

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

Факультет

**Інженерії**

(повне найменування факультету)

Кафедра

**Хімічної інженерії та екології**

(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту

освітнього ступеня

**бакалавр**

(бакалавр, магістр)

спеціальності

**161 Хімічні технології та інженерія**

(шифр і назва спеціальності)

на тему **Виробництво амоній сульфату потужністю 200 тис. т/рік з розробкою стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком**

Виконав: здобувач вищої освіти групи

ХТ-17з

Проскурякова Г. О.

(прізвище, та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник **Зубцов Є. І.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Завідувач кафедру Суворін О. В.

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент **Кравченко І.В.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сєверодонецьк – 2021 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ Інженерії \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_

Освітній ступінь \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, магістр)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 161 Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

\_\_\_\_\_ О. В. Суворін

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Проскуряковій Ганні Олександрівні**

1. Тема проекту:

**Виробництво амоній сульфату потужністю 200 тис. т/рік з розробкою стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком**

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Зубцов Євген Іванович, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

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

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

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

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

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

1. Технологічна схема виробництва (1 аркуш).
2. Креслення сатуратора (1 аркуш).
3. Таблиця матеріального балансу (1 аркуш).

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-9	Зубцов Є.І., доцент кафедри ХІЕ		
з нормоконтролю	Зубцов Є. І., доцент кафедри ХІЕ		

7. Дата видачі завдання – 18 березня 2021 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

12	Креслення технологічної схеми	29.05.2021	
13	Креслення сатуратора	29.05.2021	
14	Таблиця матеріального балансу	29.05.2021	

Здобувач вищої освіти

Г. О. Проскуракова

Керівник проекту

Є. І. Зубцов

### ВСТУП

Азотна промисловість є важливою галуззю хімічної промисловості, яка в останній час бурхливо розвивається. Від рівня її подальшого розвитку залежить забезпечення промисловості різноманітними азотовмісними сполуками, а сільського господарства – азотними добривами. Використання азотних добрив має величезне значення для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва та вирішення проблеми харчування населення України.

Амоній сульфат широко використовується в сільському господарстві в якості одного з видів азотних добрив, як для прямого внесення в ґрунт, так і для приготування змішаних добрив. Незважаючи на відносно низький вміст азоту (21%), амоній сульфат успішно конкурує навіть з таким вискоелективним азотним добривом, як аміачна селітра.

Раніше вважалося, що завдяки низькому вмісту азоту та здатності закислювати ґрунти, амоній сульфат буде витіснений іншими азотними добривами. Але статистичні дані цього прогнозу не підтверджують. Навпаки, виробництво амоній сульфату в країнах з розвиненою хімічною промисловістю продовжує зростати, хоча і з меншими темпами, ніж виробництво азотних

добрив в цілому. Це пояснюється двома обставинами. По-перше, встановлено, що не тільки нітроген, але й сульфур, який входить до його складу, є необхідним елементом живлення деяких сільськогосподарських культур. По-друге, основна частина амоній сульфату, який одержують при утилізації промислових відходів, має нижчу собівартість, ніж інші види азотних добрив.

Використання амоній сульфату при вирощуванні картоплі, озимої іржі,

вівса, чаю, рису і інших культур, які бояться підвищеної кислотності, не менш корисно, ніж аміачної селітри. Здатність амоній сульфату підкислювати ґрунт у ряді випадків ефективно використовується. В деяких районах, що спеціалізуються на вирощуванні картоплі, віддають перевагу амоній сульфату тому, що при підкисленні ґрунту створюються сприятливі умови для боротьби з шкідниками. На підкислених ґрунтах добре ростуть кавуни, цитрусові і інші культури.

Внесення амоній сульфату в суміші з фосфатними добривами, в яких фосфор знаходиться в малодоступній формі, підсилює рухливість фосфату цих добрив, що покращує його засвоєння рослиною. Амоній сульфат є кращим добривом для бавовнику. Він використовується в якості основного добрива під запашку восени та весною, а також під передпосівну культивуацію та як підгодівля [1].

