

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та
косметичних засобів**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
_____ О.В. Кочубей-Литвиненко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« ___ » _____ 2021 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Т.Т.Носенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« ___ » _____ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Хімічна технологія
на тему: Удосконалення технології отримання діоксиду сірки

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4

Криштоф Валентина Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Подобій Олена Валеріївна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти Житнецький І.В.

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент Бондаренко С.П.

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально- науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЖХТ

Т.Т.Носенко

“09” квітня 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Криштоф Валентини Олегівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання діоксиду сірки

керівник роботи Подобій Олена Валеріївна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “08”квітня 2021 р.№ 236- КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва по колчедану становить 40000 кг/добу

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

Вступ; Розділ I. Аналітичний огляд науково-технічної літератури; Розділ II. Технологічна частина; Розділ III. Техніко-економічне обґрунтування; Розділ IV. Організація контролю якості продукції; Розділ V. Екологічна частина та охорона праці; Висновки; Список використаної літератури; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 3. Креслення апарату (загальний вигляд), формат аркушу А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина.	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	11.05.2021р.	<u>01.06.2021р.</u>

7. Дата видачі завдання 09.04.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.04.2021р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	14.04-25.04.2021р.	
3	Технологічна частина. Розрахунок матеріального та теплового балансу. Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання.	26.04-25.05.2021р.	
4	Техніко-економічне обґрунтування	11.05-16.05.2021р.	
5	Організація контролю якості продукції	17.05-19.05.2021р.	
6	Екологічна частина та охорона праці	20.05.-23.05.2021р.	
7	Висновки	24.05.2021р.	
8	Список використаної літератури. Реферат	12.04.-25.05.2021р.	
9	Графічна частина проекту. Принципова технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
10	Графічна частина проекту. Апаратурно-технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
11	Графічна частина проекту. Креслення апарату (загальний вигляд)	11.05-25.05.2021р.	
12	Перевірка на академплагіат, передзахист, рецензування КР	25.05.2021р.- 01.06.2021р.	

Здобувач

(підпис)

Криштоф В. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Подобій О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ЗАПИСКА ПОЯСНЮВАЛЬНА: 102 С., 23 РИС., 20 ТАБЛ., 33 ДЖЕРЕЛ.

У даній кваліфікаційній роботі представлено шляхи удосконалення технології виробництва діоксиду сірки, що є популярним хімічним інгредієнтом і часто вживаним консервантом. Дана кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та графічної частини.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є технологія виробництва діоксиду сірки. Предметом кваліфікаційної роботи є діоксид сірки. Метою кваліфікаційної роботи є пошук шляхів удосконалення технології виробництва сірчистого ангідриду.

Проведено аналіз вітчизняної та світової науково-технічної літератури щодо існуючих технологій виробництва діоксиду сірки, її фізико-хімічних властивостей, сфери застосування, а також сировинну базу для її отримання. Розроблено принципову та апаратурно-технологічну схеми діоксиду сірки з рециклом сульфатної кислоти. Розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва діоксиду сірки з переробкою колчедану потужністю 40000 кг/добу, здійснено підбір основного технологічного обладнання. Проведено конструктивний розрахунок тарільчатого абсорбера.

Описано вимоги щодо контролю якості сировини та готового продукту за відповідними нормативними документами. Проаналізовано екологічні аспекти виробництва. Розраховано ряд техніко-економічних показників виробництва. Розроблена технологія відповідає усім вимогам і стандартам охорони праці, забезпечує працівників необхідними умовами праці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДІОКСИД СІРКИ, СУЛЬФАТНА КИСЛОТА, ПРИНЦИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ОБЛАДНАННЯ, ЕКОНОМІКА, УДОСКОНАЛЕННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Фізико-хімічні властивості діоксиду сірки.....	8
1.2 Діоксид сірки, застосування і токсичність	11
1.3 Сировинна база отримання діоксиду сірки	15
1.4 Технології виробництва діоксиду сірки.....	18
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Характеристика вихідної сировини.....	24
2.2 Опис принципової технологічної схеми	26
2.3 Розрахунок матеріального балансу	33
2.4 Розрахунок теплового балансу	45
2.5 Підбір основного технологічного обладнання	48
2.6 Розрахунок тарільчатого абсорбера	61
2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми	66
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	71
РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	78
РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	87
5.1 Охорона праці на виробництві	87
5.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві	92
ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	98
Додаток А	102

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ					
Розроб.		Криштоф В. О.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.						5	102	
Н. Контр.		Бойчук Т. М.						НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т. Т.								

ВСТУП

Їжа – необхідна річ для виживання людини. Окрім власних садових рослин, уся їжа, що використовується сьогодні, має деякі консерванти. Консервація їжі використовується з найдавніших часів. Це буде стримувати ріст таких мікроорганізмів, як бактерії та гриби. У харчовій індустрії харчові продукти і сировина піддається короткочасному чи тривалому зберіганню, яке залежить від ферментативного псування (під впливом власних ферментів), або мікробіологічного псування – ферментами бактерій.

Більшість споживачів купуючи харчові продукти не звертають увагу на терміни придатності, не розуміючи, що чим більший термін у харчовому продукті тим більша вірогідність наявності значної кількості консервантів у ньому. Консервант – речовина, що подовжує строк зберігання харчових продуктів, захищаючи їх від псування, спричиненого мікроорганізмами, та/або запобігаючи росту патогенних мікроорганізмів.

Діоксид сірки, відомий як харчова добавка E220, дозволений в Україні для використання в ролі консерванту. На сьогоднішній день *основна галузь використання E220* це виробництво кондитерських виробів та виноробство. Добавка використовується під час обробки фруктів та овочів. Це запобігає бродінню, гниттю та потемнінню фруктів та овочів. У подальшому це є джерелом попадання E220 у продукти харчування. У виробництві вина її використовують для припинення життєдіяльності бактерій та дріжджів у той виробничий період, коли це не потрібно або шкідливо.

Актуальність даної роботи полягає у широкому використанні даного продукту для збереження терміну придатності та якості продукції, захист від мікробіологічного псування.

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криштоф В. О.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.				6	102
Н. Контр.		Бойчук Т. М.			ВСТУП НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т. Т.					

Метою кваліфікаційної роботи є пошук шляхів удосконалення виробництва діоксиду сірки.

Завдання:

1. Провести огляд і аналіз науково-технічної літератури з метою вивчення фізико-хімічних характеристик діоксиду сірки, сировинної бази та сфери застосування;
2. скласти приципову технологічну схему виробництва; провести розрахунок матеріального та теплового балансу виробництва;
3. розробити апаратурно-технологічну схему виробництва діоксиду сірки.
4. виконати підбір основного технологічного обладнання; виконати креслення та розрахунки одного з основних апаратів виробництва;
5. провести економічні розрахунки; описати показники якості та безпечності отриманої продукції;
6. навести характеристику екологічної безпеки для об'єкта, що розробляється, та описати охорону праці на виробництві.

Предмет: діоксид сірки.

Об'єкт: технологія виробництва діоксиду сірки.

					ВСТУП	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Фізико-хімічні властивості діоксиду сірки

Офіційна назва з'єднання, хімічний склад якого відображає формула SO_2 , оксид сірки (IV), - діоксид сірки. ІЮПАК рекомендує використовувати цей термін і його англійський аналог - Sulfur dioxide. У технічній літературі використовуються такі застарілі терміни, як сірчистий газ, ангідрид сірчистої кислоти (продукт її дегідратації) [1].

Сірчистий газ має молекулярну будову, аналогічну озону і представлений на рис.1.1.

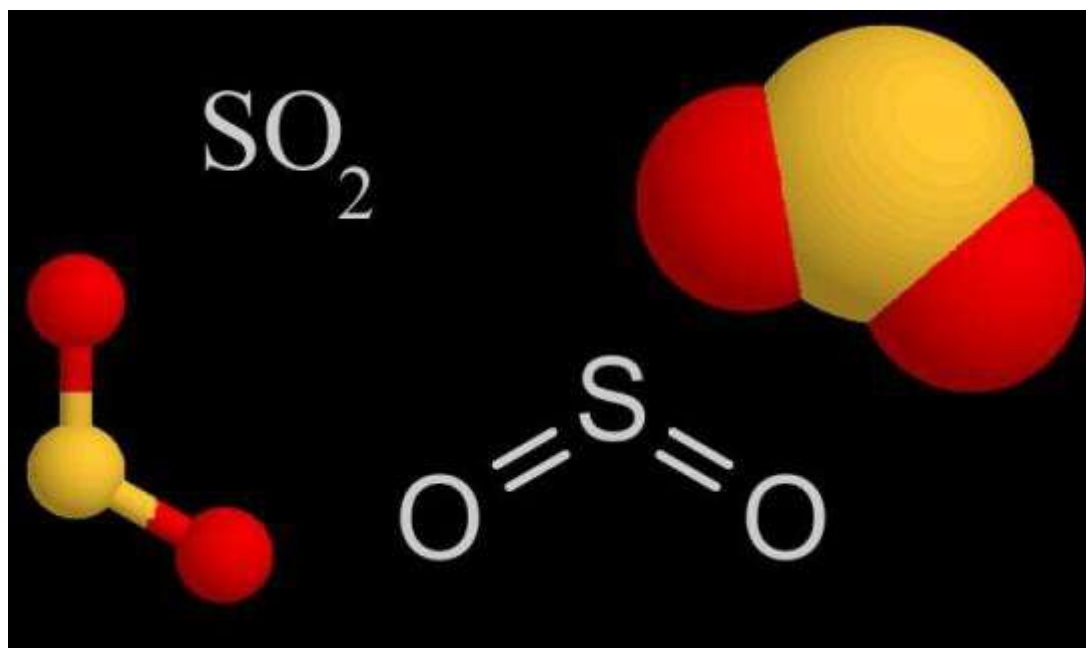


Рис. 1.1 Будова сірчистого газу

Молекула SO_2 утворена одним чотирьох валентним атомом сірки і двома атомами кисню.

Діоксид сірки - безбарвний газ з дуже характерною запахом палаючої

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Криштоф В. О.					8	102
Перевір.		Подобій О. В.						
Н. Контр.		Бойчук Т. М.						
Затверд.		Носенко Т. Т.				НУХТ, каф. ТЖХТ		

сірки, який важко переплутати з яким-небудь іншим.

Певні фізичні властивості можна розгледіти у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Фізичні властивості SO₂

<u>Показники</u>	<u>Значення</u>
Молярна маса	64,064 г/моль
Температура плавлення, t _{пл.}	-75,5 °С
Температура кипіння, t _{кип.}	-10,05 °С
Густина, ρ	2,619 г/дм ³

Молекули SO₂ є термічно стійкими, розкладання на атомарну сірку і молекулярний кисень відбувається при дуже високих температурах (близько 2800°С) [2].

Сірчистий газ зріджується при -10,5°С. Взаємодіючи з водою, сірчистий газ утворює сірчисту кислоту, яка, будучи кислотою середньої сили і малостійкою, знаходиться у рівновагах:



Як видно, діоксид сірки при розчиненні у воді частково взаємодіє з нею з утворенням дуже слабкої сірчистої кислоти [3].

Сірчистий ангідрид або діоксид сірки (SO₂) застосовується, головним чином, у виробництві сірчаної кислоти, а також як відновник, відбілювач, консервант, холодоагент, антиоксидант.

Оскільки сірка в сірчистому газі і сірчистій кислоті має проміжну валентність (+4), для цих сполук характерні реакції, що йдуть як з

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

пониженням, так і з підвищенням валентності сірки. До перших відносяться реакції з оксидом вуглецю і сірководнем, що призводять до утворення сірки.

Але найбільш характерні реакції з підвищенням валентності сірки до +6; це в першу чергу реакція окислення SO_2 до SO_3 (з каталізом), яка використовується у виробництві сірчаної кислоти.

Проміжний валентний стан сірки в SO_2 (+4) дозволяє розраховувати на можливу каталітичну участь цього оксиду в реакціях окислення - відновлення.

Можливість окислення SO_2 киснем повітря в кислих розчинах в присутності іонів металів була встановлена Кларком ще в кінці 19 століття, а потім і іншими дослідниками [4].

У першій третині ХХ століття були виконані прикладні та теоретичні дослідження кисневого окислення сульфїту натрію за участю іонів, які показали, що реакція окислення по відношенню до H_2SO_3 є мономолекулярною, має ланцюговий характер, причому її швидкість не залежить від концентрації O_2 в її широкому діапазоні.

Габер і Франк вважали, що початковими центрами ланцюгової реакції окислення з великою довжиною ланцюга служать іон-радикали SO_3^- , що утворюються в результаті втрати електрона аніонами SO_2 .

Окисні властивості SO_2 проявляються, якщо пропускати цей газ через сірководневу воду. В результаті виділяється сірка, відбувається самоокислення-самовідновлення [5, 6].

Діоксид сірки проявляє кислотні властивості. Йому відповідає одна з найслабших і нестійких кислот – сірчиста. Серед солей сірчистої кислоти зустрічаються стабільні сполуки.

Діоксид сірки застосовується в харчовій промисловості як консервант (маркування E220). В різних джерелах його можуть називати оксидом сірки (IV), сірчистим газом, двоокисом сірки або сірчистим ангідридом. Основна частка викидів діоксиду сірки в атмосферу припадає на спалювання палива, що містить сірку, наприклад на ТЕС або на коксохімічному підприємстві [7].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення збереження фруктової (овочевої) сировини додають діоксид сірки, що володіє антимікробними і антиокислювальними властивостями. Діоксид сірки і сульфіти інгібують процеси потемніння рослинної сировини, взаємодіючи з редукуючими цукрами, карбонільних сполуками і іншими хімічними сполуками [8].

Процес, при якому діоксид сірки при виробництві цукру застосовується як технологічно допоміжний засіб. Його призначення - запобігти реакції утворення барвників в напівфабрикатах технологічного потоку для зниження кольоровості цукру, а також коригувати рН екстрагента сахарози. Даний засіб застосовують в газоподібному вигляді і у вигляді солей - сульфітів і гідросульфітів калію і натрію. Спеціальний технологічний процес обробки розчинів газоподібним діоксидом сірки, введенням солей-гідросульфітів називається сульфитацією. Сульфитації піддають живильну воду для дифузійних апаратів, очищений сік, сироп після випарної установки, продукти при уварюванні утфелей (густа в'язка маса, яка складається з кристалів цукру і міжкристальної рідини із вмістом 92 — 93 % сухих речовин). Дослідження показали, що масова частка діоксиду сірки в кондитерських виробках знаходиться в широких діапазонах і може досягати до 1,8 г/кг і, отже, він повинен бути зазначений в складі харчової продукції при маркуванні [9].

1.2 Діоксид сірки, застосування і токсичність

Діоксид сірки (сульфур (IV) оксид, сірчистий ангідрид) розчиняється в воді, через що виходить нестійка сірчиста кислота. Діоксид сірки є невід'ємною складовою винної продукції, так як він сам по собі виділяється в малих кількостях під час процесу бродіння, тому виробники збільшують його вміст для більш довгого зберігання бутильованого продукту.

Діоксид сірки присутній у вині як SO_2 , пов'язаний з ацетальдегідом (C_2H_4O), згідно з формулою. Є антибіотиком, з чого випливає, що гинуть не тільки шкідливі, але і корисні мікроорганізми, які спочатку містяться у вині.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Діоксид сірки додається в виноматеріал ще на ранній технологічній стадії з метою попередження збродження сусла. Це пов'язано зі здатністю діоксиду сірки пригнічувати життєдіяльність мікроорганізмів, і в першу чергу дріжджів. Крім цього, пригнічується також і дію окислювальних ферментів. Дозування діоксиду сірки залежить від багатьох факторів, і в першу чергу від якості винограду, що переробляється: чим нижче якість і кондиційні властивості, тим вище ступінь сульфїтування [10].

Сульфїтація необхідна і при розвитку сторонньої мікрофлори (молочнокислі, оцтовокислі бактерії, дріжджі) в винах з низькою кислотністю і низьким вмістом етилового спирту. В цьому випадку вино «хворіє», відбувається мікробіологічне помутніння, з'являється неприємний смак і воно стає непридатним для вживання. Таке використання діоксиду сірки на різних технологічних стадіях в різних дозуваннях може привести до того, що в готовому вині гранично допустимі концентрації цього консерванту можуть бути перевищені.

Сірчиста кислота (діоксид сірки E220) і солі: гідросульфїт (бісульфїт) калію E228, гідросульфїт кальцію E227, гідросульфїт натрію E222, піросульфїт калію E224, піросульфїт натрію E223, сульфїт калію E225, сульфїт кальцію E226, сульфїт натрію E221 - окремо або в комбінації в перерахунку на діоксид сірки є лімітованими добавками, які потрапляють в продукти в процесі їх приготування. Наприклад, для спиртних напоїв з вмістом спирту менше 15 об. % це 200 мг/л, для вин виноградних - 300 мг/л, для вин плодових, в тому числі шипучих, сидру, медових вин це 200 мг/л, для вин безалкогольних - 200 мг/л, напівсухих, напівсолодких, солодких - 300 мг/л. Недосконалість у виділенні груп алкогольної продукції не дозволять зробити достовірну оцінку якості столових вин, а також визначитися з граничними концентраціями для конкретного типу вина.

Сірчистий ангїдрид у вигляді газу токсичний і викликає набряк легенів. Якщо людина хвора на астму, а також застуджена або має будь-які інші пошкодження слизової оболонки дихальних шляхів, то можуть проявитися

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

наслідки: задуха, нежить, охриплість або блювота, у випадках сильного отруєння можливий набряк легенів (враховуючи вміст діоксиду сірки в вині, набряк практично неможливий) [11].

Для деяких людей, які страждають зниженою або підвищеною кислотністю шлункового соку можливі додаткові негативні ефекти - сірчиста кислота, як зв'язана, так і незв'язана, негативно впливає на організм, що призводить до головної болі і набряку горла (в деяких випадках).

Максимально допустима кількість діоксиду сірки в вині має бути в межах 350 частин на мільйон і залежить від сорту вина і країни, в якій вино реалізується. Так, наприклад, в ЄС ця норма становить 160 частин на мільйон для червоних вин і 210 частин на мільйон для білих і рожевих вин.

Центр науки в інтересах суспільства (CSPI) (некомерційна організація, що займається захистом прав споживачів у сфері продуктів харчування) в США вважає, що ряду людей слід уникати вживання добавки E220, так як вона руйнує вітамін B1 і, найголовніше, може викликати важкі алергічні реакції, особливо у астматиків.

Існують дані щонайменше про дванадцять смертей в 1980-х роках, які відбулися в США внаслідок вживання добавки E220. Велика частина цих випадків сталася в ресторанних закладах внаслідок вживання салату і картоплі з високим вмістом сульфідів. Причиною тому стали недбалі працівники закладів, що тримали овочі в розчині сульфиту занадто довгий час.

В результаті тиску з боку Центру науки в інтересах суспільства (CSPI), слухань у Конгресі, і уваги засобів масової інформації, FDA заборонило використання в США одного з найнебезпечніших сульфідів і вимагає, щоб на винних етикетках вказувалася інформація про використання сульфідів.

Сульфіти і сірчистий газ потрапляють в кондитерські вироби, приготовані з фруктів і овочів, тому що для підвищення збереження фруктової (овочевої) сировини додають діоксид сірки, що володіє антимікробними і антиокислювальними властивостями. При цьому діоксид сірки може бути причиною алергічних реакцій, зокрема у астматиків. Сульфіти інгібують

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

процеси потемніння рослинної сировини, взаємодіючи з редукуючими цукрами, карбонільними сполуками, меланоїдинами й іншими хімічними сполуками [12].

Особливістю кондитерських виробів є багатокomпонентність складу, що вносить певні труднощі при визначенні в їх складі різних консервантів. При визначенні діоксиду сірки потрібно враховувати, що консерванти можуть реагувати з іншими сполуками, утворюючи стійкі з'єднання.

