрозділів;
- під час пожежі необхідно утриматись від відчинення вікон і дверей, а також розбивати застелення;
- евакуюючись з приміщення або будівлі, потрібно зачинити за собою двері, так як притік свіжого повітря сприяє швидкому поширенню вогню.

Після прибуття підрозділів пожежної охорони уповноважені особи, які керували гасінням пожежі, зобов'язані повідомити старшому начальнику пожежної охорони всі необхідні дані про наявність в будівлі людей, про джерело пожежі, про заходи, вжиті по ліквідації пожежі [17].

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті розроблена стадія одержання сульфур (VI) оксиду в виробництві сульфатної кислоти потужністю 150 тис. т/рік.

На підставі огляду сучасних способів виробництва сульфатної кислоти, зіставленні їх переваг і недоліків, було обрано контактний з використанням принципу подвійного контактування – подвійної абсорбції (ПК – ПА). В якості сульфурвмісної сировини був обраний флотаційний сірчаний колчедан.

В проекті подана повна характеристика вихідної сировини, допоміжних речовин, а також готової продукції.

Згідно з завданням на дипломний проект було вивчено фізико-хімічні основи технологічного процесу одержання сульфур (VI) оксиду, представлена технологічна схема виробництва сульфатної кислоти, виконані розрахунки матеріального та теплового балансу стадії одержання сульфур (VI) оксиду в п'ятишаровому контактному апараті, конструктивний та механічний розрахунки контактного апарату, вибране допоміжне технологічне обладнання.

Виробництво сульфатної кислоти супроводжується утворенням значної кількості твердих відходів у вигляді огарку та селенових шламів. В проекті були детальні розглянуті способи утилізації вказаних відходів виробництва. Завдяки досконалим способам очистки відхідні гази виробництва сульфатної кислоти містять SO_2 і SO_3 в межах допустимих норм.

Система автоматизації стадії одержання сульфур (VI) оксиду дозволяє проводити технологічний процес відповідно до норм технологічного режиму.

Організація охорони праці та техніки безпеки на проектованому виробництві дозволяє забезпечувати безпеку, збереження здоров'я та працездатність робітників в процесі праці.