Амоній сульфат також знайшов широке застосування в: виробництві віскозного волокна; виробництві гербіцидів; харчовій промисловості в якості харчової добавки; біохімії для очищення білків методом переосадження; технології хлорування води з метою зменшення витрати хлору, корозії трубопроводів; засобах гасіння пожеж амоній сульфат застосовується в якості антипірену; гірській промисловості – в якості компонента при профілактичній обробці виробленого простору, до складу вибухової речовини амоній сульфат вводиться для зниження горючості та усунення небезпеки мимовільного займання [2].

Метою дипломного проекту є проектування виробництва амоній сульфату потужністю 200 т/рік з розробкою стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком.



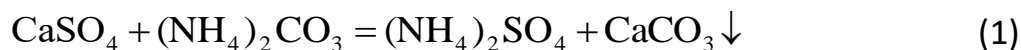
# 1 СТИСЛИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД З ОБҐРУНТУВАННЯМ МЕТОДУ ВИРОБНИЦТВА

## 1.1 Вибір та обґрунтування методу виробництва

На сьогоднішній день у хімічній промисловості існує чотири способи одержання амоній сульфату.

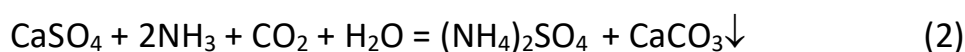
1) Одержання амоній сульфату з гіпсу здійснюється двома способами: рідинним і газовим.

Рідинний спосіб полягає в обробці подрібненого гіпсу 32-33%-вим розчином амоній карбонату при температурі 50-55°C



Розчин амоній сульфату, відфільтрований від осаду кальцій карбонату, випарюють до утворення пульпи, що містить 55% кристалів і 45% насиченого розчину. Після відділення кристалів на центрифугі маточний розчин повертається на випарювання, а вологий амоній сульфат висушується.

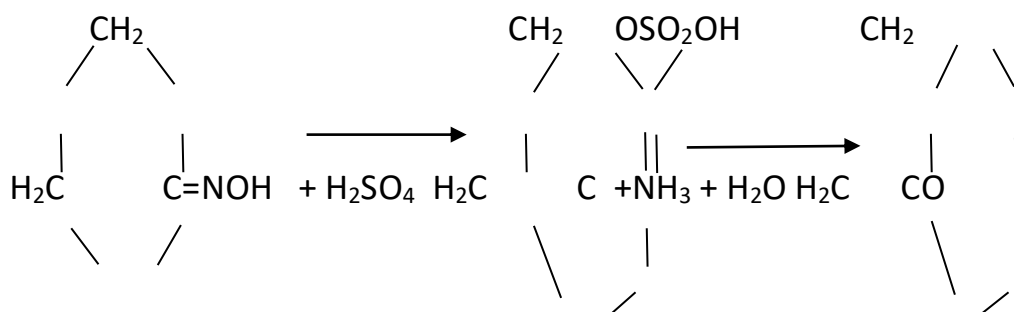
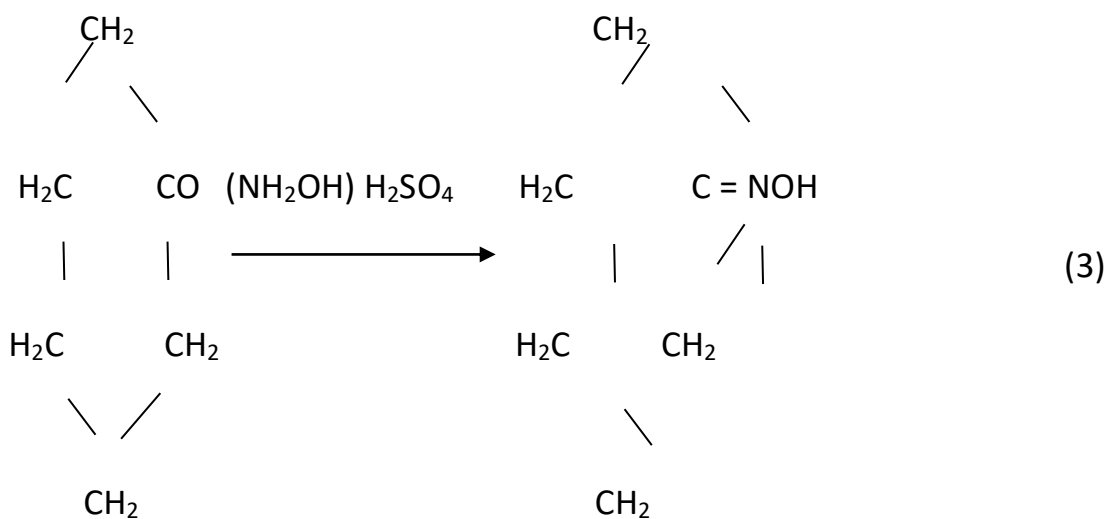
Сутність газового способу полягає в обробці гіпсу газоподібним амоніком і карбон (IV) оксидом за реакцією