Утворені в процесі дослідження темні розчини не дають можливості отримувати точні результати при вимірюванні діоксиду сірки йодометричним методом.

Масова частка SO_2 в кондитерських výroбах знаходиться в широких діапазонах і може досягати до 1,8 г/кг (за даними Schroeter L.C. - в сировині і напівфабрикатах кондитерського виробництва цей показник знаходиться в дуже широкому діапазоні - до 600 мг/кг) і, отже, він повинен бути зазначений в складі харчової продукції при маркуванні. Отримані дані дозволяють припустити, що основними джерелами діоксиду сірки в борошняних кондитерських výroбах є патока, пшеничне борошно і сульфітована фруктова сировина. Діоксид сірки, що використовується як консервант для фруктової сировини, може істотно збільшувати вміст даного алергену в кондитерських výroбах [13].

Симптоми отруєння працівників підприємств, зайнятих на виробництві з підвищеним вмістом сірчистого ангідриду: спазм бронхів і дихальних шляхів. Процес взаємодії спостерігається в порушенні білкового і вуглеводного обміну, окислювальних процесів в головному мозку, печінці, м'язах. Працівник заводу відчуває запах при його концентрації в 0,003 мг/л. Кашель виникає при 0,05 мг/л. Підозріло те, що смерть може наступити раптово або значно пізніше (від 1 місяця до 1 року) в результаті погіршення стану органів дихальної системи [14].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Сировинна база отримання діоксиду сірки

Сірку, оксиди сірки і сірчану кислоту отримують з колоїдної сірки, сірчаного колчедану (FeS_2), газів, що відходять з кольорової металургії, що містять оксиди сірки, сірководню [15].

Усі виявлені у Прикарпатті промислові скупчення сірки сконцентровані у вузькій смузі зчленування Східно-Європейської платформи з Більче-Волицькою зоною Передкарпатського крайового прогину, де вони утворюють Прикарпатський сірчаний басейн. Основні родовища самородної сірки розташовані у межах Львівської, а також частково Івано-Франківської областей (перші промислові запаси були виявлені у 1950 р.). На сьогодні кар'єрну розробку сірки припинено у зв'язку з економічними і екологічними проблемами виробництва. Нині видобування сірки проводять методом підземної виплавки. Вигляд природної сірки представлений на рис.1.2.



Рис. 1.2 Природна сірка

Інше джерело діоксиду сірки - пірит (сірчаний колчедан, залізний колчедан) - FeS_2 представлений на рис.1.3.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.3 Сірчаний колчедан

Пірит відрізняється від інших мінералів постійним металевим блиском, великою твердістю, світлим латунно-жовтим кольором. Добувається пірит на дні боліт, озер і деяких морів (наприклад, Чорне море), де відбувається розклад органічних речовин в умовах недостатнього доступу кисню.

Пірит - основна сировина для отримання сірчаної кислоти; недогарки використовуються в якості залізної руди. Сірчаний колчедан FeS_2 містить 53,4% S і 46,6% Fe.

Сірчаний колчедан може містити домішки сполук міді, цинку, свинцю, миш'яку, нікелю, кобальту, селену, бісмуту, телуру, кадмію, карбонати і сульфати кальцію і магнію, а також золото і срібло. Вміст селену становить до 220 г/т, золота до 4 г/т, срібла до 40 г/т, миш'яку до 0,4%, фтору до 0,02%.

Флотаційний колчедан містить ті ж домішки, але в менших концентраціях.

При збагаченні вугілля попутно утворюється так званий вуглистий колчедан, який складається з залізного (сірчаного) колчедану або піриту FeS_2 , прошарків вугілля і породи. Ручною вибіркою і грохоченням на вуглезбагачувальних фабриках можна виділити до 80% колчедану, він містить до 18% вуглецю.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У вуглистих колчеданах може бути до 33-42% сірки і тому їх слід розглядати як перспективну сировину для виробництва сірчистого ангідриду. У ряді випадків вуглистий колчедан використовується як добавка до флотаційного колчедану (вміст сірки до 45%), що є традиційною сировиною для виробництва сірчаної кислоти.

При цьому була розроблена технологічна схема циклу сірчаної кислоти на базі вуглистого колчедану - відходу вуглезбагачення.

Згідно зі світовими тенденціями частка колчедану і елементарної сірки поступово зменшується, а частка сірки, що витягується з різних відходів, відповідно зростає [16].

Вміст діоксиду сірки в здобутих газах залежить також від теплотворної здатності використовуваного вугілля: чим вона вища, тим більший обсяг газів виходить на одиницю спаленого палива і тим менше буде сірчистих сполук в газі при однаковій кількості горючої сірки. В цілому, за результатами різних досліджень, вироблення 1 млн кВт/год електроенергії на ТЕС супроводжується утворенням 15 т оксидів сірки і 40 т золи.

Таким чином, позитивне вирішення питання очищення видобування газів від оксидів сірки (або зниження їх концентрації іншими способами) дозволить використовувати в більш широких масштабах багате сіркою вугілля.

Багато горючих газів (кокові, генераторні, попутні, природні, гази нафтопереробки) містять сірководень. При спалюванні цих газів утворюються бідні по SO₂ гази, які при відсутності очистки є великими забруднювачами атмосфери [17].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Технології виробництва діоксиду сірки

У великих кількостях отримують SO_2 в хімічній промисловості, а саме в циклі сірчано-кислотного виробництва [18]. Діоксид сірки отримують спалюванням сірки або випалюванням сульфідних руд (піриту); дією сірчаної кислоти на Na_2SO_3 , яку можна побачити на рис.1.4.

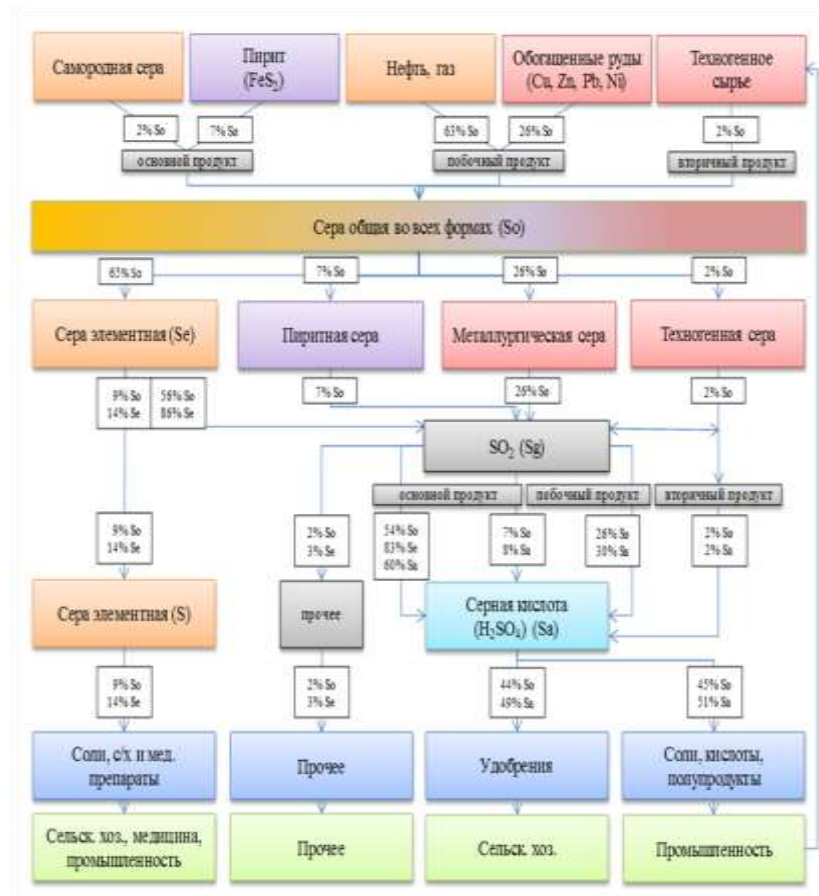
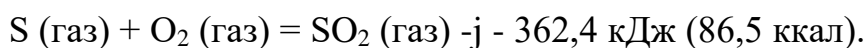


Рис. 1.4 Схематична структура виробництва-споживання сірки і сірчаної кислоти

Джерела забруднення цією речовиною навколишнього середовища, що і для зважених часток, особливо спалювання вугілля і нафти. Вступає в каталітичні або фотохімічні реакції з іншими забруднюючими речовинами з утворенням SO_3 , сірчаної кислоти і сульфатів. Типові процеси утворення дисперсійних аерозолів - подрібнення вугілля, вітрова ерозія ґрунту [19].

При спалюванні сірки витрачається 1 моль кисню. При цьому отримують 1 моль сірчистого газу:



В 1991 році винайшли топку агрегату для спалювання рідкої сірки. Формула винаходу полягала в тому, що ця топка містила два циліндра металевих футерованих корпусів, забезпечених форсунками для подачі рідкої сірки і соплами введення повітря, патрубком виходу газів. Вона відрізнялася тим, що, з метою підвищення об'ємної інтенсивності спалювання сірки, економії конструктивних матеріалів, спрощення обслуговування і підвищення рівномірності теплового навантаження по перетину виходить з топки газовий потік. Циліндричні футеровані корпуси були розміщені на одній осі з обох сторін патрубка виходу газу, при цьому останній розташований тангенціально до них [20].

Установка для спалювання сірки, представлена на рисунку 1.5, складається з камери плавлення і камери спалювання, укладеної в кожух і забезпеченою пристроєм для подачі розплавленої сірки, причому в торцевій частині камери згоряння є отвори для подачі повітря, необхідного для горіння сірки.

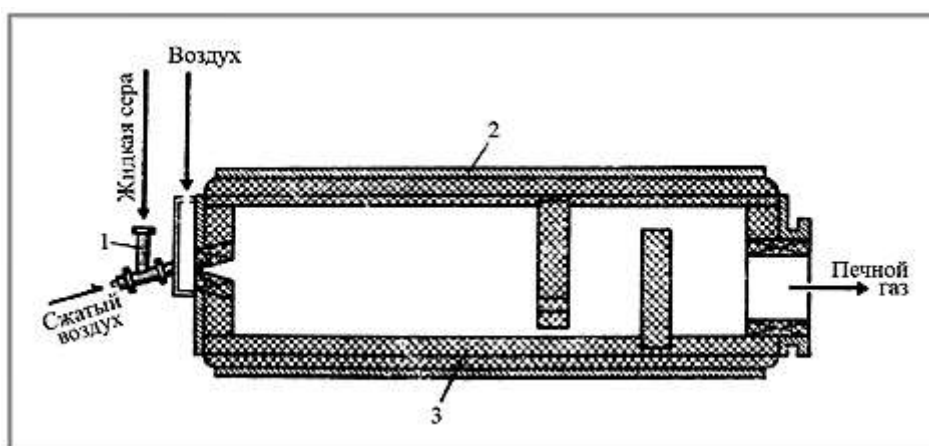


Рис. 1.5 Установка для спалювання сірки: 1 - форсунка, 2 - сталевий кожух, 3 - цегляне футерування

У сучасних пристроях камера горіння виконана перфорованою, що дозволяє інтенсифікувати процес горіння сірки при зменшеному коефіцієнті

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надлишку повітря, внаслідок якісного змішання парів сірки з киснем повітря, що приводить до повного спалювання сірки, а, отже, до підвищення вмісту SO_2 . Це досягається шляхом збільшення площі реакції сірки із киснем. Для цього використовується так зване спалювання у киплячому шарі (КШ), яке представлено на рис.1.6.



Рис. 1.6 Спалювання у киплячому шарі

Для випалу колчедану існують печі різних конструкцій: механічні поличні, печі пилового випалу, печі для випалення в киплячому шарі, останню можна побачити на рис.1.7.

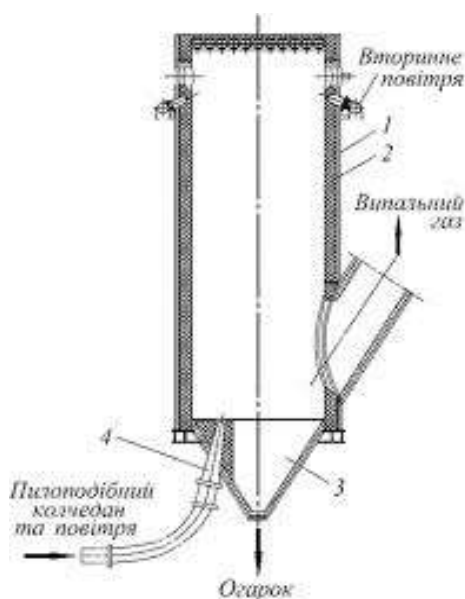


Рис. 1.7 Піч для випалення в киплячому шарі.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випал сірчаного колчедану описується сумарною реакцією:



В результаті випалу колчедану утворюється випальний (пічний) газ (в нього переходить 98–99,5% всієї сірки), що містить SO_2 , O_2 , N_2 і невелику кількість SO_3 .

Сірчаний колчедан може випалюватися у реакторах (печах) трьох типів:

- механічних поличних, в яких колчедан перемішується в шарі;
- пилоподібного випалу з розпиленням колчедану в потоці повітря;
- з киплячим шаром колчедану.

Механічні поличкові печі є універсальними для випалювання будь-якої сипучої сірчистої сировини. При випалюванні колчедану одержується газ, який містить 9% SO_2 , 9% O_2 , 82% N_2 . Огарок, що виходить з печі, містить у середньому 2% невипаленої сірки. Інтенсивність роботи печі складає 225 кг випаленого колчедану на 1 м² поверхні печі на добу або 185 кг на 1 м³ об'єму печі на добу. При пошаровому випалюванні флотаційний колчедан легко спікається у шматки, тому температура в печі не повинна перевищувати 850 – 900°C. Механічні печі складні в будові, мало інтенсивні, вартісні в експлуатації, не забезпечують достатнього випалювання сірки з колчедану і високу концентрацію сірчистого газу і тому зараз практично не використовуються. У механічних поличних печах випалення колчедану ведуть на кількох полицях (склепіннях, подах), розташованих поверхами один над одним. Перемішування і переміщення колчедану з поду на під проводиться механічно.

Печі пилового випалювання застосовуються для випалювання сухого флотаційного колчедану. Дрібні частки колчедану обмиваються з усіх сторін повітрям і тому інтенсивніше згорають і важче спікаються, ніж у поличкових печах. Допустима температура у печі 1100°C. Це дозволяє подавати у піч менший (ніж у поличкових) надлишок повітря. Отримують газ, який містить до 13% сірки, а в огарці залишається 1-1,5% S. Інтенсивність роботи печі –

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

700 -100 кг/м³ ·доба. Теплота газів, які виходять з печі, використовується в котлах-утилізаторах для одержання пари. Недоліками цих печей є необхідність застосування флотаційного колчедану з низькою вологістю і без значних коливань вмісту сірки. При зміні складу колчедану різко коливається склад газу; вологий колчедан забиває форсунку і порушує роботу печі. Запиленість газу дуже велика – понад 100 г/м³ проти 10 г/м³ для механічних печей.

Печі киплячого шару відрізняються високою інтенсивністю (до 10000 кг/м² ·доба), забезпечують повніше вигорання дисульфідів заліза за рахунок повного обтікання частинок колчедану повітрям (вміст сірки в огарку не перевищує 0,5%, вміст SO₂ у газі досягає 15%) і контроль температури, полегшують процес утилізації теплоти реакції випалювання. Для використання теплоти реакції труби парових котлів-утилізаторів встановлюють як в потоці газу, так і безпосередньо в киплячому шарі. Температура однакова у всьому шарі. За рахунок відводу теплоти вона підтримується на рівні 800°C. У печах КШ не можна спалювати матеріал, який сильно відрізняється за розмірами, оскільки швидкість руху повітря, яка відповідає зависанню зерен, приблизно пропорційна їх розміру. До недоліків печей КШ слід віднести підвищений вміст пилу в газі випалювання (до 300 г/м³), що утруднює його очищення. Зараз печі КШ повністю витіснили печі інших типів у виробництві сірчаної кислоти з колчедану.

Продукти окислювального випалювання колчедану – обпалювальний (пічний) газ і огарок, що складається з оксиду заліза (III), порожньої породи і невиворілого залишку дисульфідів заліза.

Склад обпалювального газу залежить від природи сировини, складу і надлишку повітря при його випалюванні. У нього входять оксид сірки (IV), кисень, азот і незначна кількість оксиду сірки (VI), що утворився за рахунок каталітичної дії оксиду заліза (III).

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність печей виражають в кількості умовного колчедана, що містить 45% сірки, що спалюється в печі в 1 добу. Для визначення продуктивності печей введено поняття інтенсивність.

Таким чином, інтенсивність випалу залежить від процесів масопередачі і тепловіддачі. Швидкості цих процесів зростають при інтенсивному перемішуванні сировини і при збільшенні поверхні зіткнення фаз (повітря з сировиною). Саме тому інтенсивність випалу в «печах пилоподібного випалу сировини вище, ніж в механічних печах. Ще більше вона в печах киплячого шару, так як частинки сировини перемішуються ще більш інтенсивно завдяки турбулентності потоку [21].

Згідно огляду науко – технічної літератури встановлено:

1. Діоксид сірки E220 в харчовій промисловості застосовується в якості консерванту. Діоксид сірки є невід'ємною складовою винної продукції, так як він сам по собі виділяється в малих кількостях під час процесу бродіння, тому виробники збільшують його вміст для більш довгого зберігання бутильованого продукту.
2. Перспективна сировина для виробництва сірчистого ангідриду – вуглистий колчедан (пірит).
3. Випал колчедану для отримання сірчистого газу краще за все проводити у печах киплячого шару, що відрізняються своєю інтенсивність, забезпечують повніше вигорання дисульфиду заліза.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика вихідної сировини

Колчедани (від назви давньогрецької колонії в Малій Азії – Халкедон – Χαλκηδών) – мінерали групи сульфідів і арсенідів, які містять залізо, мідь, нікель та олово. Розрізняють: магнітні колчедани, або піротин, сірчистий, або залізний колчедан – пірит; мідний колчедан, або халькопірит, залізонікелевий колчедан, або пентландит, нікелевий колчедан, або нікелін, олов'яний колчедан, або станін.

В лабораторних умовах реакція горіння залізного колчедану йде в бік утворення більш іонного з'єднання Fe_2O_3 , з меншим вмістом металів. Триоксид сірки в порівнянні з діоксидом і сірчанам колчеданом (піритом) менш іонне з'єднання, хоча і з меншим вмістом металів. Отже, для його утворення потрібні інші термодинамічні умови, що і забезпечує необхідність застосування в цьому випадку каталізатора [22].

Пірит (FeS_2), або сірчаний (залізний) колчедан, найчастіше утворює суцільні зернисті і щільні маси, вкраплення, рідше — окремі кристали, друзи, має золотисто-жовтий колір, чорну риску, металічний блиск. У піриту спайності немає, його злам раковистий. Твердість, за Моосом, становить 6...6,5, густина — 5,0...5,2 г/см³. Кристалізується цей мінерал у кубічній сингонії. Утворюється в магматичних породах, гідротермальним шляхом, в екзогенних умовах. Пірит — основна сировина для виробництва сірчаної кислоти, недопалки використовуються як залізна руда. Він має здатність осаджувати золото з розчинів [23].

Пірит широко поширений на Середньому Уралі (Карабаш, Блява, в Башкирії — Сибай). Зустрічається пірит у вигляді вкрапель у вугленосні обкладення в підмосковському кам'яновугільному басейні та в Боровичах

					ННІХТ. ХТ-4-4.021.161. КР.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Криштоф В. О.				ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Подобій О. В.						24	102
Консульт.	Житнецький І. В.					НУХТ, каф. ТЖХТ		
Н. Контр.	Бойчук Т. М.							
Затверд.	Носенко Т. Т.							

(Новгородська область). Пірит можна зустріти в Ріо-Тінто (Іспанія).