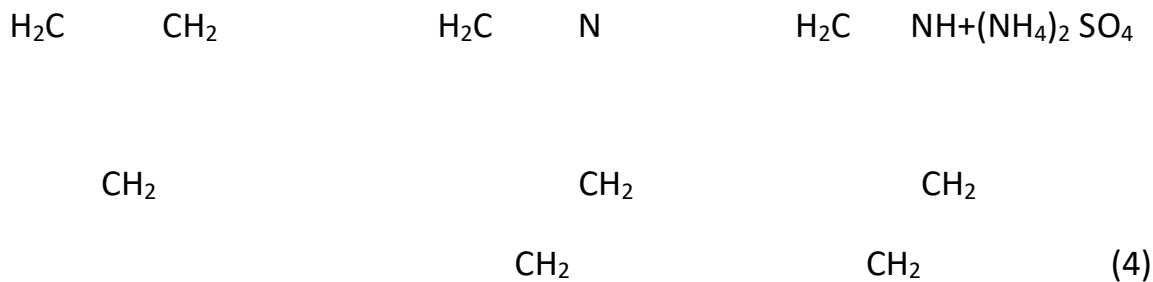


Газовий спосіб більш простий, ніж рідинний (не вимагає попереднього приготування розчину амоній карбонату), але має ряд недоліків, які змусили

відмовитися від нього та перейти на рідинний спосіб: періодичність процесу та велика витрата карбон (IV) оксиду, дрібні кристали амоній сульфату, більший час проведення реакції [1].

2) Переробка розчинів, що є відходами виробництва капролактаму. В виробництві капролактаму амоній сульфат утворюється в результаті протікання побічних реакцій на стадіях синтезу гідроксиламінсульфату, в процесі оксимування циклогексанону та при нейтралізації ефіру сульфату капролактаму. Після розшаровування продуктів оксидування водний шар містить 34-43%мас.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 1,3-1,5%мас.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  і 0,1-0,5%мас. органічних домішок [2]





3) Виробництво амоній сульфату з амоніаку коксового газу. Виділення амоніаку з коксового газу здійснюється шляхом поглинання газу розчином сульфатної кислоти. Цей процес може бути описаний наступними реакціями. При проходженні газу через сульфатну кислоту спочатку утворюється добре розчинний в кислоті амоній бісульфат:



По мірі насичення розчину амоніаком амоній бісульфат переходить в поганорозчинний в кислоті амоній сульфат, що випадає з розчину в вигляді кристалів:



Амоніак, що міститься в коксовому газі, можна переробляти в амоній сульфат трьома способами: непрямим, прямим і напівпрямим.

Сутність непрямого способу полягає в тому, що амоніак з коксового газу уловлюється в аміачних скруберах з одержанням слабкої скруберної аміачної води. Десорбцію амоніаку зі слабкої аміачної води проводять в дистиляційних колонах з одержанням газоподібного амоніаку. Пари амоніаку з колон поступають у сатуратор, де він зв'язується сульфатною кислотою в амоній

сульфат, тобто  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  одержують безпосередньо не з газу, а шляхом деяких проміжних операцій. Цей спосіб характеризується значною витратою холодної води для вловлювання амоніаку в скруберах, великими втратами амоніаку з оборотним газом. Промислового застосування непрямий спосіб виробництва амоній сульфату не знайшов.

Відмінною особливістю прямого способу є те, що перед уловлюванням амоніаку в сатураторі газ охолоджується до  $68^\circ\text{C}$ . Надсмольна вода, що виділяється з газу, повністю використовується для поповнення води циклу газозбірника і, таким чином, надлишок надсмольної води не утворюється. Весь амоніак коксового газу вловлюється в сатураторі з одержанням амоній сульфату. Перевага способу полягає в зменшенні експлуатаційних витрат за рахунок зниження витрати пари та електроенергії на переробку аміачної води.

Широкого застосування цей спосіб не отримав за наступними причинами: наявність великої кількості апаратів, які працюють під розрідженням, що збільшує витрату потужності нагнітача газу; інтенсивне протікання корозійних процесів в сатураторі, що обумовлюється присутністю амоній хлориду та утворенням легкої хлоридної кислоти; недостатнє очищення газу від туманоподібної смоли, що приводить до утворення великої кількості кислої смолки та забруднення амоній сульфату; одержання дрібнокристалічної солі, що викликано високою температурою процесу; громіздкість апаратного оформлення через високу температуру газу та великого його вологовмісту [3].

Напівпрямий спосіб отримав широкого промислового застосування. Особливістю напівпрямого способу одержання амоній сульфату є те, що не весь амоніак, який утворюється при коксуванні, поступає з газом в сатуратор, а тільки 70-75% від його ресурсів в газі. Частина амоніаку, до 25-30% від його ресурсів в газі, розчиняється в надсмольній воді, що утворюється при охолодженні газу в первинних холодильниках. Ця вода перероблюється в аміачному відділенні з одержанням пароаміачної суміші, що направляється в

сатуратор, де разом із амоніаком газу зв'язується сульфатною кислотою. Аміачні пари з колони аміачного відділення можуть бути направлені в піридинову установку, в якій разом з піридиновими основами утворюється амоній сульфат – цільовий продукт сульфатного відділення. Необхідність додаткової переробки великої кількості надсмольної води є недоліком способу, оскільки потребує установлення відповідної апаратури та обладнання, великих енергетичних витрат. Не дивлячись на вказаний недолік, напівпрямий спосіб надійний, зручний в управлінні, порівняно простий за технологічною схемою та економічний: частина аміачних парів може застосовуватися для одержання піридинових основ. Цей спосіб постійно удосконалюється.

Уловлювання амоніаку з коксового газу може здійснюватися безсатураторним способом в насадкових або форсуночних абсорберах. Безсатураторний процес одержання амоній сульфату може здійснюватися за двома різними схемами: вловлювання амоніаку пересиченим розчином, що містить кристали та ненасиченим розчином з наступним одержанням в окремому апараті кристалів солі амоній сульфату шляхом упарювання частини розчину.

Найчастіше використовується друга схема. Ця схема має ряд переваг: абсорбери зрошуються ненасиченим розчином, що усуває їх засолення; при кристалізації солі в окремому апараті можна отримувати кристали будь-якої крупності; процес легко піддається керуванню [4].

4) Виробництво амоній сульфату з синтетичного амоніаку. Амоній сульфат із синтетичного амоніаку одержують двома способами: мокрим і сухим.

Мокрий спосіб схожий з сатураторним способом одержання амоній сульфату з коксового газу.

Одержання амоній сульфату сухим способом засновано на взаємодії дрібнорозпиленої сульфатної кислоти з газоподібним амоніаком. При

розпилюванні сульфатної кислоти в газоподібному амоніаку утворюються крапельки розчину амоній сульфату. Опускаючись на дно реактора, ці крапельки під впливом тепла, що виділяється при взаємодії амоніаку з кислотою, втрачають вологу та перетворюються на тверді кристалики.

Переваги сухого способу полягають в тому, що в реакційній камері відразу одержують готовий сухий продукт. Окрім того, сухий спосіб менш енергоємний і вимагає менше обслуговуючого персоналу. До недоліків цього способу відноситься те, що при його застосуванні отримують сухий продукт, що утворює пил. Це ускладнює його перевезення та застосування в сільському господарстві.

Розчини, що містять амоній сульфат, переробляються або методом багатоступінчастої вакуумкристалізації, або методом випарювання «на кристал» [2].

В табл. 1.1 наведені техніко-економічні показники виробництва амоній сульфату за різними способами [5].

Наведені в табл. 1.1 данні свідчать про те, що найменші витратні норми мають виробництва амоній сульфату з синтетичного амоніаку за сухими способом та з коксового газу. Але треба враховувати, що застосування синтетичного амоніаку приводить до підвищення собівартості готового продукту. У свою чергу, використання амоніаку, вловленого з коксового газу, не тільки зменшує собівартість одержуваного амоній сульфату, а й дає можливість подальшого використання газу в якості технологічного та енергетичного палива.