Розробка колчеданових родовищ супроводжується формуванням особливої техногенного середовища, що супроводжується різким порушенням природної рівноваги, що обумовлено доступом кисню повітря, вуглекислого газу та поверхневих вод, збагачених киснем, до сульфідних руд при їх видобутку [7]. У кисневому середовищі у сульфідів, до складу яких входять неметали з повним заповненням електронних оболонок електронами (S^{2-} , As^{3-} і т.п.) і метали (Fe^{2+} , Cu^{+} і т.д.) з низьким ступенем окислення, різко проявляється хімічний потенціал (здатність речовин до хімічних змін).

При оголенні гірських порід, що мають сульфур, в процесі їх розробки сульфідні окислюються з виділенням тепла і утворенням сірчаної кислоти, сульфатів міді, цинку, заліза та інших токсикантів, які проникають у ґрунтові води. Утворення токсикантів у відвалах, що мають сульфур, і забруднення ними природи триває десятки і сотні років.

Процеси окислення сульфідів і перетворення продуктів реакцій можуть розвиватися при збагаченні руд колчеданових родовищ, особливо з використанням флотаційних методів, заснованих на застосуванні токсичних реагентів, і при розміщенні на поверхні Землі тонко дисперсних хвостів збагачення - джерел сірчаної кислоти і сульфатів важких кольорових металів [24].

У той же час ці проблеми можна вирішити. Можу запропонувати наступні зміни в технології видобутку і підготовки сировини:

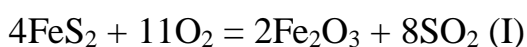
1. Використання сухих методів попереднього збагачення без застосування глибоких стадій збагачення і хімічних реагентів, а також попереднє збагачення на промисловому майданчику підприємств, виробляти стадіальним дробленням, грохоченням і сепарацією сировину з відсіканням некондиційних руд і супутніх порід.
2. Отриманий проміжний продукт (концентрат) вивозити в освоєні, індустріальні регіони Уралу для подальшої переробки.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

3. Комплексне використання ресурсів; те, що залишилося після попереднього збагачення (некондиційна сировина і супутні породи) є сировиною для виробництва щебеню різного призначення.

2.2 Опис принципової технологічної схеми

Головною стадією процесу є отримання сірчистого газу шляхом випалу сірчаного колчедану, головним складником якого є пірит (FeS_2), який містить 53,3% сірки і 46,7% заліза.



При протіканні реакції (I) крім газоподібного продукту реакції SO_2 утворюється твердий продукт Fe_2O_3 , який може бути присутнім в газовій фазі у вигляді пилу. Колчедан містить різні домішки, зокрема сполуки миш'яку і фтору, які в процесі випалу переходять в газову фазу. Присутність цих сполук може викликати отруєння каталізатора.

Процес випалу є складним, необоротним, некаталітичним, екзотермічним, гетерогенним.

Бажано цю реакцію проводити при таких умовах, коли сірка, що міститься в піриті найбільш повно використовується для отримання SO_2 і реакція протікає швидко. Продуктивність печі зростає зі збільшенням швидкості реакції випалу. Цього домагаються застосовуючи оптимальні умови для даної реакції [25].

Отримавши достатню кількість діоксиду сірки виробництво було покращено. Удосконалення полягало в тому, що 70% готової продукції діоксиду сірки відправляється на фасування, а інші 30% йде на виробництво сульфатної кислоти, яка є однією з найважливіших технічних речовин у світі і завжди має попит на ринку. Вона використовується в у формі водних розчинів для виробництва добрив, як каталізатор в органічних синтезах, а також у виробництві інших неорганічних кислот.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- ❖ *Подрібнення піриту* - пірит перед випалюванням подрібнюють до оптимальних розмірів, збільшуючи площу його зіткнення з киснем повітря. Частинки не повинні бути великими, інакше вони будуть обпалюватися тільки на поверхні, а всередині залишиться не прореагований пірит - це призведе до втрат сировини. Але і занадто дрібними теж не повинні бути, тому що в цьому випадку відбудеться злежування, ущільнення шару, через який кисень майже не проходить і площу зіткнення зменшується, що призведе до зменшення швидкості реакції. Частинки розміром від 0,03 до 0,3 мм.
- ❖ *Випал піриту в киплячому шарі* – для отримання сірчистого газу. Щоб збільшити швидкість випалу використовують принцип протікання - зверху в піч подають подрібнений пірит, а знизу - повітря, збагачене киснем. Повітря вдувається через безліч трубок під певним тиском, яке відрегульовано так, щоб частинки піриту не розпорошували і щоб не злежувалися. Частинки виявляються в підвішеному стані, створюючи ілюзію киплячої рідини. Тому такий шар дрібних частинок називається - киплячим. Таким чином, збільшується площа зіткнення піриту і кисню, кожна тверда частка омивається повітрям збільшується швидкість реакції. Оптимальне значення температури - близько 700 - 800°C, подальше її підвищення обмежується спіканням частинок колчедану, що призводить до зменшення поверхні контакту. Саме при цій температурі збільшується число активних молекул, з достатньою кінетичною енергією швидкість реакції збільшується. Але реакція екзотермічна, йде з виділенням тепла, а значить температура буде підвищуватися і станеться спікання частинок піриту. Щоб уникнути цього надлишок теплоти відводять. У реакційний апарат вбудовують трубки, по яких пускають холодну воду. Нагріваючись, вода забирає зайве тепло і перетворюється на

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

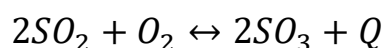
водяну пару, який використовується для виробництва електроенергії або інших цілей. Раніше цей процес тривав 5-6 годин, а тепер займає лічені секунди (8-9 сек.).

- ❖ Обпалювальний газ необхідно *очистити від пилу*, для видалення залишків пилу і туману і, головним чином, сполук миш'яку і селену, які при цьому утилізують, сірчаноокислотного туману і речовин, що є каталітичними отрутами або представляють цінність як побічні продукти. В обпалювальному газі міститься до 300 г/м³ пилу, який на стадії контакту засмічує апаратуру. Крім того, при випаленні колчедану одночасно з окисненням дисульфідів заліза окиснюються сульфіді інших металів, що містяться в колчедані. При цьому миш'як і селен утворюють газоподібні оксиди As₂O₃ і SeO₂, які переходять в обпалювальний газ і стають каталітичними отрутами. Пічний газ, отриманий при випалюванні піриту, містить домішки: недогарок Fe₂O₃, N₂, O₂, домішки Cu, Ag, Zn, з'єднання As. Тому спочатку необхідно цей газ очистити від пилу. Це здійснюється за допомогою 2 апаратів: циклону і електрофільтру. Спочатку газ направляють на очищення від великого пилу в циклон. Він складається з двох циліндрів, вставлених один в іншій. Газ подається збоку в зовнішній циліндр і переміщується зверху вниз по спіралі. Під дією відцентрової сили частки пилу відкидаються до стінок зовнішнього циліндра і падають в бункер, звідки потім видаляються. Очищений газ по внутрішньому циліндру йде з апарату. Циклон - простий і економічний апарат, але він не очищає газ від дрібних пилинок. Від дрібного пилу газ очищають в електрофільтрі. Він складається з дрібних сіток, між якими протянуто дріт. До нього підведено струм високої напруги (60000 В). При цьому дріт заряджається «-», сітки «+». Газ надходить в камеру знизу. Під дією сильного електричного поля частинки пилу іонізуються і притягуються до

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

сіток. Там вони втрачають свій заряд і падають вниз, в спеціальний бункер.

- ❖ Далі проводиться *охолодження* для остаточної очистки газів від пилу і шкідливих домішок (сполук миш'яку, селену) до температури нижче за температури плавлення оксиду миш'яку (315°C) і селену (340°C) в сушильній башті, зрошуваній концентрованою сірчаною кислотою. Температура газу відповідно 45-55 °C [26]. На цій стадії у збірник відводиться частина сульфатної кислоти концентрацією 30%. А також, як шлях удосконалення технології, 70% готового діоксиду сірки йде на фасування у балони, а 30% на виробництво сульфатної кислоти.
- ❖ Готовий і очищений газ направляється на підігрів до температури 430-450 °C для отримання оптимальних умов перед стадією каталітичного окиснення.
- ❖ *Окиснення двоокису сірки* до сірчаного ангідриду протікає на поверхні зернин каталізатора за реакцією:



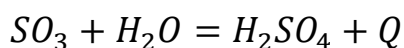
Процес окиснення – простий, зворотний, гетерогенно-каталітичний, екзотермічний, протікає зі зменшенням об'єму. Найбільший вихід сірчаного ангідриду спостерігається з газової суміші приблизно наступного оптимального складу: 7% SO₂, 11% O₂, 82% N₂.

Так як реакція окиснення двоокису сірки зворотна і утворення SO₃ супроводжується виділенням теплоти, вихід сірчаного ангідриду (або ступінь перетворення двоокису сірки) з підвищенням температури зменшується. Практично при 400°C і нижче реакція окиснення SO₂ в SO₃ незворотна, тобто рівновага зсунута вправу сторону; при 1000°C сірчаний ангідрид майже повністю дисоціює на двоокис сірки і кисень. Отже, з точки зору повноти

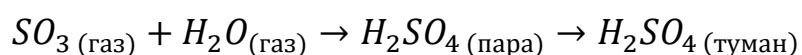
					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення SO_2 в SO_3 , необхідно працювати при як можливо нижчій температурі. Однак температурний режим контактного окиснення SO_2 в SO_3 визначається властивостями каталізатора, що використовується в промисловості. На ванадієвому каталізаторі окиснення SO_2 починає протікати з достатньою швидкістю лише при $420\text{--}440^\circ\text{C}$ (температура запалювання). При температурі понад 600°C активність каталізатора починає падати. Таким чином, температурний інтервал контактного окиснення SO_2 в SO_3 обмежено означеними температурами. В цьому інтервалі зворотну екзотермічну реакцію необхідно проводити по лінії оптимальних температур (ЛОТ). Спочатку вхідну суміш підігривають до температури запалювання каталізатора. Після цього треба відводити теплоту, що виділяється в результаті реакції, знижуючи температуру реакційної маси від 600 до 430°C . Для здійснення такого режиму застосовуються поличні контактні апарати, що являють собою каскад адіабатичних реакторів витіснення з проміжним відводом теплоти.

- ❖ *Поглинання (абсорбція) SO_3 розчином сульфатної кислоти є останньою стадією виробництва сульфатної кислоти. В процесі абсорбції SO_3 розчином сульфатної кислоти протікає екзотермічна хімічна реакція:*



Оскільки $P(SO_3)$ задається складом газу, то рушійна сила i , отже, швидкість процесу абсорбції, буде тим більше, чим менше рівноважний тиск оксиду сірки (VI) над сорбентом. Окрім цього, при високому рівноважному тиску над сорбентом пари води $P^*(H_2O)$ унаслідок взаємодії молекул води з молекулами оксиду сірки (VI) утворюються пари сірчаної кислоти, що конденсуються з виникненням важко уловлюваного туману сірчаної кислоти:



					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Таким чином, найкращою поглинаючою здатністю володітиме абсорбент з мінімальним рівноважним тиском над ним оксиду сірки (VI) і пари води. Найбільшу абсорбційну здатність по відношенню до SO_3 має 98,3%-на кислота, що відповідає її азеотропному складу. Над більш розбавленою кислотою зростає тиск парів води. Частина сірчаного ангідриду з'єднується з цими парами, утворюючи пару сульфатної кислоти, яка при охолодженні конденсується в об'ємі з утворенням важковловлюваного сульфатнокислого туману. Над 100%-ною сульфатною кислотою рівноважний парціальний тиск SO_3 зростає, тому SO_3 абсорбується 100%-ною сульфатною кислотою не повністю [27]. Принципова технологічна схема удосконалення технології отримання діоксиду сірки представлена на рис. 2.1.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

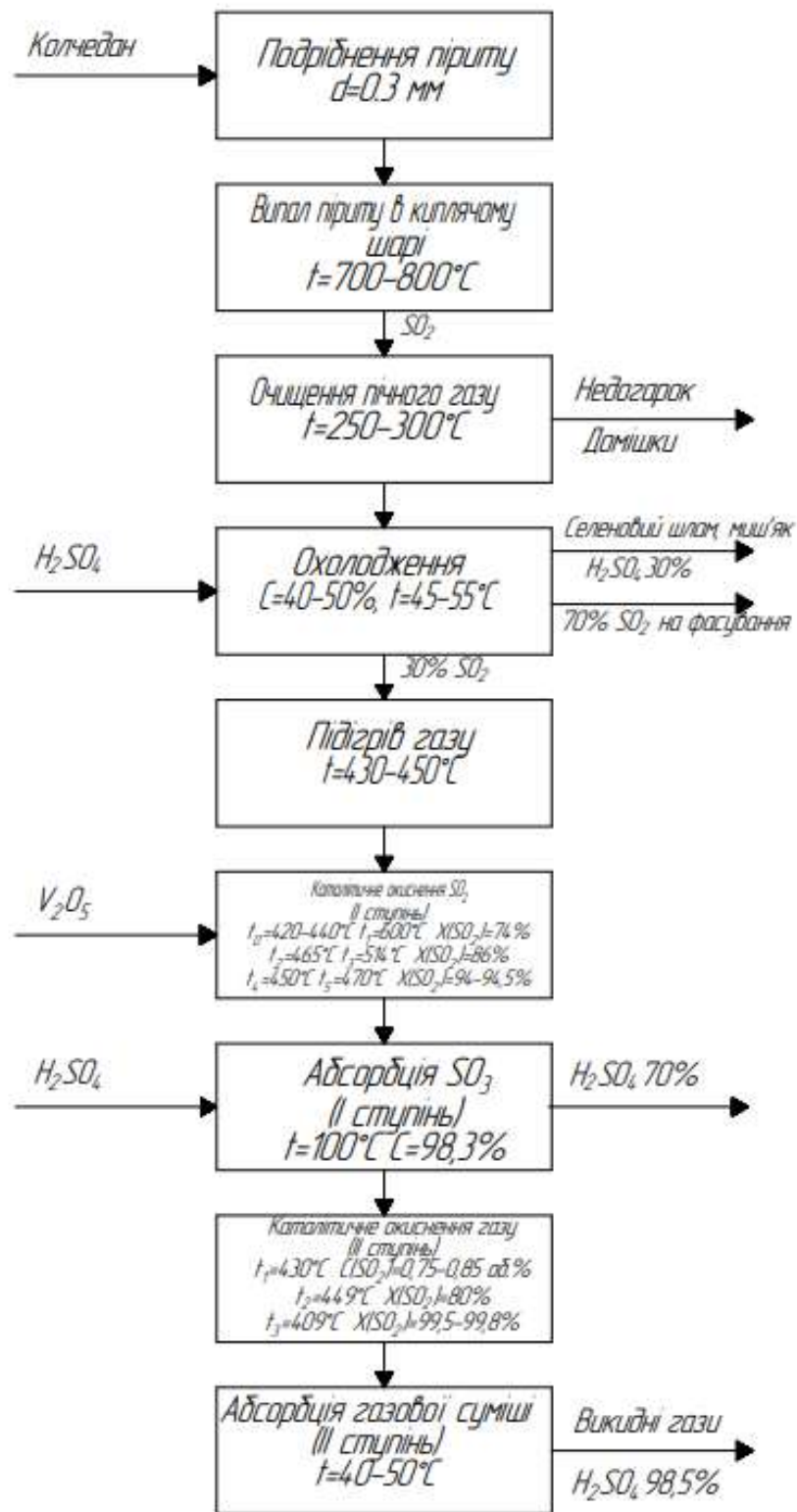


Рис. 2.1 Принципова технологічна схема удосконалення технології отримання діоксиду сірки

2.3 Розрахунок матеріального балансу

Розрахунок матеріального балансу є основним етапом. На основі матеріального балансу визначається цілий ряд найважливіших техніко-економічних показників: витрата сировини і допоміжних матеріалів для забезпечення заданої продуктивності; тепловий баланс і, відповідно, витрата енергії, і теплообмінну апаратуру; економічний баланс виробництва, собівартість продукції і, отже, рентабельність виробництва [28].

Даний розрахунок проводиться на 1667 кг/год колчедану.

Матеріальний баланс стадії подрібнення піриту 1667 кг/год

Таблиця 2.1

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Колчедан	1667,0	Колчедан (0,3мм)	1634,0
		Колчедан (>0,3мм) (2%)	33,0
Всього	1667,0	Всього	1667,0

$$\frac{40000 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}}{24} = 1667 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (2.1)$$

$$1667 \times 0,02 = 33 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (2.2)$$

$$1667 - 33 = 1634 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (2.3)$$

Матеріальний баланс стадії випалу колчедану

Вихідні дані:

1. У піч надходить колчедан 1634 кг/год.

2. Склад колчеданна, % мас:

FeS₂ – 70%;

пісок (глина) -25%;

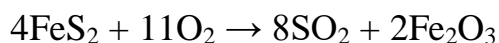
волога – 5%.

3. Вміст FeS₂ в огарки – 2%.

4. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,5$.

Склад повітря кисень – 21 % об., Азот-79 % об.

Рішення:



1. Розрахуємо, скільки піриту міститься в колчедані за формулою 2.4:

$$1634 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 0,7 = 1143,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.4)$$

2. Розрахуємо, скільки піску міститься в колчедані за формулою 2.5:

$$1634 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 0,25 = 408,5 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.5)$$

3. Розрахуємо, скільки вологи міститься у колчедані за формулою 2.6:

$$1634 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 0,05 = 81,7 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.6)$$

4. Молярна маса компонентів реакційної суміші:

$$\begin{aligned} Mr(\text{FeS}_2) &= 120 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}, Mr(\text{O}_2) = 32 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}, \\ Mr(\text{Fe}_2\text{O}_3) &= 160 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}, Mr(\text{SO}_2) = 64 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}. \end{aligned}$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

5. Розрахуємо, скільки діоксиду сірки по масі вийде при випалюванні 1634 кг колчедану, що містить 1143,8 кг піриту за формулою 2.7:

$$\frac{1143,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 8 \times 64 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}}{4 \times 120 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}} = 1220,1 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.7)$$

6. Розрахуємо масу утвореного недогарка за формулою 2.8:

$$\frac{1143,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 160 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}} \times 2}{4 \times 120 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}} = 762,5 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.8)$$

7. Розрахуємо вміст FeS₂ в огарки за формулою 2.9:

$$762,5 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 0,02 = 15,25 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.9)$$

8. Розрахуємо вміст Fe₂O₃ за формулою 2.10:

$$762,5 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} - 15,25 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} = 747,25 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.10)$$

9. Розрахуємо масу кисню, витраченого на отримання 1220,1 кг/год SO₂ за формулою 2.11:

$$\frac{1220,1 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 11 \times 32 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}}{8 \times 64 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}} = 838,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.11)$$

10. Розрахуємо масу кисню з урахуванням коефіцієнта надлишку повітря за формулою 2.12:

$$\alpha = 1,5$$

$$838,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 1,5 = 1258,12 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.12)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

11. Розрахуємо обсяг кисню за формулою 2.13:

$$\frac{838,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \times 22,4 \frac{\text{М}^3}{\text{КМОЛЬ}}}{32 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}} = 587,16 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \quad (2.13)$$

12. Розрахуємо обсяг кисню з урахуванням коефіцієнта надлишку повітря за формулою 2.14:

$$\alpha = 1,5$$
$$587,16 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \times 1,5 = 880,7 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \quad (2.14)$$

13. Розрахуємо обсяг повітря, що надійшов на окислення за формулою 2.15:

$$\frac{880,7 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}}}{0,21} = 4194 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \quad (2.15)$$

14. Розрахуємо масу повітря, що надійшло на окислення за формулою 2.16:

$$\frac{4194 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}} \times 28,84 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}}}{22,4 \frac{\text{М}^3}{\text{КМОЛЬ}}} = 5399,9 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.16)$$

15. Розрахуємо масу відпрацьованого повітря за формулою 2.17:

$$\left(5399,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} - 1258,12 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \right) + \left(1258,12 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} - 838,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \right) = 4561 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.17)$$

16. Розрахуємо масу вийшов кисню за формулою 2.18:

$$1258,12 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} - 838,8 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} = 419,3 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.18)$$

Отже, отримані розрахунки розміщуємо у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Матеріальний баланс стадії випалу колчедану

Стаття приходу		Стаття витрат	
Вихідна речовина	Кг/год	Вихідна речовина	Кг/год
Колчедан, у	1634,0	SO ₂	1220,1
т.ч.:		Піритний	1252,8
-пірит	1143,8	недогарок, у	
-волога	81,7	т.ч. .:	
- пісок (глина)	408,5	-Fe ₂ O ₃	747,3
Повітря, у	5399,9	-пірит	15,3
т.ч.:		-пісок (глина)	408,5
-O ₂	1258,1	Відпрацьоване	4561
Холодна вода	342,3	повітря,	
		в т.ч. .:	
		-O ₂	419,3
		- N ₂	4141,7
		Водяна пара	342,3
Всього	7376,2	Всього	7376,2

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
Водяна пара	342,3	Піритний недогарок, у т.ч. : -Fe ₂ O ₃ -пірит -пісок (глина) -волога	1252,8 747,3 15,3 408,5 81,7
		Водяна пара	342,3
Всього	2815,2	Всього	2815,2

Таблиця 2.4

Матеріальний баланс стадії охолодження

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
SO ₂	1092,0	SO ₂	1081,1
Водяна пара	342,3	Вода	342,3
		Втрати (1%)	10,9
Всього	1434,3	Всього	1434,3

Після стадії охолодження частина, а саме 70 % SO₂, йде на фасування у балони, а інша 30 % на виробництво сульфатної кислоти.