Таблиця 1.1 – Техніко-економічні показники виробництва амоній сульфату

Витратні норми на	Способи виробництва
-------------------	---------------------

1 т амоній сульфату	Виробництво амоній сульфату з амоніаку коксового газу	Виробництво амоній сульфату з синтетичного амоніаку за сухими способом	Переробка розчинів, що є відходами виробництва капролактаму	Одержання амоній сульфату з гіпсу
NH <sub>3</sub> , т	0,26-0,27	0,25-0,26	–	–
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , т	0,75-0,76	0,75	–	–
Електроенергія, кВт·година	25-30	18	40-45	65
Вода, м <sup>3</sup>	8	1	55,5	25
Пара, т	2-6	–	2	1,4
Розчин, що містить 34%мас. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , т	–	–	2,97	–
Гіпс, т	–	–	–	1,13
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , т	–	–	–	0,74
Умовне паливо, кг	–	–	–	71,5

Проаналізувавши всі переваги та недоліки існуючих способів одержання амоній сульфату, беручи до уваги техніко-економічні показники виробництва, в дипломному проекті обирається сатураторний спосіб одержання амоній сульфату амонію з коксового газу.

## 1.2 Фізико-хімічні основи процесу виробництва амоній сульфату з коксового газу сатураторним способом

Основними факторами, що впливають на хід сатураторного процесу є: температура та кислотність маточного розчину, інтенсифікація масообміну в ванні сатуратора та чистота маточного розчину.

Хімізм процесу, що лежить в основі одержання амоній сульфату в сатураторі, зводиться до реакції нейтралізації амоніаку сульфатною кислотою.



Реакція протікає з величезною швидкістю та як всяка реакція нейтралізації, супроводжується виділенням тепла. На 1 кг амоній сульфату виділяється 1173,20 кДж, що є основним джерелом тепла в сатураторі й має велике значення для досягнення теплової рівноваги у ванні сатуратора, визначає його водний баланс, впливає на температуру ванни, ступінь уловлювання амоніаку та піридинових основ з газу, кристалізацію солі амоній сульфату.

При правильному режимі роботи сатуратора цього тепла повинно бути достатньо для випаровування всієї надлишкової вологи, що надходить у сатуратор з коксовим газом, з розчином після піридинової установки, з сульфатною кислотою, від промивання трубопроводів, сольових насосів і уловлювача; це ж тепло служить для підняття температури маточного розчину до оптимальної величини (50-55°C), поповнення втрат тепла поверхнею сатуратора, втрат тепла з циркулюючим маточним розчином і амоній сульфатом.

Практично не завжди вдається витримувати оптимальний тепловий режим роботи сатуратора тільки за рахунок тепла реакції нейтралізації. Це пояснюється недостатнім охолодженням газу у первинних холодильниках і, отже, підвищенням вмісту в газі парів води, незадовільною роботою дефлегматора аміачної колони, що викликає збільшення кількості водяної пари в паро-аміачній суміші і подачею в сатуратор більш слабкої сульфатної кислоти. У цих випадках не досягається випаровування всієї додаткової вологи, тобто порушується теплова рівновага в сатураторі.

При нестачі тепла в маточному розчині сатуратора відбувається накопичення води, що призводить до зневоднення розчину та розладу



технологічного процесу, оскільки з розбавленого розчину перестає викристалізовуватися амоній сульфат. Утворений надлишок маточного розчину виводиться з сатуратора до збірника. Випарювання надлишкової води при поверненні розчину в сатуратор вимагає підвищення температури газу та маточного розчину, що пов'язано зі збільшенням об'єму газу, опору сатуратора, погіршенням якості амоній сульфату й ускладненням в роботі кінцевого газового холодильника. Тому зневоднення маточного розчину сатуратора розглядається як аварія.

Для відновлення необхідної кількості тепла газ перед входом в сатуратор підігрівається в підігрівачі або може підігріватися маточний розчин.

Нормальний (оптимальний) технологічний режим при роботі піридинової установки характеризується наступним розподілом температури: температура газу після первинних холодильників 25-30°C, після нагнітача 30-45°C, після підігрівача газу 53-58°C, температура маточного розчину в сатураторі 53 -55°C.