Матеріальний баланс стадії підігріву газу

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
SO ₂	324,3	SO ₂	304,9
Вода	102,7	Водяна пара	102,7
		Втрати (6%)	19,4
Всього	427,0	Всього	427,0

Матеріальний баланс стадії каталітичного окиснення

SO₂

Загальна ступінь перетворення SO₂ до SO₃ складає 99,5 %. Газова суміш приблизно наступного оптимального складу: 7% SO₂, 11% O₂, 82% N₂.

1. Кількість SO₂ окисненого до SO₃ розраховуємо за формулами 2.22 та 2.23:

$$G_1(SO_2) = 304,9 \times 0,995 = 303,4 \text{ кг} \quad (2.22)$$

$$n_1(SO_2) = \frac{303,4}{64} = 4,7 \text{ кмоль} \quad (2.23)$$

2. Кількість утвореного SO₃ розраховуємо за формулою 2.24:

$$G(SO_3) = 4,7 \times 80 = 376,0 \text{ кг} \quad (2.24)$$

3. Кількість SO₂, що не прореагував розраховуємо за формулою 2.25:

$$G_2(SO_2) = 304,9 - 303,4 = 1,5 \text{ кг} \quad (2.25)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

4. Кількість кисню та азоту у газовій суміші розраховуємо за формулами 2.26 та 2.27:

$$G_1(O_2) = \frac{303,4 \times 11}{7} = 476,8 \text{ кг} \quad (2.26)$$

$$G(N_2) = \frac{303,4 \times 82}{7} = 3554,1 \text{ кг} \quad (2.27)$$

5. Кількість кисню, що взяла участь в реакції окиснення розраховуємо за формулою 2.28:

$$G_2(O_2) = \frac{4,7}{2} \times 32 = 75,2 \text{ кг} \quad (2.28)$$

6. Кількість кисню, що не прореагував розраховуємо за формулою 2.29:

$$G_3(O_2) = 476,8 - 75,2 = 401,6 \text{ кг} \quad (2.29)$$

Таблиця 2.6

Матеріальний баланс стадії каталітичного окиснення SO₂

Стаття приходу		Стаття витрат	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
SO ₂	304,9	SO ₃	376,0
Волога	102,7		
Повітря в		SO ₂	1,5
т. ч.			
O ₂	476,8		
N ₂	3554,1		
		Водяна пара	102,7

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4
		Повітря в т.ч. O ₂ N ₂	401,6 3554,1
		Втрати (<1%)	2,6
Всього	4438,5	Всього	4438,5

Матеріальний баланс стадії абсорбції

1. Кількість отриманої сірчаної кислоти розраховуємо за формулою 2.30:

$$G_1(H_2SO_4) = \frac{376,0}{80,0} \times 98,0 = 460,6 \text{ кг} \quad (2.30)$$

2. Кількість водяної пари, необхідної для утворення моногідрату розраховуємо за формулою 2.31:

$$G_1(H_2O) = 460,6 - 376,0 = 84,6 \text{ кг} \quad (2.31)$$

3. Надлишок водяної пари розраховуємо за формулою 2.32:

$$G_2(H_2O) = 102,7 - 84,6 = 18,1 \text{ кг} \quad (2.32)$$

4. Загальна маса сульфатної кислоти розраховуємо за формулою 2.33:

$$G_2(H_2SO_4) = 18,1 + 460,6 = 478,7 \text{ кг} \quad (2.33)$$

Таблиця 2.7

Матеріальний баланс стадії абсорбції

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
SO ₃	376,0	Розчин кислоти в т.ч. H ₂ SO ₄	478,7 460,6
		Вода	18,1
Водяна пара	102,7	Повітря в т.ч. O ₂	3955,7 401,6
		N ₂	3554,1
Повітря в т.ч. O ₂	3955,7 401,6	SO ₂	1,5
N ₂	3554,1		
SO ₂	1,5		
Всього	4435,9	Всього	4435,9

Таблиця 2.8

Матеріальний баланс удосконаленого виробництва діоксиду сірки

Стаття приходу		Стаття витрат	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4
Колчедан, у т.ч.:	1667,0	Розчин кислоти в т.ч.	478,7
-пірит	1166,9	H ₂ SO ₄	460,6
-волога	416,8	Вода	18,1
- пісок (глина)	83,3		
Повітря, у т.ч.:	9430,8	Повітря в т.ч. :	8516,8
- O ₂	1734,9	O ₂	820,9
-N ₂	7695,9	N ₂	7695,9
Холодна вода	445,0	SO ₂	758,3
		Втрати (6%)	19,4
		Втрати (1%)	10,9
		Втрати (<1%)	2,6
		Пил	128
		Піритний недогарок, у т.ч. .:	1252,8
		-Fe ₂ O ₃	747,3
		-пірит	15,3
		-пісок (глина)	408,5
		-волога	81,7
		Колчедан (>0,3мм) (2%)	33
		Вода	342,3
Всього	11542,8	Всього	11542,8

2.4 Розрахунок теплового балансу

Розрахунок теплового балансу проводиться для стадії випалу колчедану.

Прихід теплоти

Температура колчедану при вході в піч дорівнює 20 °С. Теплоємність колчедану дорівнює 0,515 кДж/кг·К.

1. Теплота сухого колчедану розраховується за формулою 2.34:

$$Q_{\text{сух.кол.}} = \left(1634 \frac{\text{кг}}{\text{год}} - 81,7 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \right) \times 0,515 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}} \times 20^\circ\text{C} = 15988,7 \text{ кДж} \quad (2.34)$$

2. Теплота вологого колчедану розраховується за формулою 2.35:

$$Q_{\text{вол.кол.}} = 81,7 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \times 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}} \times 20^\circ\text{C} = 6846,5 \text{ кДж} \quad (2.35)$$

3. Теплота повітря 5399,8 кг/год = 4484,9 м³/год розраховується за формулою 2.36:

$$Q_{\text{пов.}} = 4484,9 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \times 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \times \text{К}} \times 20^\circ\text{C} = 116607,4 \text{ кДж} \quad (2.36)$$

4. Сума теплоти розраховується за формулою 2.37:

$$\sum Q_{\text{вхід}} = 15988,7 \text{ кДж} + 6846,5 \text{ кДж} + 116607,4 \text{ кДж} = 139442,6 \text{ кДж} \quad (2.37)$$

Згоряння колчедану в печі

Нехай в колчедані міститься 45% сірки, тоді:

1. Вміст сірки в сухому колчедані розраховується за формулою 2.38:

$$C_{\text{S факт.}} = \frac{45\%}{1,634 \frac{\text{т}}{\text{год}} - 0,0817 \frac{\text{т}}{\text{год}}} = 28,99\% \quad (2.38)$$

2. Вихід огарку на 1,5523 т/год колчедану розраховується за формулою 2.39:

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X = \frac{160 - C_{S \text{ факт.}}}{160 - C_{SO_2}} = \frac{160 - 28,99\%}{160 - 2\%} = 0,83 \frac{\text{т}}{\text{год}} \quad (2.39)$$

3. Кількість вигорілої сірки розраховується за формулою 2.40:

$$\begin{aligned} C_{S \text{ вигор.}} &= C_{S \text{ факт.}} - X \times C_{SO_2} = 28,99\% - 0,83 \frac{\text{т}}{\text{год}} \times 2\% = \\ &= 27,33\% \text{ (від маси колчедану)} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Тепловий ефект реакції горіння колчедану розраховується за формулами 2.41 та 2.42:

$$Q_{\text{згор.}} = 1552,3 \text{ кг} \times 133,2 \times 27,33\% = 5650924,6 \text{ кДж} \quad (2.41)$$

$$Q_{\text{всього}} = \sum Q_{\text{вхід}} + Q_{\text{згор.}} = 139442,6 + 5650924,6 = 5790367,2 \text{ кДж} \quad (2.42)$$

Витрати теплоти

Теплоємність недогарку дорівнює 0,84 кДж/кг·К.

Середня теплоємність опалювального газу 1,43 кДж/м³·К.

1. Із недогарком з печі виноситься теплота, що розраховується за формулою 2.43 :

$$Q_{\text{недогарок}} = 1252,7 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \times 0,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}} \times 800^\circ\text{C} = 841814,4 \text{ кДж} \quad (2.43)$$

2. З газами виноситься теплота, що розраховується за формулою 2.44:

$$Q_{\text{газів}} = 3788,2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \times 1,43 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \times \text{К}} \times 800^\circ\text{C} = 4333700,8 \text{ кДж} \quad (2.44)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3. Витрата теплоти за розрахованими статтями розраховується за формулою 2.45:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{недогарок}} + Q_{\text{газів}} = 841814,4 \text{ кДж} + 4333700,8 \text{ кДж} = 5175515,2 \text{ кДж} \quad (2.45)$$

4. Кількість теплоти, що використовується для випаровування води та отримання пари розраховується за формулою 2.46:

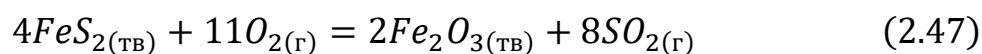
$$Q = Q_{\text{всього}} - Q_{\text{в}} = 5790367,2 \text{ кДж} - 5175515,2 \text{ кДж} = 614852 \text{ кДж} \quad (2.46)$$

Отже, отримані розрахунки розміщуємо у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9.

Тепловий баланс балансу стадії випалу піриту

Прихід		Витрати	
Складова	кДж	Складова	кДж
Сухий колчедан	15988,7	З недогарком	841814,4
Вологий колчедан	6846,5	З опалювальним газом	4333700,8
Повітря	116607,4	Теплота, що витрачається на отримання водяної пари	614852
Горіння колчедану	5650924,6		
Всього	5790367,2	Всього	5790367,2



$$\Delta H_{298K}^{\circ}(O_2) = 0 \text{ кДж}$$

$$\Delta H_{298K}^{\circ}(SO_2) = -296,9 \text{ кДж}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ} &= 8 \times \Delta H_{298K}^{\circ}(SO_2) - 11 \times \Delta H_{298K}^{\circ}(O_2) = 8 \times (-296,9) - 0 = \\ &= -2375,2 \text{ кДж} \end{aligned} \quad (2.48)$$

$$Q = 2375,2 \text{ кДж}$$

2.5 Підбір основного технологічного обладнання

Суттєвими перевагами методу випалу колчедану в печах КШ є:

- а) можливість отримання концентрованого сірчистого газу (12 - 15% SO₂) з низьким вмістом сірчаного ангідриду і миш'яку у випалювальному газі;
- б) висока інтенсивність печей. Так, інтенсивність печей КШ (в кг/(м²×доб)) в 80 разів вище інтенсивності механічних печей і в 4 рази - печей пилоподібного випалу.

Вміст миш'яку в сірчистому газі після печей КШ залежить від температури випалу і від концентрації SO₂. Можливість отримувати при певному режимі випалу газ з незначним вмістом миш'яку дозволила застосувати такі печі в системі зі спрощеним очищенням газу.

Печі з виваженням (киплячим) шаром мають циліндричну футеровану камеру з ґратами, на яку безперервно надходить колчедан. Під ґрати подається повітря зі швидкістю, яка забезпечує перехід часток у завислий стан, але не є достатньою для їх унесення з печі. Частинки колчедану знаходяться в безперервному русі, що нагадує кипіння рідини. Час перебування частинок колчедану в печі становить кілька секунд. Постійний приплив повітря забезпечує майже повне вигорання сірки з колчедану. Зважений шар має

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висоту, яка визначається розташуванням патрубка для виведення недогарка. Частинки недогарка вільно вилітають через патрубок завдяки високій рухливості зваженого шару. Піч для випалу колчедану в киплячому шарі представлена на рис.2.2.

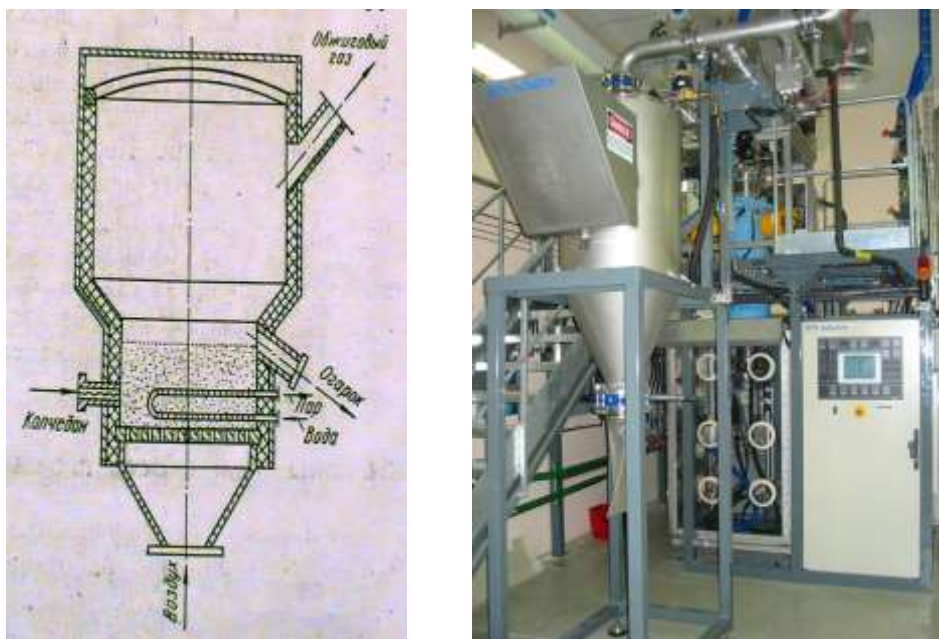


Рис. 2.2 Піч для випалу колчедану в киплячому шарі

На рис. 2.2 видно, що схема досить загальна. Сучасні печі можуть відрізнятися, але технологічна схема залишиться такою ж.

Існують печі КШ з одинарним і подвійним киплячим шаром. На рис. 2.2 представлена піч КШ для випалу колчедану з одним киплячим шаром. Пристрій самої зони киплячого шару представлений на рис. 2.3.



Рис. 2.3 Пристрій зони киплячого шару

Основні характеристики:

- число оборотів $n=0,5 - 2$ об/хв.;
- коефіцієнт заповнення $K_{\text{запол}} = 0,1$;
- швидкість газу $W_{\text{газа}} < 6$ м/с (для запобігання виносу частинок);
- діаметр барабана $D_{\text{н}} = 1,8 - 3,5$ м.;
- довжина до 100 м.

Кожух шахти печі сталевий, всередині футерований вогнетривкою цеглою. У нижній частині печі знаходяться грати (подова плита) 6 з великим числом отворів. Колчедан надходить в завантажувальну камеру 9, недогарок виводиться через бункер 7. Первинне повітря подається під грати 6, вторинне - з колектору 1, розташованого на деякій висоті від верхнього рівня киплячого шару колчедану. Для використання тепла горіння в киплячий шар колчедану поміщені охолоджуючі елементи 5 - труби з вуглецевої сталі, по яких циркулює вода.

Нагріта вода надходить в паровий котел-утилізатор. У завантажувальній камері також перебувають охолоджуючі елементи 8, з'єднані з системою котла-утилізатора. Топкові гази виходять з печі в трубу 10. Для розпалювання печі є форсунка 2, що працює на газі або мазуті. Піч киплячого шару для випалу колчедану представлена на рис. 2.4.

Особливості молотковій дробарки «ЄМ 30-200»:

Велика функціональність (реверсивна). Може працювати з більшістю сировини будь-якої вологості.

Роторна структура подрібнювача забезпечує рівномірне подрібнення сировини, що особливо необхідно для технологічного виробництва.

Устаткування пройшло випробування балансування і вібростійкості перш ніж надійти в продаж. Завдяки чому, знос молотків відбувається рівномірно що має велике значення в придбанні витратних деталей і це забезпечує плавність і безпеку роботи дробарки.

Молотковий подрібнювач працює в парі з бункером накопичувачем сировини, транспортером подачі, витяжним вентилятором і циклоном, який може відфільтрувати пил з готової продукції.

Технічні характеристики дробарки представлені у табл. 2.10. Вигляд дробарки можна побачити на рис. 2.5.

Таблиця 2.10

Технічні характеристики дробарки



Рис. 2.5 Молоткова дробарка

Модель і характеристики.	«ЕМ 60»
Встановлена потужність кВт	60
Подрібнена фракція мм.	от 0,5мм
Кількість молотків	80
Молоток мм.	8
Електродвигун	Україна
Ротор об / хв	3000
Маса, кг.	1400

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Перевагою дробарки є якість матеріалів, відмінна збірка, простота в експлуатації, невелика вібрація і висока ефективність робочого процесу робить це обладнання високого класу.

Циклон типу ЦН-15, представлений на рис. 2.6, є одним з найбільш універсальних циклонів для очищення повітря, газів що використовуються в промисловості України. Особливо популярне застосування дана модель має в таких технологічних процесах як спалювання твердого палива, випал, сушка, агломерація, аспірація. Цей тип циклону досить часто встановлюють на підприємствах чорної металургії, нафтової та хімічної промисловості, а також в енергетиці. Ступінь очищення димових газів складає 85-95%.

Конструкція циклону ЦН 15 влаштована таким чином, що рух пило-повітряної суміші відбувається по траєкторії спіралі зверху вниз по осі циклону. Кут нахилу повітряного потоку на вході в циклон становить 15° . Швидкість руху пило-повітряної суміші в циклоні ЦН15 становить 5-7 м/с.

Такий рух закрученого потоку створює відцентрову силу, яка під впливом сил інерції змушує тверді частинки пилу в газі стикатися зі стінками циклону і обсіпатися вниз в бункерний відсік. Повітряна суміш проходить 4-6 оборотів і, досягнувши нижньої позначки конусної частини циклону ЦН-15, чисте повітря піднімається вгору по осі циклону і, як наслідок, виходить через верхній патрубок.

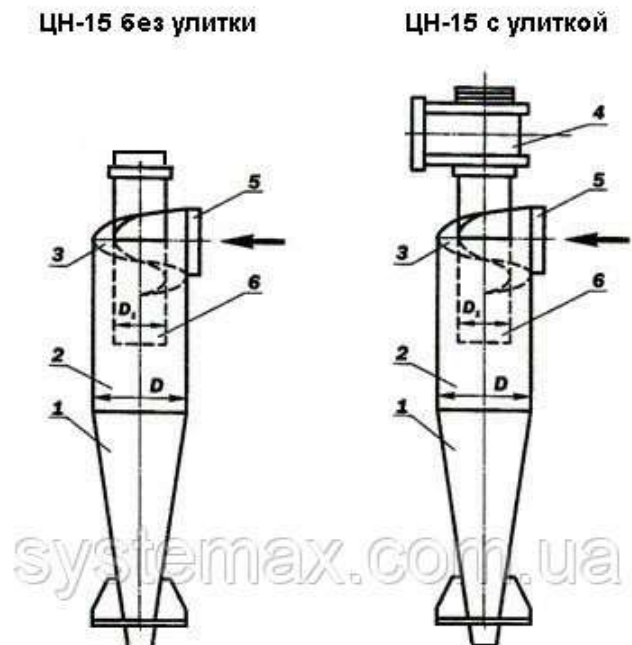


Рис. 2.6 Циклон ЦН 15:

1 - конічна частина, 2 - циліндрична частина, 3 - гвинтова кришка, 4 - равлик, 5 - вхідний патрубок, 6 - вихлопна труба

Електрофільтр типу ЕВР, представлений на рис. 2.7, призначений для уловлювання вугільного пилу з газів і газоповітряних сумішей в процесі сушіння твердого палива, а також з аспіраційного повітря кульових млинів в різних галузях промисловості. Секції апаратів поділені суцільними перегородками. Активна зона електрофільтрів складається з широкосмугових осаджувальних і стрічково-голчастих електродів. Відстань між сусідніми осаджувальними електродами 350 мм.

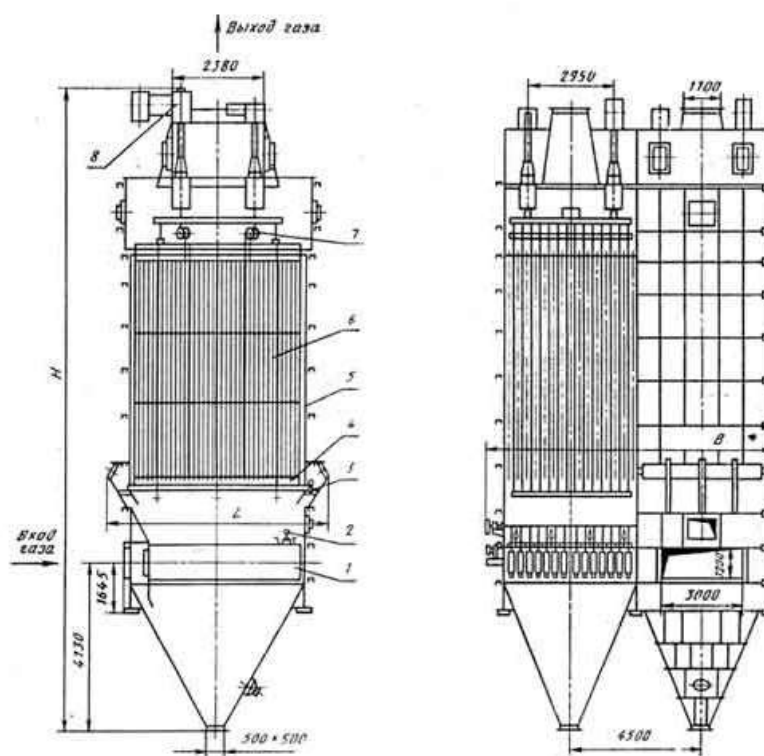


Рис. 2.7 Електрофільтр типу ЕВР

Видалення пилу з електродів механічне, періодичним струшуванням ударами молотків.

У зв'язку з можливістю виникнення в електрофільтрах вибухонебезпечної ситуації, при порушеннях технологічного режиму, верхня частина корпусу апаратів виготовлена у вигляді відкритих (в атмосферу) шахт з додатковими відкидними запобіжними клапанами.

Електрофільтри типу ЕВР мають продуктивність від 28800 до 86400 м³/год при швидкості газів в активній зоні 1 м/с. Електрофільтри

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

розраховані на величину масової концентрації пилю в очищеному газі на вході не більше 20 г/м³.

Відцентрова розпилювальна сушарка LPG-700, представлена на рис. 2.8, виготовляють відповідно до міжнародними сертифікатами ISO9001: 2008 і ISO 14001: 2004, СЕ. Інженерно-технічна служба має великий досвід і навичками і готова виготовити обладнання за запитом замовника для застосування у фармацевтичній, хімічній, харчовій, біотехнологічній, сільськогосподарської промисловості.



Рис. 2.8 Відцентрова розпилювальна сушарка

Процес

- Режим розпилення: під тиском.
- Контакт крапель з гарячим повітрям: паралельний потік.
- Джерело тепла і режим нагріву: газова піч з безпосереднім нагріванням.
- Температура повітря на вході: 280 - 300 ° С (регулюється, проектувати відповідно до 300 °С).
- Температура відводиться повітря: 90 ~ 110 °С (спроєктовано відповідно до 100 °С).
- Режим прийому матеріалу: циклонний сепаратор + збір концентрованого матеріалу з осушенням.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові умови навколишнього середовища

- Атмосферний тиск: 101,3 кПа.
- Температура навколишнього середовища: 5 °С.
- Відносна вологість: 60%.

Відцентровий насос MB 150 - це хімічний насос горизонтального типу, з корпусом з поліпропілену PP або фторопласта PVDF. Перекачує хімічні рідини в'язкістю до 500 сПз і можливим вмістом твердих частинок до 2 мм. Відцентровий насос MB 150 горизонтального типу оснащений механічним ущільненням на вибір: манжетним (TL) або сільфонним (TS). Загальний вигляд відцентрового насосу MB-150 можна побачити на рис. 2.9.

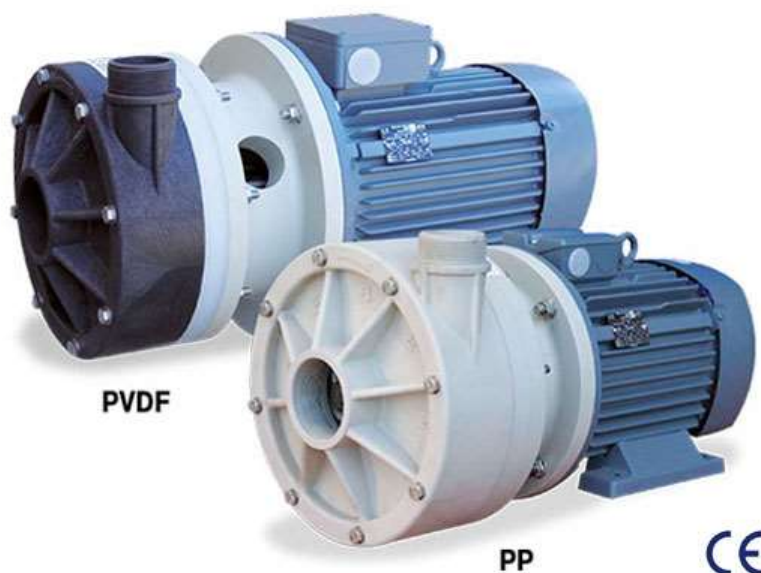


Рис. 2.9 Відцентровий насос MB 150 горизонтального типу

Основні можливості горизонтального насоса MB 150

- Продуктивність відцентрового насоса до 42 м³/год
- Можливо перекачування рідин, що містять тверді і нерозчинні частинки, розміром до 2 мм.
- Перекачування рідин в'язкістю до 500 сПз
- Механічне манжетні або сільфонні ущільнення;
- Зручний у технічному обслуговуванні і заміні запасних частин

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- Невисока вартість комплектуючих

Контактний п'ятишаровий апарат, представлений на рис. 2.10, призначений для окиснення сірчистого газу (SO_2) в сірчаний газ (SO_3) у виробництві сірчаної кислоти контактним способом. Деталі внутрішніх пристроїв з вуглецевих сталей, що стикаються безпосередньо з газом, металізовані алюмінієм (товщина покриття $0,15 \pm 0,03$ мм). Контактний апарат поставляється укрупненими блоками і вузлами. Остаточна збірка проводиться на монтажному майданчику замовника.

Технічні характеристики контактного апарату представлені у таблиці 2.11.

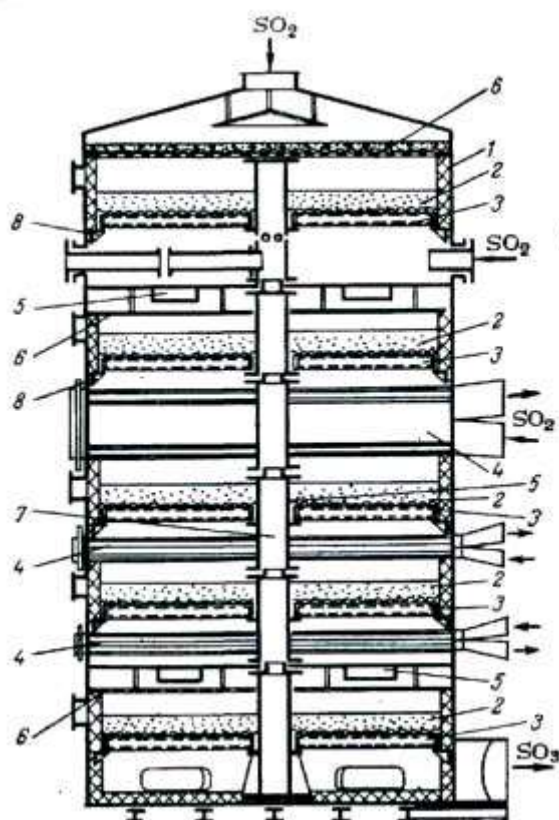


Рис. 2.10 Контактний апарат К-58-5:

1 - корпус; 2 – шари каталізатора; 3 – колосникові решітки; 4 – горизонтальні теплообмінники; 5 – змішувачі газів; 6 – розподільні решітки; 7 – центральна стійка; 8 – опорні кільця

Технічні характеристики контактного апарату

Параметри	Значення
Місткість, м ³	500
Продуктивність по моногідрату, м ³ /год	136000
Середовище	Сірчистий газ
Концентрація O ₂ ,%: на вході на виході	9 0,3
Ступінь контактування, %	97
Робочий тиск, МПа (кг·с/см ²)	до 0,024 (0,24)
Робоча температура середовища, °С	422 – 588
Допустима температура стінки корпусу, °С: максимальна мінімальна	475 0
Швидкість газу, м/с	0,15
Матеріал: корпуса внутрішніх пристроїв	сталь 09Г2С сталь 09Г2С, 12Х18Н10Т, жароміцний чавун ЧХ2
Маса, кг	518000

Моногідратний тарілчастий абсорбер представляє собою, як правило, вертикальну колону, всередині якої на певній відстані один від одного розміщені горизонтальні перегородки – тарілки. За допомогою тарілок здійснюється спрямований рух фаз і багаторазова взаємодія рідини і газу.

Таким чином, процес масоперенесення в тарілчастих колонах здійснюється в основному в газорідних системах, створюваних на тарілках,

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

тому в таких апаратах процес проходить східчасто, і тарілчасті колони на відміну від насадок, в яких масоперенесення відбувається безперервно, відносять до групи східчастих апаратів.

На кожній тарілці, в залежності від її конструкції, можна підтримувати той чи інший вид руху фаз, зазвичай перехресний струм або повне перемішування рідини.

За способом зливу рідини з тарілки абсорбери цього типу поділяють на колони з тарілками із зливними пристроями і з тарілками без зливних пристроїв (з неорганізованим зливом рідини).

До тарілчастих апаратів із зливними пристроями відносяться колони з ковпачковими, сітчастими, клапанними і іншими тарілками. Ці тарілки мають спеціальні пристрої для перетікання рідини з однієї тарілки на іншу - зливні трубки, кишені і ін. Нижні кінці зливних пристроїв занурені в рідину на нижчих тарілках для створення гідрозатвори, що запобігає проходженню газу через зливний пристрій. Схема тарілчастої колони представлена на рис. 2.11.

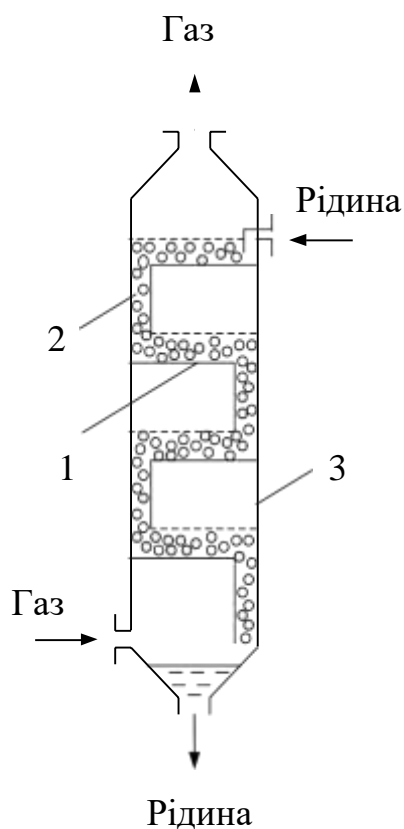


Рис. 2.11 Схема тарілчастої колони:

- 1 - тарілка,
- 2 - пристрій для перетікання рідини,
- 3 - корпус

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Сітчаста тарілка - горизонтальна перегородка в формі кола, що має перфоровані круглі отвори $d = (2 \dots 20)$ мм або щілинні отвори шириною 4 мм.

Газ проходить через отвори в тарілці, рідина перетікає з тарілки на тарілку по переливних трубах або через переливний поріг. Оптимальний розмір отворів $d = (8 \dots 12)$ мм. Отвори розташовують у вершинах рівностороннього трикутника з кроком $t = (2,5 \dots 5) d$. Отвори віддалені від стінок апарату на 50 мм, від зливного склянки на 100 мм.

Вільне перетин тарілки становить $\sim 2 \dots 15\%$, висота шару рідини (без спінювання) ~ 50 мм. Тарілчастий абсорбер з сітчастими тарілками представлений на рис. 2.12.

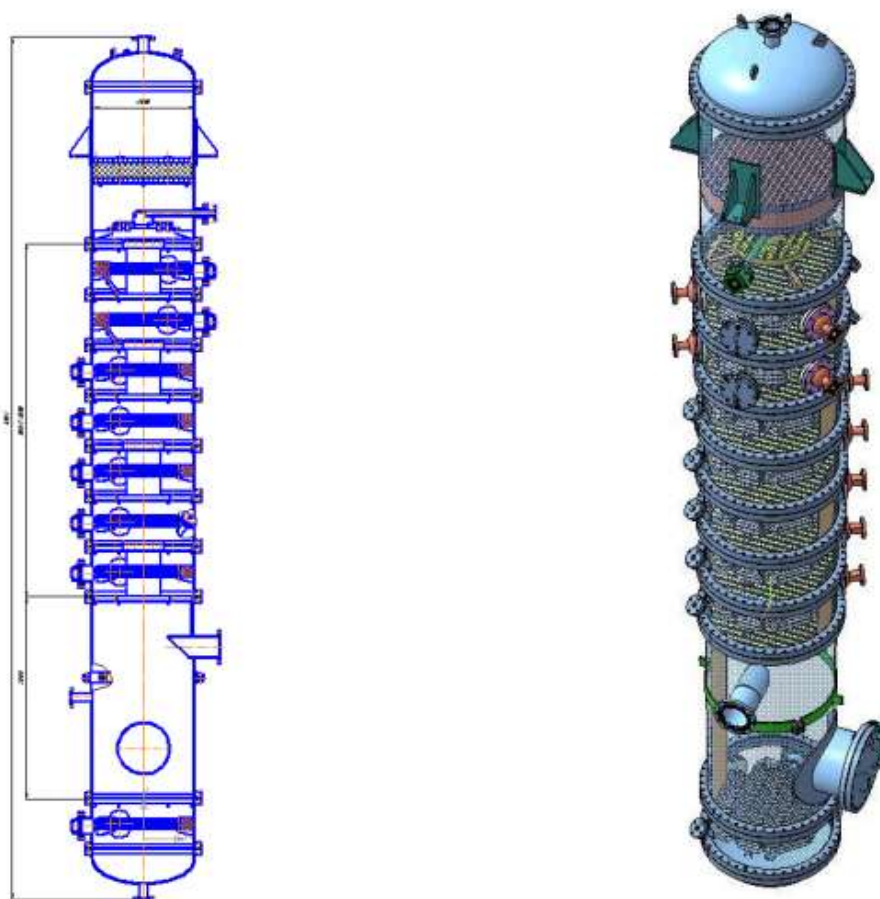


Рис. 2.12 Тарілчастий абсорбер з сітчастими тарілками

2.6 Розрахунок тарільчатого абсорбера

Мета технологічного розрахунку – визначення поверхні масо передачі й геометричних розмірів апарату [29] .

Поверхня масопередачі може бути знайдена з основного рівняння масо передачі за формулою 2.49:

$$F = \frac{M}{(K_x \Delta \bar{X}_c)} = \frac{M}{(K_y \Delta \bar{Y}_c)} \quad (2.49)$$

де K_x і K_y - коефіцієнти масопередачі відповідно для рідкої і газової фаз, кг/(м²·с); $\Delta \bar{X}_c$ і $\Delta \bar{Y}_c$ - середні рушійні сили по фазах, кг/кг; М – кількість аміаку, що поглинається водою за одиницю часу, кг/с.

Необхідні для розрахунку тарільчастого абсорбера параметри:

Кількість поглинутого SO₃ розраховується за формулою 2.50:

$$G_{SO_3} = \frac{1264}{3600} = 0,35 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.50)$$

Відстань між сітчастими тарілками для тарільчастих колон абсорберу становить $h_T = 0,3$ м і коефіцієнт дорівнює $C = 0,03$.

При температурі $t = 50$ °С щільність воді становить 988,1 кг/м³.

Густина газової суміші визначається за рівнянням 2.51:

$$\rho_{г.с.} = \frac{M_{SO_3}}{22,4} \times y_{SO_3} + \frac{M_{пов.}}{22,4} \times y_{пов.} = \frac{80}{22,4} \times 0,09 + \frac{29}{22,4} \times 0,91 = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.51)$$

Об'єм газової суміші розраховується за формулою 2.52:

$$V_{SO_3} = \frac{0,35}{1,5} = 0,23 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.52)$$

Діаметр абсорбера розрахуємо з рівняння витрат 2.53:

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (2.53)$$

де V – об’ємні витрати газу за робочої температури t в абсорбері, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – швидкість газу, віднесена до повного поперечного перерізу абсорбера (робоча швидкість), $\text{м}/\text{с}$.

Визначимо робочу швидкість газу за рівнянням 2.54:

$$w = 0,05(\rho_B/\rho_{г.с.})^{0,5} = 0,05 \cdot \left(\frac{988,1}{1,5}\right)^{0,5} = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.54)$$

Діаметр абсорбера розраховується за формулою 2.55:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,23}{3,14 \cdot 1,3}} = 0,5 \text{ м} \quad (2.55)$$

Вибираємо сітчасту тарілку (ОСТ 26-805-73) ТС-500 з характеристиками:

Робоче січення тарілки – $0,089 \text{ м}^2$;

Діаметр отворів - 5 мм ;

Крок отворів - 12 мм ;

Відносне вільне січення тарілки – $10,3\%$

Січення переливу – $0,1 \text{ м}^2$;

Периметр зливу, L_3 – $0,4 \text{ м}$;

Відносна площа переливу $3,6 \%$.

Маса тарілки 10 кг .

Для розрахунку робочої висоти колони треба визначити кількість тарілок і відстань між тарілками.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідну кількість тарілок визначають діленням загальної площі тарілок F на робочу площу f однієї тарілки розраховуємо за формулою 2.56.

$$n = \frac{F}{f} \quad (2.56)$$

Для знаходження загальної площі тарілок звичайно використовують модифіковане рівняння масопередачі, в якому коефіцієнти масопередачі для рідкої K_{xf} і газової K_{yf} фаз відносять до одиниці робочої площі тарілки за формулою 2.57:

$$M = K_{xf} F \Delta \bar{X}_c = K_{yf} F \Delta \bar{Y}_c \quad (2.57)$$

де M - маса речовини, яка переноситься через поверхню масопередачі за одиницю часу, кг/с; F - загальна робоча площа тарілок в абсорбері, м².