Кристалізація амоній сульфату з маточного розчину є таким же важливим елементом сатураторного процесу, як і теплова рівновага. Процес кристалізації складається з двох стадій – утворення центрів кристалізації (зародків) і подальшого зростання кристалів. Кількість утворених центрів кристалізації залежить від різних причин: температури маточного розчину, його кислотності та чистоти, інтенсивності перемішування біля граней кристалів. Підвищення температури сприяє утворенню великої кількості центрів кристалізації, тобто одержанню дрібних кристалів. Тому необхідно підтримувати гранично низьку температуру ванни сатуратора, не вище тієї, при якій вже не порушується теплова рівновага сатуратора та не зневоднюється ванна. Не слід допускати місцевого переохолодження маточного розчину при його циркуляції, оскільки це викликає утворення додаткових центрів кристалізації. Зростанню кристалів

сприяє більш низька температура маточного розчину. При температурі вище 55-60°C зростання кристалів амоній сульфату припиняється.

При високій температурі ванни (вище оптимальної) утворюється дрібна сіль, кристали утворюють агрегати з розвиненою поверхнею, на якій утримується волога та кислота, що погіршує якість амоній сульфату.

Утворенню великої кількості центрів кристалізації сприяє підвищена концентрація кислоти, швидке досягнення стану насичення (при швидкому охолодженні), а також наявність так званої затравки, тобто кристалів, пилу та інших домішок.

Кислотність маточного розчину впливає на ріст і форму кристалів, ступінь уловлювання амоніаку та піридинових основ із коксового газу. Підвищена кислотність розчину призводить до припинення росту та розчинення кристалів, зростання в'язкості й густини розчину, в результаті чого сповільнюється осідання кристалів амоній сульфату в конусі сатуратора, а розчин, що виводиться в кристалоприймач, не містить великих кристалів. Дрібні кристали дуже погано фугуються, забивають сита в центрифугі, погано відмиваються від кислоти, а при зберіганні швидко злежуються, утворюючи грудки.

При кислотності розчину 1-2% одержують великі та гарні за формою кристали солі. Однак, при цьому відбувається рясне виділення кристалів, що ускладнює роботу сольових насосів, викликає нарощування кристалів на стінках сатуратора, в щілинах барботажного зонта, призводить до збільшення опору сатуратора газовому потоку, до віднесення бризок маточного розчину до вловлювача. Низька кислотність маточного розчину призводить до втрат аміаку та піридинових основ зі зворотним газом. Таким чином, кислотність ванни сатуратора повинна бути по можливості нижче, але достатньою для повноти уловлювання амоніаку та піридинових основ з газу. У свою чергу кислотність

розчину повинна бути постійною і не перевищувати 4-5%. За наявності ефективного перемішування у ванні сатуратора кислотність розчину підтримують на рівні 3-4%. З підвищенням кислотності до 6% і вище різко погіршується форма кристалів, зменшуються їх розміри, утворюються зростки кристалів, що призводить до відкладення солі на стінках сатуратора. З підвищенням кислотності розчину ускладнюється підтримування допустимої норми вмісту вільної сульфатної кислоти в товарному амоній сульфаті, збільшується витрата води на його промивку в центрифугі, збільшується час сушіння.

Виникнення місцевих пересичень маточного розчину попереджається інтенсивною циркуляцією розчину, подачею коксового газу та сульфатної кислоти в еквівалентних кількостях і по можливості рівномірно у всі точки ванни сатуратора.

Інтенсифікація росту кристалів солі досягається перемішуванням і циркуляцією маточного розчину та об'ємним навантаженням сатуратора по газу. Перемішування розчину збільшує час перебування кристалів в зваженому стані, що обумовлює велику тривалість їх зростання.

Інтенсивне перемішування верхніх шарів маточного розчину у ванні сатуратора можливе завдяки особливій конструкції барботажного зонта.

До нижньої поверхні барботажного зонта по всій його окружності прикріплюються 50 направляючих лопаток, розташованих під кутом до поверхні зонта, в результаті коксовий газ, крім перемішування розчину при барботажі, приводить його також в обертальний рух. Інтенсивне перемішування в нижній частині сатуратора досягається роботою циркуляційного насоса.

На процес кристалізації та якість амоній сульфату сильно впливають домішки, що наявні в маточному розчині ванни сатуратора. Ці домішки

потрапляють в маточний розчин з коксовим газом, сульфатною кислотою, з парами з аміачної колони, в результаті корозії апаратури. Вміст цих домішок в маточному розчині може коливатися в широких межах.