Приймаємо загальну робочу площу тарілок $F = 0,52$ м².

Кількість тарілок розраховується за формулою 2.58:

$$n = \frac{0,52}{0,089} = 5,8 \quad (2.58)$$

Приймаємо кількість тарілок $n = 6$.

Відстань між тарілками складається з висоти барботажного шару (піни) h_6 і висоти сепараційного простору h_c розраховується за формулою 2.59:

$$h = h_6 + h_c \quad (2.59)$$

Висоту сепараційного простору розрахуємо, виходячи з допустимого бризковинесення з тарілки, який приймають 0,1 кг рідини на 1 кг газу. З іншого боку, бризковинесення з сітчастих тарілок можна розрахувати по залежності 2.60:

$$e = 0,000077 \left(\frac{73}{\sigma} \right) \cdot \left(\frac{w}{h_c} \right)^{3,2} \quad (2.60)$$

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

де σ – поверхневий натяг рідини, мН/м; w – швидкість газу, м/с.

Поверхневий натяг води при 50 °С дорівнює $\sigma = 67,9$ мН/м; $w = 1,3$ м/с.

Підставимо дані у приведену залежність 2.61:

$$0,1 = 0,000077 \left(\frac{73}{67,9} \right) \cdot \left(\frac{1,3}{h_c} \right)^{3,2} \quad (2.61)$$

Звідки $h_c = 0,14$ м.

Висота барботажного шару становить $h_6 = 0,09$ м.

Відстань між тарілками розраховується за формулою 2.62:

$$h = 0,14 + 0,09 = 0,23 \text{ м} \quad (2.62)$$

Вибираємо з стандартного ряду відстань між тарілками $h = 0,25$ м.

Висота тарільчатої частини абсорбера розраховується за формулою 2.63:

$$H_T = (n - 1) \cdot h = (6 - 1) \cdot 0,25 = 1,25 \text{ м} \quad (2.63)$$

Загальна висота абсорбера розраховується за формулою 2.64:

$$H = H_T + h_v + h_n \quad (2.64)$$

де h_v – відстань від верхньої тарілки до кришки абсорбера, м, і h_n – відстань між днищем абсорбера й нижньою тарілкою, які приймаються з конструктивних міркувань (звичайно, h_n приймають $(1 \div 1,5)d$).

Прийmemo $h_v = 1,5$ м; $h_n = 1,0$ м.

Тоді $H = 1,25 + 1,5 + 1,5 = 3,75$ м.

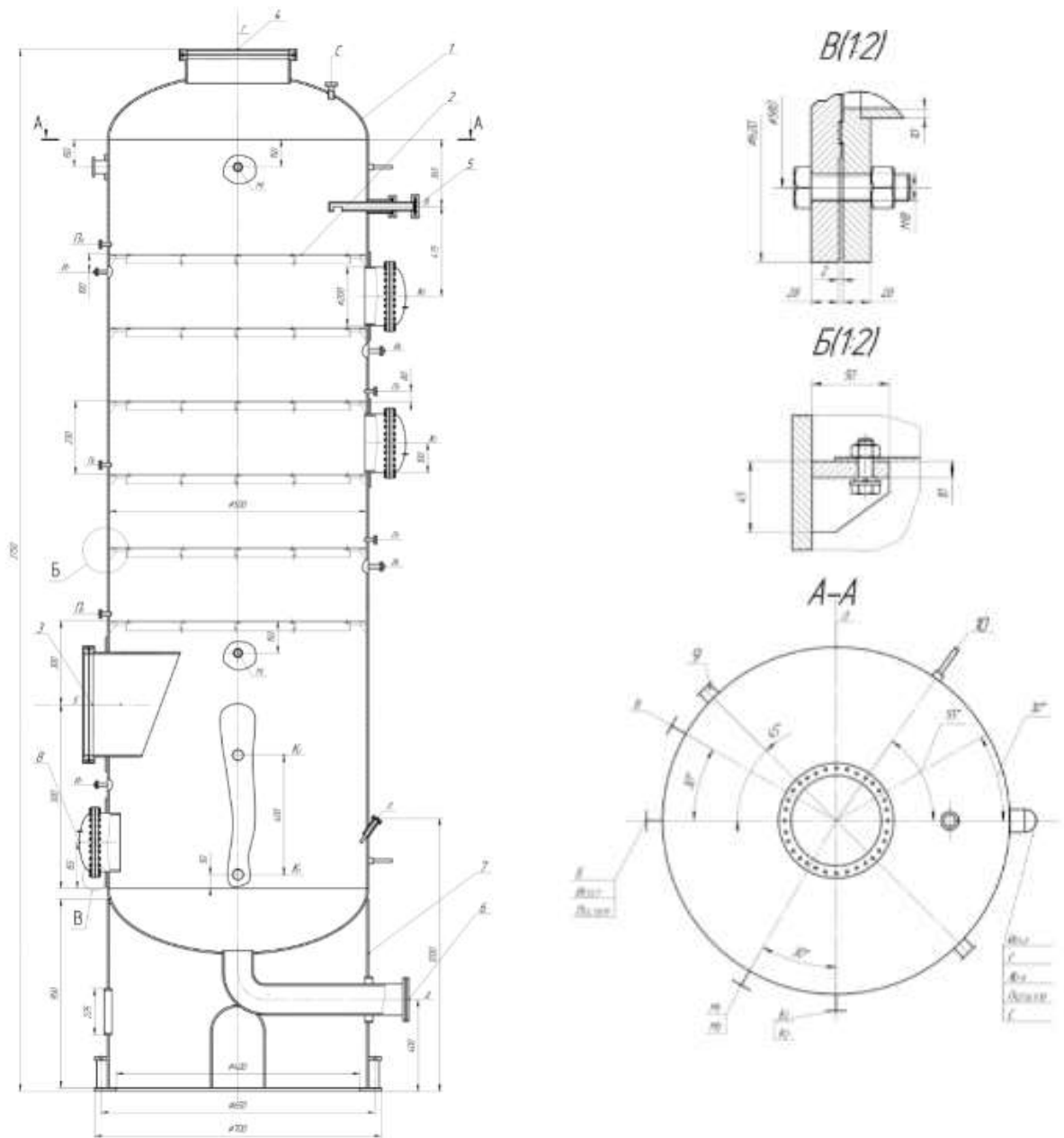


Рис. 2.13 Колонний тарільчатий абсорбер: Б – вхід газу; В – вхід рідини; Г – вихід газу; Д – вихід рідини; И1-7 - для термометра опору; Ж1-8 – люк; Л – для термометра ртутного; К1,2 – для камери рівнеміра; М1,2 – для виміру тиску; П1-11 – для відбора проб; С – для запобіжного клапану.

1 – корпус; 2, 11, 12, 13, 14, 15 – тарілки; 3 – вхід газу; 4 – вихід газу; 5 – вхід речовини; 6 – вихід речовини; 7 – опора; 8, 9, 10 – люки; 16 – цапфи; 17 – штирі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми

Розроблена апаратурно-технологічна схема удосконалення технології отримання діоксиду сірки представлена на рис. 2.14.

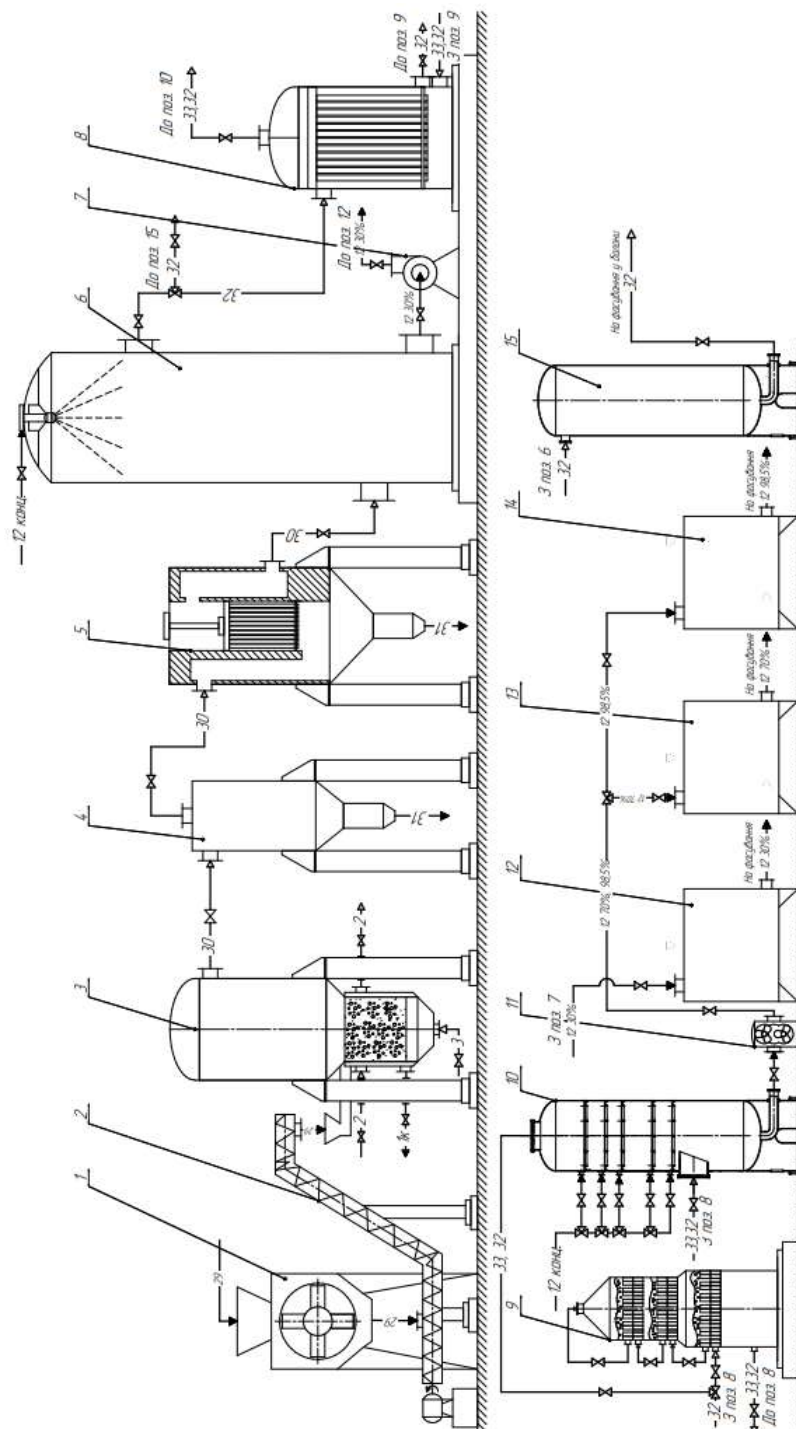


Рис. 2.14 Апаратурно-технологічна схема удосконалення технології отримання діоксиду сірки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Схема виробництва діоксиду сірки з сірчаного колчедану являє собою вертикальну порожнисту камеру циліндричної форми з листової сталі, футеровану зсередини вогнетривкою цеглою. Спочатку колчедан подрібнюється у молотковій дробарці 1 до розміру 0,3 мм. Внизу камери розміщена решітка, через яку шнековим транспортером 2 подається подрібнений колчедан. Колчедан переходить у піч КШ 3. Температура однакова у всьому шарі. За рахунок відводу теплоти вона підтримується на рівні 800°C. Випальний газ виходить з верхньої частини печі. Піч КШ за гідродинамічним режимом руху газової фази близька до режиму витіснення, за твердою фазою – до режиму змішування. За тепловим режимом піч КШ являє собою ізотермічний реактор з відводом надлишкової теплоти за рахунок введення в піч секції котла-утилізатора. В нього подається вода і відводиться пара.

Обпалювальний газ необхідно очистити від пилу, сірчаноокислотного туману і речовин, що є каталітичними отрутами або представляють цінність як побічні продукти. В обпалювальному газі міститься до 300 г/м³ пилу, який на стадії контакту засмічує апаратуру і знижує активність каталізатора, а також туман сірчаної кислоти. Крім того, при випаленні колчедану одночасно з окисненням дисульфиду заліза окиснюються сульфіди інших металів, що містяться в колчедані. При цьому миш'як і селен утворюють газоподібні оксиди As₂O₃ і SeO₂, які переходять в обпалювальний газ і стають каталітичними отрутами для ванадієвих контактних мас. Пил і сірчаноокислотний туман видаляють з обпалювального газу в процесі загального очищення газу, яке включає операції механічного (грубого) і електричного (тонкого) очищення. Механічне очищення здійснюють пропусканням газу через відцентровий пиловловлювач – циклон 4, що знижує вміст пилу в газі до 10–20 г/м³. Електричне очищення газу в електрофільтрі 5 знижує вміст пилу і туману в газі до 0,05–0,1 г/м³.

Після загального очищення обпалювальний газ, одержаний з колчедану, обов'язково піддається спеціальному очищенню для видалення залишків пилу

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

і туману і, головним чином, сполук миш'яку і селену, які при цьому утилізують. У спеціальне очищення газу входять операції його охолодження до температури нижче за температури плавлення оксиду миш'яку (315°C) і селену (340°C) в сушильній башті 6, зрошується концентрованою сірчаною кислотою. Частина (70%) очищеного і готового діоксиду сірки відправляють надходить у газовий збірник 15, а потім йде на фасування у балони. Кислота виходить концентрацією 30% і за допомогою відцентрового насосу 7 надходить у збірник 12.

Очищений та охолоджений за допомогою концентрованої сульфатної кислоти в сушильній башті 6 випальний газ (30%) надходить до теплообмінника 8.

Для забезпечення оптимального температурного режиму окиснення SO_2 до SO_3 найбільш часто використовуються поличні контактні апарати з внутрішнім теплообміном. За гідродинамічним режимом вони являють собою каскад реакторів витіснення з проміжним охолодженням, за тепловим – каскад адіабатичних реакторів.

Оскільки діючі контактні сульфатнокислотні установки мають велику одиничну потужність, кількість SO_2 , що викидається з вихлопними газами, дуже велика навіть при використанні п'ятишарового контактного апарата, де досягається ступінь перетворення SO_2 98%. Тому для зниження концентрації SO_2 у вихлопних газах використовують процес подвійного контактування – подвійної абсорбції (ПКПА).

Зменшення концентрації SO_2 при використанні процесу ПКПА досягається за рахунок виведення продукту реакції (SO_3) із зони реакції. Таким чином, подвійне контактування складається з двох етапів окиснення SO_2 на каталізаторі. На першому етапі процесу ступінь перетворення складає близько 94%. Перед другим етапом контактування з газової суміші виділяють сірчаний ангідрид, в результаті чого рівновага реакції зміщується в сторону утворення SO_3 , тобто підвищується рівноважний ступінь перетворення, що відповідно призводить до збільшення фактичного ступеня перетворення. При

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

використанні процесу ПКПА фактичний ступінь перетворення складає 99,5-99,8 %.

Всередині контактної маси 9 знаходяться чотири решітки з шаром контактної маси на кожній. Під решітками встановлено трубчаті теплообмінники з горизонтальними спрямовуючими перегородками. Газ, що надходить до контактної маси, послідовно проходить міжтрубний простір теплообмінників, розташованих під третім та першим шаром контактної маси, де нагріваються до 450°C за рахунок теплоти газів, що пройшли через контактну масу.

Пічний газ нагрівається за рахунок теплоти продуктів реакції до температури запалювання каталізатора (420-440°C), і поступає на перший шар контактної маси 9. В першому шарі каталізатора відбувається окиснення SO₂ на 74% з одночасним підвищенням температури до 600°C. Після охолодження до 465°C газ поступає на другий шар контактної маси 9, де ступінь перетворення досягає 86%, температура газу зростає до 514°C. Після охолодження до 450°C газ поступає на третій шар контактної маси 9, X(SO₂) зростає до 94-94,5%, а температура підвищується до 470°C.

Після проходження газом третього шару контактної маси його подають у проміжний моногідратний абсорбер 10, де циркулює сульфатна кислота концентрацією 98,3 % і поглинає частину SO₃ за температури 100°C, а потім, через рубашки теплообмінника 8, газ знову нагрівають до температури 430°C направляючи до абсорбера 10, після нього виходить сірчана кислота концентрацією 70%, яка направляється у збірник 13. А інша половина йде у четвертий шар контактної маси.

Концентрація оксиду сірки (IV) в газі складає тепер 0,75 – 0,85 об. %. У четвертому шарі каталізатора відбувається окиснення SO₂ на 80%, що супроводжується підвищенням температури до 449°C. Реакційну суміш знову охолоджують до 409 °C і направляють на останній шар каталізатора. Загальна ступінь перетворення після п'яти стадій контактування складає 99,5-99,8%.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Пройшовши останній шар контактної маси та охолонувши в міжтрубному просторі розташованого під ним теплообмінника до температури 40–50°C, газ подається в моногідратний абсорбер 10 і далі, після очистки від залишку SO₂ та SO₃, подається до збірника кислоти 14 концентрацією 98,5%. Готова сульфатна кислота різних концентрацій (30%, 70%, 98,5%) направляється на склад.

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

За допомогою розрахунку калькуляції собівартості виробництва визначається доцільність цього процесу.

Таблиця 3.1

Потреба в сировині та матеріалах у виробництві сірчаної кислоти

Сировина та матеріали	Одиниця виміру	Норми витрат	Ціна одиниці сировини, грн	Сума, грн/кг
Колчедан	кг	40000	2,5	100000
Вода	кг	8200	0,023	188,6
Всього			100188,6	

Отже, витрати на сировину та основні матеріали для виготовлення сірчаної кислоти з 40000 кг колчедану складають 100188,6 грн.

Транспортно-заготівельні витрати на сировину та основні матеріали приймаємо в розмірі 5 %, що складають за формулою 3.1:

$$100188,6 \times 0,05 = 5009,43 \text{ грн} \quad (3.1)$$

Звідси, всього витрати становлять за формулою 3.2:

$$100188,6 + 5009,43 = 105198,03 \text{ грн} \quad (3.2)$$

Енерговитрати на виробництво сульфатної кислоти становлять 1750 кВт. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України ціна за електроенергію в 2021 році складає 1,68 грн. (з ПДВ) за 1 кВт/год. незалежно від об'єму споживання. Таким чином, вартість витрат за використану електроенергію при виробництві сірчаної кислоти складає за формулою 3.3:

					ННІХТ. ХТ-4-4.021.161. КР.ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криштоф В. О.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.				71	102
Н. Контр.		Подобій О. В.			НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т. Т.			ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ		

$$1750 \times 1,68 = 2940 \text{ грн} \quad (3.3)$$

Фактичний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.4:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{доб}} \times K_{\text{вик}} \quad (3.4)$$

де $K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання потужності (нормативне значення 0,8).

Фактичний добовий обсяг виробництва сульфатної кислоти складе за формулою 3.5:

$$P_{\text{факт}} = 1600 \times 0,8 = 1280 \text{ кг} \quad (3.5)$$

Річний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.6:

$$O = P_{\text{факт}} \times K_{\text{р.д.}} \quad (3.6)$$

Тоді річний обсяг виробництва сірчаної кислоти складе за формулою 3.7:

$$O = 1280 \times 250 = 320000 \text{ кг} \quad (3.7)$$

В подальшому проводимо розрахунок основної заробітної плати працівників. За одну добу випускають 1600 кг готового продукту – сірчаної кислоти. Тривалість зміни на виробництві становить 12 год., кількість робочих днів – 250 (враховуючи свята та вихідні дні). Так як, виробництво працює цілодобово, то деякі робітники працюють в 2 зміни: I зміна – 7⁰⁰ - 19⁰⁰, II зміна – 19⁰⁰ - 7⁰⁰.

За роботу у нічні зміни (з 22⁰⁰ - 6⁰⁰) встановлено доплату в розмірі 25% годинної тарифної ставки за кожну годину роботи.

Тарифні ставки для працівників різного розряду розраховують множенням ставки працівника I-го розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. Згідно закону про державний бюджет на 2021 рік, мінімальна

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зарплата становить 6000 грн. Тарифний коефіцієнт для працівників II розряду складає – 1,09, для III —1,18, для IV – 1,27, для VIII – 1,64.

Заробітна плата для працівника I-го розряду, враховуючи мінімальну заробітну плату, буде становити за формулою 3.8:

$$\frac{6000}{160} = 37,5 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.8)$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника II-го розряду I зміни складе за формулою 3.9:

$$37,5 \times 1,09 = 40,88 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.9)$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника III-го розряду I зміни складе за формулою 3.10:

$$37,5 \times 1,18 = 44,25 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.10)$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника IV-го розряду I зміни складе за формулою 3.11:

$$37,5 \times 1,27 = 47,63 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.11)$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника VIII-го розряду складе за формулою 3.12:

$$37,5 \times 1,64 = 61,5 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.12)$$

Заробітна плата працівника I-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе за формулою 3.13:

$$37,5 \times 1,25 = 46,88 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.13)$$

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заробітна плата працівника II-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе за формулою 3.14:

$$40,88 \times 1,25 = 51,1 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.14)$$

Заробітна плата працівника III-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну дорівнюватиме за формулою 3.15:

$$44,25 \times 1,25 = 53,3 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.15)$$

Заробітна плата працівника IV-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе за формулою 3.16:

$$47,63 \times 1,25 = 59,54 \frac{\text{грн}}{\text{год}} \quad (3.16)$$

Основна заробітна плата працівників, які працюють за погодинною системою оплати праці наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Основна заробітна плата працівників, що працюють за погодинною системою оплати праці

1	2	3	4	5	6
Назва посади	К-ість	Розряд працівника	Заробітна плата за год, грн/год	Заробітна плата 1 працівника, грн/зміну	Заробітня плата працівників зміни, грн/зміна
Інженер-технолог	1	VIII	61,50	738	738
Апаратник		IV			
I зміна	7		47,63	571,56	4000,92
II зміна	7		59,54	666,84	4667,88

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
Оператор лінії		II			
I зміна	2		40,88	490,56	981,12
II зміна	2		51,10	572,32	1144,64
Підсобний робітник		I			
I зміна	4		37,50	450,00	1800,00
II зміна	4		46,88	525,04	2100,16
Всього	27			15432,72	

Таким чином, основна заробітна плата всіх працівників за добу складає 15432,72 грн.

Також потрібно врахувати те, що на підприємстві передбачена додаткова заробітна плата, як винагорода за працю понад установлені норми, за трудові успіхи і за особливі персональні умови праці. Вона складає 30 % від основної заробітної плати.

Обов'язковим платежем є ЄСВ – Єдиний соціальний внесок, що складає 22% від основної заробітної плати.

Додаткова заробітна плата та сума ЄСВ представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Додаткова заробітна плата та відрахування до ЄСВ

Показник	Відсоток, %	Сума, грн/зміну
Додаткова заробітна плата	30 %	4629,82
Відрахування до ЄСВ	22 %	3395,20

Отже, витрати на додаткову заробітну плату складають 4629,82 грн/зміну, а відрахування до ЄСВ – 3395,20 грн/зміну.

На утримання та обслуговування обладнання витрати складають 150 % від основної заробітної плати за формулою 3.17:

$$15432,72 \times 1,5 = 23149,08 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.17)$$

Витрати, що пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва продукції складають 10 % від основної заробітної плати (ОЗП) за формулою 3.18:

$$15432,72 \times 0,1 = 1543,27 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.18)$$

Загальновиробничі витрати складають 200 % від ОЗП за формулою 3.19:

$$15432,72 \times 2 = 30865,44 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.19)$$

Виробнича собівартість буде складати за формулою 3.20:

$$105198,03 + 2940 + 15432,72 + 4629,82 + 3395,20 + 23149,08 \\ + 1543,27 + 30865,44 = 187153,56 \text{ грн} \quad (3.20)$$

Сума адміністративних витрат складає 2 % від виробничої собівартості за формулою 3.21:

$$187153,56 \times 0,02 = 3743,07 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.21)$$

Витрати на збут складають 2,5 % від виробничої собівартості за формулою 3.22:

$$187153,56 \times 0,025 = 4678,84 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.22)$$

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усі інші операційні витрати складають 1,5 % від виробничої собівартості за формулою 3.23:

$$187153,56 \times 0,015 = 2807,31 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.23)$$

Таким чином, повні витрати становлять за формулою 3.24:

$$187153,56 + 3743,07 + 4678,84 + 2807,31 = 198382,78 \frac{\text{грн}}{\text{зміну}} \quad (3.24)$$

Повні витрати на виробництво за рік будуть становити за формулою 3.25:

$$198382,72 \times 250 = 49595695 \text{ грн} \quad (3.25)$$

Рентабельність виробництва становить 10%, таким чином прибуток буде складати за формулою 3.26:

$$49595695 \times 0,1 = 4959569,5 \text{ грн} \quad (3.26)$$

Загальна сума, без урахування ПДВ, буде складати за формулою 3.27:

$$49595695 + 4959569,5 = 54555264,5 \text{ грн} \quad (3.27)$$

ПДВ складає 20% за формулою 3.28:

$$54555264,5 \times 0,2 = 10911052,9 \text{ грн} \quad (3.28)$$

Загальна сума, з урахуванням ПДВ буде складати за формулою 3.29:

$$54555264,5 + 10911052,9 = 65466317,4 \text{ грн} \quad (3.29)$$

Розрахуємо вартість 1 кг товарної сірчаної кислоти за формулою 3.30:

$$\frac{65466317,4}{1600 \times 250} = 163,67 \text{ грн} \quad (3.30)$$

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Сірчана кислота повинна бути виготовлена відповідно до вимог даного стандарту ГОСТ 2184-77 за технологічним регламентом, затвердженим в установленому порядку [30].

Цей стандарт поширюється на технічну сірчану кислоту наступних видів: контактну (поліпшену і технічну); олеум (покращений і технічний); баштову і регенеровану.

Технічна сірчана кислота призначається для виробництва добрив, штучного волокна, капролактаму, двоокису титану, етилового спирту, анілінових барвників і цілого ряду інших виробництв.

За фізико-хімічними показниками сірчана кислота повинна відповідати нормам, зазначеним у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Фізико-хімічні показники сірчаної кислоти

Назва показника	Норма						
	Контактна			Олеум		Баштова	Регенерована
1	2	3	4	5	6	7	8
	поліпшена	технічна		поліпшена	технічна		
		1-й сорт	2-й сорт				
1. Виключений (Змін. N 3).							
2. Масова частка моногідрату (H ₂ SO ₄), %	92,5-94,0	Не менше 92,5		Не нормується		Не менше 75	Не менше 91

					ННІХТ. ХТ-4-4.021.161. КР.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Криштоф В. О.			ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.					78	102
Н. Контр.		Бойчук Т. М.				НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т. Т.						

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3. Масова частка вільного сірчаного ангідриду (SO ₃), %, не менше	-	-	-	24	19	-	-
4. Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,006	0,02	0,1	0,006	Не нормується	0,05	0,2
5. Масова частка залишку після прожарювання, %, не более	0,02	0,05	Не нормується	0,02	Теж	0,3	0,4
6. Масова частка оксидів азоту (N ₂ O ₃), %, не більше	0,00005	Не нормується		0,0002	Не нормується	0,05	0,01
7. Масова частка нітросполук, %, не більше	Не нормується						0,2
8. Масова частка миш'яку (As), %, не більше	0,00008	Не нормується		0,00008	Не нормується		
9. Масова частка хлористих сполук (Cl), %, не більше	0,0001	Не нормується					
10. Масова частка свинцю (Pb), %, не більше	0,001	Не нормується		0,0001	Не нормується		
11. Прозорість	Прозора без розведення	Не нормується					
12. Цвет, см раствора сравнения, не более	1	6	Не нормується				

При перевезенні продукції в цистернах або контейнерах за партію приймають не більше 10 цистерн або контейнерів, а для контактної поліпшеної кислоти і поліпшеного олеума - не більше однієї цистерни або одного контейнера. Розмір партії при відвантаженні продукції в бочках - не більше 20 т. При транспортуванні сірчаної кислоти по трубопроводу партією вважають змінне вироблення.

Документ про якість повинен містити:

- найменування підприємства-виробника та (або) його товарний знак;
- найменування продукту, його вигляд, марку та сорт;
- позначення цього стандарту;
- номер партії;
- номер цистерни, контейнера;
- дату відвантаження;
- масу нетто;
- результати аналізу або підтвердження про відповідність якості продукту вимогам цих технічних умов;
- підпис або штамп технічного контролю.

Допускається готовою продукцією вважати сірчану кислоту, залиту в ємності на складі і прийняту в установленому порядку технічним контролем підприємства-виробника і держприймання.

Допускається результати аналізу якості сірчаної кислоти, що знаходиться в ємності на складі виробника, поширювати на всі сформовані з неї партії.

Для контролю якості сірчаної кислоти пробу відбирають від кожної цистерни, контейнера, резервуара або 5% бочок, але не менше трьох при партіях менше 60 бочок.

При отриманні незадовільних результатів аналізу хоча б по одному показнику проводять повторний аналіз на подвійній кількості проб, узятих від

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Відбір проб олеума у споживача повинен проводитися після розігріву цистерни при температурі повітря нижче 0 °С для технічного олеума і нижче +10 °С - для поліпшеного олеума.

Обсяг точкової проби - не менше 0,5 дм.

При транспортуванні олеума по трубопроводу пробу відбирають не рідше одного разу на зміну під час перекачування в скляну суху банку з притертою пробкою з точки, змонтованої на нагнітальному трубопроводі.

Відібрані точкові проби зливають в герметично закриту ємність з нержавіючої сталі або іншого кислотостійкого матеріалу, що не погіршує якість сірчаної кислоти. Отриману пробу ретельно перемішують скляною паличкою і відбирають середню пробу об'ємом не менше 0,5 дм в скляну чисту суху склянку місткістю 0,5-1,0 дм з притертою скляною пробкою.

На склянку наклеюють етикетку з позначенням: найменування продукту, номер партії та дату відбору проби; допускається нанесення їх безпосередньо на склянку.

Визначення масової частки моногідрату

Метод заснований на титруванні проби сірчаної кислоти розчином гідроксиду натрію в присутності індикатора метилового червоного.

Наважку проби сірчаної кислоти масою 0,7-1,0 г зважують у видозмінній пипетці Лунге-Рея, в бюксе, ампулі або в стаканчику, результат зважування в грамах записують з точністю до четвертого десяткового знака, переносять в конічну колбу місткістю 250 см³, в яку попередньо налито 50 см³ води, нейтралізованої по метиловому червоному, і титрують розчином гідроксиду натрію в присутності метилового червоного до переходу червоного забарвлення розчину в жовту.

Масову частку моногідрату (X) у відсотках обчислюють за формулою 4.1:

$$X = \frac{V \cdot K \cdot 0,02452 \cdot 100}{m}, \quad (4.1)$$

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

де V - обсяг $0,5$ моль/дм³ розчину гідроксиду натрію, витрачений на титрування, см; $0,02452$ - маса сірчаної кислоти, що відповідає 1 см³ точно $0,5$ моль/дм³ розчину гідроксиду натрію, г; K - коефіцієнт поправки $0,5$ моль/дм³ розчину гідроксиду натрію; m - маса навішення аналізованої кислоти, г.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, допустиме розходження між якими при довірчій ймовірності $= 0,95$ не повинно перевищувати $0,4\%$.

Визначення масової частки вільного сірчаного ангідриду

Метод заснований на титруванні проби олеума розчином гідроксиду натрію в присутності індикатора метилового червоного.

Скляну ампулу місткістю $2-3$ см³ з довгим капіляром зважують і результат зважування в грамах записують з точністю до четвертого десяткового знака. Кульку ампули злегка нагрівають і кінець капіляра швидко занурюють в олеум. Набравши близько 1 г олеума, зовнішню поверхню капіляра ретельно витирають і капіляр запаюють. Після охолодження в ексикаторі ампулу з олеумом зважують.

У скляну банку або товстостінну термостійку конічну колбу місткістю $250-500$ см³ наливають близько 150 см³ води, поміщають в неї кілька скляних намистин, опускають зважену ампулу з олеумом і щільно закривають банку пробкою. Енергійним струшуванням банки розбивають ампулу і струшують банку до повного поглинання туману водою. Шматочки капіляра і ампули розчавлюють скляною паличкою. Пробку, горло банки і скляну паличку споліскують водою в ту ж банку. Вміст банки титрують розчином гідроксиду натрію в присутності метилового червоного до переходу червоного забарвлення розчину в жовту.

Масову частку загального сірчаного ангідриду (X_1) у відсотках обчислюють за формулою 4.2:

$$X_1 = \frac{V \cdot K \cdot 0,02001 \cdot 100}{m}, \quad (4.2)$$

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де - обсяг 0,5 моль/дм³ розчину гідроксиду натрію, витрачений на титрування, см³; 0,02001 - маса сірчаного ангідриду, що відповідає 1 см³ 0,5 моль/дм³ розчину гідроксиду натрію, г; m - маса навішення аналізованого олеума, г; K - коефіцієнт поправки 0,5 моль/дм³ розчину гідроксиду натрію.

Масову частку вільного сірчаного ангідриду (X₂) у відсотках обчислюють за формулою 4.3:

$$X_2 = 100 - \frac{(100 - X_1) \cdot 98,08}{18,02}, \quad (4.3)$$

де X₁ - масова частка загального сірчаного ангідриду,%; 98,08 - молекулярна маса сірчаної кислоти; 18,02 - молекулярна маса води.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, допустиме розходження між якими при довірчій ймовірності = 0,95 не повинно перевищувати 0,5%.

Визначення масової частки заліза

Метод заснований на утворенні іонами заліза II і III в аміачному середовищі з сульфосаліциловою кислотою комплексів, пофарбованих у жовтий колір і мають однаковий коефіцієнт поглинання.

Аналіз проводять відповідно до табл.4.2.

Пробу сірчаної кислоти відбирають піпеткою. Пробу олеума готують наступним чином: в стакан наливають 8 см³ концентрованої сірчаної кислоти і піпеткою вносять 2 см³ аналізованого олеума, розчин перемішують і після охолодження кількісно переносять в мірну колбу місткістю 100 см³, в якій налито 50 см³ води. Після охолодження об'єм розчину доводять водою до мітки і перемішують.

При визначенні заліза в регенованої сірчаної кислоти використовують залишок після прожарювання, отриманий, залишок розчиняють при нагріванні в 50 см³ соляної кислоти. Отриманий розчин кількісно переносять в мірну колбу місткістю 500 см³, доливають водою до мітки і перемішують. Частина розчину фільтрують в суху посуд через сухий фільтр.

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Аліквотну частина підготовленого розчину сірчаної кислоти або олеума переносять в мірну колбу місткістю 100 см³, доливають 2 см³ розчину сульфосаліцилової кислоти і 15-20 см³ розчину водного аміаку з масовою часткою 10% в разі аналізу кислоти і з масовою часткою 25% - у разі аналізу олеума (аміак повинен бути в надлишку, тому кількість його можна збільшити до появи запаху).

Розчин перемішують, охолоджують до кімнатної температури, доливають водою до мітки і перемішують.

Таблиця 4.2

Умови проведення аналізу

Умови проведення аналізу	Кислота					Олеум	
	Поліпшена	Технічна		Баштова	Регенерована	Поліпшений	Технічний
		1-й сорт	2-й сорт				
Масова частка заліза (Fe), %	0,006	0,02	0,1	0,05	0,2	0,006	0,02
Навішування	10 см ³ чи 18,4 г	10 см ³ чи 18,4 г	5 см ³ чи 9,2 г	5 см ³ чи 9,2 г	5 см ³ чи 9,1 г	3,8 г чи 2 см ³	3,8 г чи 2 см ³
Місткість мірної колби, см ³	100	100	250	100	500	100	100
Аліквотна частина, см ³	10	5	5	5	5	50	25
Кількість Fe, який входить в аналіз, мг	0,11	0,18	0,18	0,23	0,18	0,11	0,19

Масову частку заліза (X₃) у відсотках обчислюють за формулою 4.4:

$$X_3 = \frac{m' \cdot V \cdot 100}{1000 \cdot V_1 \cdot m'} \quad (4.4)$$

де m' - маса заліза, знайдена по градуювальним графіком, мг; V - об'єм мірної колби, см; V₁ - аліквотна частина розчину, узята для аналізу, см; m - маса навішення кислоти або олеума, г.

Визначення масової частки залишку після прожарювання

Метод заснований на випаровуванні проби сірчаної кислоти або олеума і прожаренні залишку при температурі від 800 до 850 °С до постійної маси.

Перед аналізом пробу сірчаної кислоти або олеума ретельно перемішують. Порцелянову, кварцову або платинову чашку проколюють до постійної маси і зважують, результат зважування в грамах записують з точністю до четвертого десяткового знака. Близько 10 г (5-6 см³) сірчаної кислоти або олеума, попередньо відміряних циліндром, зважують з точністю до другого десяткового знака, причому кислоту зважують в чашці, а олеум - в піпетці Лунге-Рея або в бюксе з зовнішньої кришкою.

Наважку кислоти або олеума випарюють насухо на піщаній бані або електричній плитці з закритою спіраллю, після цього прожарюють в муфельній печі протягом 30 хв при 800-850 °С. Чашку з прожареним залишком охолоджують в ексікаторі і зважують, результат зважування в грамах записують з точністю до четвертого десяткового знака.

Масову частку прокаленого залишку (X_4) у відсотках обчислюють за формулою 4.5:

$$X_4 = \frac{m_1 \cdot 100}{m}, \quad (4.5)$$

де m_1 - маса прожареного залишку, г; m - маса навішення кислоти або олеума, г.

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці на виробництві

Конституція України забезпечує піклування про покращення умов охорони праці, прикріплює громадянам України право на охорону здоров'я.

В останній редакції Конституції України зазначено, що кожний має право на працю і на належні, безпечні й здорові умови цієї праці. Структурна схема системи управління з охорони праці представлена на рис. 5.1.



Рис. 5.1 Структурна схема системи управління з охорони праці

					ННІХТ. ХТ-4-4.021.161. КР.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Криштоф В. О.			ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.					87	102
Н. Контр.		Бойчук Т. М.				НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т. Т.						

Закон України «Про охорону праці» затверджений 21 листопада 2002 року за № 229-IV, що містить 44 статті, визначає основні шляхи втілення конституційних прав громадян про охорону їхнього життя та здоров'я в процесі трудової діяльності.

Цей закон також стандартизує відносини між працівником і роботодавцем з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Він встановлює спільний порядок щодо організації охорони праці в Україні. У Законі "Про охорону праці" представлено головні вимоги конвенцій та рекомендацій Міжнародної організації праці відносно безпеки і гігієни праці та виробничого середовища, організації відносин з охорони праці в прогресивних країнах, досвід з охорони праці в Україні за попередні роки.

У Законі передбачено численні нововведення:

- ◆ встановлення економічних шляхів управління з охорони праці;
- ◆ реалізації спеціалізованих фондів з охорони праці;
- ◆ використання низки певних штрафних санкцій, а також пільг на оподаткування;
- ◆ перегляд соціальних гарантій і прав для працівників, зокрема осіб, які постраждали від професійного захворювання або внаслідок нещасного випадку на виробництві;
- ◆ перегляд соціальних гарантій і прав для сімей загиблих;
- ◆ реалізація чіткої системи органів держуправління та контроль за охороною праці в системі організації роботи на підприємствах, в установах та організаціях незалежно від форм власності;
- ◆ для служб з охорони праці та органів держуправління фіксовано правовий статус;
- ◆ врегульовано місце та роль колективного договору підприємств у вирішенні завдань з покращення безпеки і умов праці в забезпеченні встановлених законом прав і соціальних гарантій, у тому числі на пільги й компенсації;

					ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ◆ почато підготовку фахівців з охорони праці у вищих технічних навчальних закладах;
- ◆ навчання населення з питань охорони праці, введення цього спеціального предмета в усіх навчальних закладах у системі освіти України;
- ◆ реалізація необхідних передумов для започаткування нових громадських інститутів і можливості обрання комісій з охорони праці на підприємствах;
- ◆ вибір уповноважених трудового колективу;
- ◆ заохочення активності профспілок та інших громадських формувань, широких кіл працюючих у вирішенні проблем з охорони праці.

Закон формулює основні принципи державної політики в галузі охорони праці, такі як відношення державних органів до питань працюючих з охорони праці.

У Законі встановлено, що життя та здоров'я працівників є пріоритетним по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства. Це означає, що повинні дотримуватися вимоги нормативних актів про охорону праці для того, щоб працівник під час роботи не зазнав травм, не погіршив стан здоров'я, не отримав професійних захворювань або зменшення своєї працездатності, і лише після цього звертається увага на результати виробничої діяльності підприємства.

Власник (керівник) підприємства несе повну відповідальність за реалізацію безпечних умов праці в кожному структурному підрозділі підприємства та на кожному робочому місці.

До переліку питань з управління охороною праці включають вирішення таких основних завдань:

- ◆ навчання працюючих з безпеки праці та популяризація питань з охорони праці;
- ◆ гарантування безпеки виробничого устаткування;
- ◆ гарантування безпеки виробничих процесів;
- ◆ гарантування безпеки будівель та споруд;
- ◆ стандартизація санітарно-гігієнічних умов праці;

					ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

- ◆ гарантування працюючих засобами індивідуального захисту;
- ◆ гарантування відпочинку працюючих та оптимального режиму праці;
- ◆ забезпечення лікувально-профілактичного обслуговування працюючих;
- ◆ санітарно-побутове обслуговування працюючих;
- ◆ професійний відбір працюючих за окремими спеціальностями.

До основних обов'язків власника (керівника) можна віднести те, що йому необхідно створити в кожному структурному підрозділі такі умови праці, які відповідали б спеціальним нормативним документам, а також забезпечували б права працівників, що надається законодавством про охорону праці. З цією метою власник забезпечує функціонування систем управління з охорони праці, а саме:

- ◆ створює служби з охорони праці та назначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань з охорони праці;
- ◆ розробляє та реалізує комплексні заходи для досягнення основного завдання – створення безпечних умов праці;
- ◆ забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань;
- ◆ організовує проведення лабораторних досліджень з умов праці та атестації робочих місць;
- ◆ розробляє та затверджує положення, інструкції та інші нормативні акти про охорону праці;
- ◆ здійснює постійний контроль за додержанням працівниками технологічних процесів, правил поведження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва;
- ◆ організовує пропаганду безпечних засобів праці та співробітництво з працівниками в галузі охорони праці;
- ◆ вживає термінові заходи для допомоги потерпілим при виникненні на підприємстві надзвичайних ситуацій та нещасних випадків.

Створення безпечних і нешкідливих умов праці на виробництві покладається на власника, який не може вимагати від працівника виконання

					ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи, небезпечної для нього або людей, що його оточують. У той же час законодавством передбачено конкретне коло обов'язків працівника з цих питань, тому що без цього неможливо в повній мірі забезпечити необхідний рівень безпеки праці на виробництві. Обов'язком працівника, насамперед, є старанне відношення до всіх видів навчання (інструктажу), що проводить власник з метою вивчення вимог нормативних документів про охорону праці, правил поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва.

Працівник повинен знати, що Законом забороняється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж або перевірку знань із питань охорони праці. Якщо ж власник не дотримується строків проведення чергового навчання, то працівник нагадує про це керівникові.

Працівник також повинен неухильно дотримуватися вимог безпеки праці, що є запорукою попередження більшості аварій та нещасних випадків на виробництві. Усім працівникам необхідно постійно пам'ятати, що порушення технологічного процесу, незастосування засобів індивідуального чи колективного захисту або недотримання інших вимог безпеки праці рано чи пізно призведе до тяжких наслідків. Тому в Законі передбачено: якщо нещасний випадок стався внаслідок невиконання потерпілим вимог нормативних документів про охорону праці, розмір одноразової допомоги може зменшуватись до розрахунку, що визначається трудовим колективом. Крім того, до Кодексу про адміністративні порушення вносяться доповнення про накладання штрафу на працівників за порушення вимог законодавчих та інших нормативних документів про охорону праці або невиконання вимог службових осіб органів Держнаглядохоронпраці щодо усунення порушень законодавства про охорону праці.

Користування відповідним спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями під час роботи є обов'язковим для працівника, який відмовляється користуватися необхідними засобами індивідуального чи колективного захисту [31].

					ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

5.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві

Захист біосфери від забруднення викидами хімічних виробництв — найважливіша проблема сучасності. У виробництві сульфатної кислоти можуть бути втрати якоїсь кількості діоксиду SO_2 і триоксиду сульфуру SO_3 та викидання їх в атмосферу, що спричинює кислотні дощі. Вони сприяють підвищенню кислотності ґрунтів і зниженню врожаїв, збільшенню кислотності водойм і загибелі його мешканців. Кислотні дощі спричинюють корозію металів, руйнують лакофарбові покриття. Під їх згубною дією руйнуються будівельні матеріали, пам'ятники архітектури.

Щоб запобігти утворенню кислотних дощів і забезпечити охорону здоров'я працівників, намагаються не допускати викидання оксиду сульфуру (IV) SO_2 в атмосферу і в цехи заводу. З цією метою своєчасно ремонтують апаратуру, встановлюють фільтри, поглиначі, вентиляцію, суворо додержуються технологічного режиму, використовують засоби індивідуального захисту працівників, удосконалюють й автоматизують виробничі процеси, герметизують устаткування та апаратуру, впроваджують принцип безвідхідності та ефективні методи очищення відхідних газів. З них тепер вловлюють SO_2 і знову повертають його у виробництво. Застосовують також методи добування цінних побічних продуктів з промислових відходів [Error! Reference source not found.].

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99 роботи, що виконуються в цеху за важкістю відносяться, відповідно [33], до категорії Пб.

Параметри мікроклімату були обрані в залежності від категорії тяжкості виконуваної роботи та наведені в таблиці 5.1.

					ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1

Санітарні норми параметрів мікроклімату цеху

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	Легка ІІб	17-19	60-40	0,2
Теплий	Легка ІІб	20-22	60-40	0,3

Для забезпечення гігієнічної чистоти повітря та попередження отруєння при аварійних ситуаціях у цеху встановлено системи припливної і витяжної вентиляції. За нормальних умов в цеху працює система кондиціонерів для підтримання оптимального мікроклімату. Залежно від кількості працівників визначається кількість повітря.

В таблиці 5.2 наведено основні санітарні характеристики підприємства, що розглядається, а саме підприємство виробництво сульфатної кислоти.

Таблиця 5.2

Коротка санітарна характеристика виробництва

Назва виробничої дільниці	Підприємство виробництва сульфатної кислоти
Шкідливі речовини, що виділяються	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ SO ₄
Група шкідливих речовин, характеристика шкідливого впливу	Високошкідливі речовини. Наявність їх в повітрі в кількості 0,33 мг/дм ³ і більше викликає задишку і запалення легенів. SO ₃ реагуючи з парами води утворює H ₂ SO ₄ . Пари і розчин сірчаної кислоти дратують слизисті оболонки очей, дихальних шляхів, шкіру, викликаючи цим хімічні опіки.

Продовження таблиці 5.2

ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³	0,1-1,0 мг/м ³
Клас небезпечності шкідливої речовини	II — високошкідливі;
Засоби індивідуального захисту	Фільтруючий протигаз марки БКФ або марки А; комплект спецодягу з протигумованої тканини; окуляри захисні.
Засоби долікарняної допомоги	Викликати блювоту і промити шлунок хворому слід лише в тих випадках, коли відсутні ушкодження стравоходу. Після цього включають корекцію ацедозу, контролювання шоку і судом, підтримання прохідності дихальних шляхів у разі набряку голосової щілини за допомогою інтубації або трахеотомії.
Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Автоматичний стаціонарний сигналізатор і газоаналізатор
Клас виробництва згідно СН 245-71	I
Санітарна група виробничого процесу згідно з СНиП 2.09.04-87	1в

Можливість поширення пожежі на цеху в основному залежить від вогнестійкості основних будівельних конструкцій приміщення, планування і розміщення основного технологічного обладнання в будівлі.

Для виявлення початкової стадії пожежі в зовнішніх установках, які розташовані у вибухонебезпечному середовищі, передбачено сповіщувачі вибухонебезпечного виконання ТРВ-1. Показники пожежо- та вибухонебезпечності наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовини

Речовина, що має обіг у виробництві		SO ₂
Агрегатний стан речовини за н. у.		Безбарвний газ з різким, задушливим запахом
Горючість, займистість		Вибухонебезпечна, горюча
Показники пожежної вибухонебезпечності	Температура спалаху	250
	Температура займання	275
	Температура самозаймання	290
Межа запалення	% об'ємних	10
	мг/м ³	79
Вибухонебезпечні суміші з повітрям	Категорія	II B
	Група	T 3
Вогнегасні засоби		Пінні вогнезасники типу ВХП
Категорія приміщення за ОНТП 24-86		B
Клас приміщення (зони) і зовнішніх установок згідно з ПУЕ		1
Категорія об'єкта і тип зони захисту згідно з БН 305-77		II б

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналіз вітчизняної та закордонної науково-технічної літератури щодо сировинної бази, фізико-хімічних властивостей діоксиду сірки, існуючих технологій виробництва, а також представлено сфери застосування та шляхи удосконалення цієї технології.

2. Розроблено, описано та обґрунтовано принципову та апаратурно-технологічну схеми виробництва діоксиду сірки та удосконалення цієї технології.

3. За обраною технологічною схемою зроблено розрахунок постадійного матеріального балансу отримання сірчистого ангідриду випалюванням піриту, а згодом і сульфатної кислоти, який показав, що добова продуктивність 1634 кг сірчаного колчедану, дає вихід 1092,1 кг SO₂ та 478,7 кг H₂SO₄. Пораховано тепловий баланс стадії випалу піриту масою 1634 кг.

4. Проведено підбір основного технологічного обладнання процесу виробництва діоксиду сірки. Виконано конструктивний, технічний розрахунки основних характеристик тарільчатого абсорбера, що використовується для виробництва сульфатної кислоти.

5. Розраховано ряд техніко-економічних показників виробництва, у тому числі й очікувану собівартість випущеної продукції сульфатної кислоти – 163,67 грн/кг, що робить продукт конкурентно спроможним на ринку хімічних інгредієнтів.

6. Удосконалення технології виробництва діоксиду сірки полягало у багатотонажному, масовому виробництві цього продукту, що дозволило частину сірчаного ангідриду відправляти на подальше отримання сульфатної кислоти, яка завжди має попит на ринку, та запровадженні рециркуляції сульфатної кислоти.

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ					
Розроб.	Криштоф В. О.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Подобій О. В.								96	102
Н. Контр.	Бойчук Т. М.							НУХТ, каф. ТЖХТ		
Затверд.	Носенко Т. Т.									

7. Було розглянуто проблеми навколишнього середовища, що можуть виникати через виробництво діоксиду сірки та запропоновано метод подвійного контактування і процес окиснення оксиду сірки (IV) проведено у дві стадії, що дозволить вирішити проблему навколишнього середовища стосовно викидів SO₂ в атмосферу. Завдяки цьому найважливіше завдання сірчаноокислотного виробництва було виконано - збільшення ступеня контактування і зниження викидів оксиду сірки (IV) в атмосферу.

					ВИСНОВКИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Акимов, В. С. Оптико-абсорбционный метод измерения диоксида серы: научный журнал/ В. С. Акимов.- 2017. №6-1 (19).
2. Волков, А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. - Мн.: Современная школа, 2015. - 608 с ISBN 985-6751-04-7. [с. 201]
3. Казанцев, Е. В. К вопросу определения диоксида серы в кондитерских изделиях/ Е. В. Казанцев, Н. Б. Кондратьев, И. А. Белова - Пищевая промышленность. 2018. №7.
4. Сарафанова, Л. А. Пищевые добавки: Энциклопедия / Л. А. Сарафанова - 2-е изд., испр. и доп. - СПб: ГИОРД, 2004. - 808 с. ISBN 5-901065-79-4 (с. 243 - 246).
5. Нестеров, Ю.В. Об использовании диоксида серы для выщелачивания урана / Ю. В. Нестеров, А. П. Филиппов - ГИАБ. 2014. №1.
6. Zhang W., Singh P., Muir D. Iron(II) oxidation by SO₂/O₂ in acidic media: Part I. Kinetics and mechanism. «Hydro-metallurgy», 55 (2000), P. 229-245.
7. Акимов, В. С. Диоксид серы и основные источники загрязнения атмосферы диоксидом серы : научный журнал/ В. С. Акимов. - 2017. №6-1 (19).
8. Yumei, S. Effect of added sulphur dioxide levels on the fermentation characteristics of strawberry wine/ S. Yumei, Z. Ting, L. Huiwei, Y. Zhimin, L. Xianzhen // Journal of the Institute of Brewing. 2016, Vol. 122. -№ 3 - P. 446-451.
9. Егорова, М. И. Результаты мониторинга содержания диоксида серы в сахаре / М. И. Егорова, Е.В. Широких, Я.А. Кретьова - Сахар. 2016. №7.

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Криштоф В. О.			СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О. В.					98	102
Н. Контр.		Бойчук Т. М.			НУХТ, каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т. Т.						

10. Киселева, Т. Ф. Неопределенность при оценке соответствия содержания консервантов в винах требованиям нормативных документов/ Т.Ф. Киселева, О. А. Иголинская, Е. В. Бастрон - Техника и технология пищевых производств. 2014. №1 (32).
11. Подкопаев, С. В. Технологические подходы к решению экологических проблем техногенных "месторождений" на примере отходов производства серной кислоты / С. В. Подкопаев, С. А. Русяева, В. Ю. Абрамов - Биосфера. 2010. №4.
12. Кондратьев, Н.Б. Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия / Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, М. В. Осипов - Вестник ВГУИТ. 2018. №4 (78).
13. Bold J. Considerations for the diagnosis and management of sulphite sensitivity/J. Bold // Gastroenterology and Hepatology from bed to bench. 2012. - Vol. 5 (1), 3-6 p.
14. Charles C. Mann. Renewables Aren't Enough // Clean Coal Is the Future. - 2014. - С. 3-8.
15. Hui Y., Evranuz E.O. Handbook of Vegetable Preservation and Processing. UK: CRC Press, 2015. P. 970.
16. Денисова, И. А. Технологические и экологические аспекты переработки углистого колчедана / И. А. Денисова, В. В. Гутенев, Н. А. Попов, - Юг России: экология, развитие. 2017. №3.
17. Популиди, К.К. Топливная сера - перспективный сырьевой источник для производства серной кислоты / К. К. Популиди, С. А. Манжина, И.А. Денисова - Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2014. №3 (178).
18. Lim H-S., Park S.-K., Kim S.-H, Song S.-B. et al. Comparison of four different methods for the determination of sulfites in foods marketed in South Korea // Journal of Food Additives & Contaminants: Part A. 2014. V. 31. № 2. P. 187-196.

19. Murlykina N.V., Murlykina M.V. Application of infrared spectroscopy for quantitative analysis of new food emulsifiers//Ukrainian Food Journal. 2015. V. 4. №2. P. 299-308.
20. Qm G., Wu M., Wang J., Xu Z. et al. Sulfur Dioxide Contributes to the Cardiac and Mitochondrial Dysfunction in Rats // Toxicological Sciences. 2016. V. 151. №2. P. 334-46.
21. Lien K, Hsieh D., Huang H., Wu C. et al. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population // Journal of Toxicology Reports. 2016. V. 3. P. 544-551.
22. Сироткин, О.С. Химическая природа оксидов, особенности их структуры, свойств, областей применения и технологий получения и переработки / О. С. Сироткин, Р. О. Сироткин, А. М. Павлова - Вестник Казанского технологического университета. 2017. №1.
23. Свинко, Й. М. Геологія : Підручник / Й. М. Свинко, М. Я. Сивий - — К.: Либідь, 2003. — 480 с. ISBN 966-06-0095-X. (52-53 с.)
24. Борисков, Ф. Ф. Экологически безопасные методы рудоподготовки минерального сырья при освоении месторождений Приполярного Урала/ Ф. Ф. Борисков, В. Д. Кантемиров - Проблемы недропользования. 2014. №3.
25. Schroeter L.C. Sulphur dioxide: Application in Foods, Beverages, and Pharmaceuticals. UK: Pergamon Press, 2015. P. 356
26. Алмабекова, А. А., Нейтрализация вредных газов на предприятиях Казахстана / А. А. Алмабекова, С. Р. Рузуддинов, Ж .Ж. Жамашев - Вестник КазНМУ. 2018. №1.
27. Методичні вказівки до лабораторної роботи “Виробництво сульфатної кислоти контактним методом” з дисципліни “Загальна хімічна технологія” призначені для студентів університету всіх спеціальностей денної форми навчання / Укл.: А.Г. Рудницький, І.В. Скар, В.А. Мізін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – 22 с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

28. Методичні рекомендації до складання матеріального та енергетичного балансу в хімічній технології : для студ. напряму підготов. 6.051301 "Хімічна технологія" денної форми навч./ Уклад.: Макаренко О. Г., Житнецький І. В. – К.: НУХТ, 2015. – 21 с. (Електронний ресурс).
29. Дубинін, А. І. Процеси та апарати хімічної технології: навч. посібник з курсового проектування / А.І. Дубинін, Р.І. Гаврилів, І.О. Гузьова; за ред. А.І. Дубиніна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 360 с. ISBN 978-617-607-277-5
30. ГОСТ 2184-77 Кислота серная техническая. Технические условия.
31. Одарченко, М. С. Основи охорони праці: підручник / М. С. Одарченко, А. М. Одарченко, В. І. Степанов, Я. М. Черненко. – Харків: Стиль-Издат., 2017. – 334 с. ISBN 966-7885-84-4
32. Іванов, С. В. Загальна хімічна технологія: Навчально-методичний комплекс / П. С. Борсук, Н. М. Манчук. - К.: НАУ, 2008. – 288 с.
33. Астрелін, І. М. Теорія процесів виробництв неорганічних речовин: Навч. посібник / І. М. Астрелін, А. К. Запольський, В. І. Супрунчук; За редакцією А. К. Запольського. – К.: Вища шк., 1992. – 399 с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Формат		Позиція	Позначення	Назва	Кіл.
		<i>Документація</i>			
A1			<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ</i>	<i>Креслення апарату</i>	
	<i>Специфікація до апарату</i>				
	1		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.01</i>	<i>Корпус</i>	1
	2		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.02</i>	<i>Тарілка</i>	6
	3		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.03</i>	<i>Патрубок входу газу</i>	1
	4		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.04</i>	<i>Патрубок виходу газу</i>	1
	5		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.05</i>	<i>Патрубок входу речовини</i>	1
	6		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.06</i>	<i>Патрубок виходу речовини</i>	1
	7		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.07</i>	<i>Опора</i>	1
	8		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.08</i>	<i>Люк</i>	3
9		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.09</i>	<i>Цапфа</i>	2	
10		<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.003.КР.ПЗ.10</i>	<i>Штир</i>	2	
ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ					
Изм. Лист		Головний		Підп.	Дата
Разроб.		Криштоф В. О.			
Проб.		Подобий О. В.			
Консул.		Житницький І. В.			
Нконтр.		Байчук Т. М.			
Утв.		Носенко Т. Т.			
<i>Колонний тарільчатий абсорбер загальний вигляд</i>				Лист	Лист
<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>				Листов	Листов