Органічні домішки – мастила, смола, ненасичені сполуки надходять в сатуратор із коксовим газом і з відпрацьованою або регенованою сульфатною кислотою. Ці домішки утворюють в сатураторі кислу смолку, яка покриває у вигляді плівки поверхню маточного розчину ванни, що збільшує опір проходження газу. Підвищена витрата регенованої та відпрацьованої кислоти може призвести до спінювання розчину та віднесення піни зі зворотним газом. Зазвичай ці кислоти вводять через збірник маточного розчину для додаткової їх регенерації. З сульфатною кислотою в ванну сатуратора можуть надходити неорганічні домішки у вигляді сполук арсену, кадмію, плюмбуму, хлору, хрому, феруму, купруму, алюмінію, які проявляються по різному. Присутні в маточному розчині іони тривалентного феруму, алюмінію та аніони хлору перешкоджають росту кристалів солі. Неприятливо впливають на крупність солі амоній сульфату ціаністі сполуки, комплексні ціаніди. Іони алюмінію, кадмію та хрому сприяють утворенню кристалів, які легко ламаються та утворюють дрібні осколки, схильні до злежування.

У маточному розчині нейтралізатора, що має лужне середовище, іони феруму утворюють нерозчинну комплексну сіль –  $(\text{NH}_4)_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , що представляє собою шлам із розмірами частинок 6-40 мкм. Потрапляючи зі знепіридиненим розчином у сатуратор шлам вкривається смолою, що надходить з коксовим газом і збільшує густину кислої смолки. Частина смолки тоне разом з кристалами амоній сульфату, затримує їх зростання та забруднює сіль.

Таким чином, наявність в маточному розчині органічних і неорганічних домішок ускладнює кристалізацію солі, погіршує якість амоній сульфату,

ускладнює фугування солі в центрифугах, збільшує вологість і кислотність, вимагає посиленого промивання та тривалого сушіння товарного продукту.

Крім того, домішки надають амоній сульфату специфічного забарвлення, яке може бути непрямим показником чистоти товарного продукту. Сірий колір амоній сульфату надають смолисті речовини, чорний – сірчисті сполуки феруму, плюмбуму та купрум; роданисті сполуки в присутності феруму надають червоне або рожеве забарвлення; ціанисті сполуки феруму надають колір від зеленого до фіолетового; сполуки арсену забарвлюють сіль в жовтий колір; смоляний туман в коричневий.

Велике значення для нормальної роботи сатуратора має своєчасне видалення сольових відкладень на стінках сатуратора і на барботажному зонті. Ефективним способом видалення сольових відкладень є щодобове промивання сатуратора конденсатом пари (80-90°C) з подачею її в місця найбільшого накопичення солі.

Таким чином, якість амоній сульфату залежить від роботи первинних газових холодильників, електрофільтрів, аміачного і піридинового відділень; від якості вихідної сульфатної кислоти; ефективності роботи перемішуючих пристроїв, навантаження сатуратора по газу та амоніаку [3].

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

Коксовий газ і сульфатна кислота є сировиною для виробництва амоній сульфату.

У виробництво амоній сульфату надходить коксовий газ, що містить, г/м<sup>3</sup>: 7-12 амоніаку, 100-120 смоли, 25-40 сирого бензену, 1 ціанідна кислота, 45 гідрогенсульфуру, 6-8 нафталіну, 0,4-0,5 легких піридинових основ.

Для виробництва амоній сульфату вищого та першого сортів використовується контактна сульфатна кислота (поліпшена), для виробництва продукту другого сорту – контактна технічна та баштова кислота. Можливе також використання регенованої сульфатної кислоти [6].

Якісні показники сульфатної кислоти, що застосовується в виробництві амоній сульфату, нормуються ГОСТом 2184-77 (табл. 2.1) [7].

Безводна сульфатна кислота представляє собою безбарвну маслянисту, дуже в'язку та гігроскопічну рідину з густиною 1,8305 г/см<sup>3</sup> (при 20°C), яка кипить при 279,6°C і тиску 760 мм рт. ст., кристалізується при 10,37°C. Густина сульфатної кислоти зі збільшенням її концентрації до вмісту 98,3%(мас.) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> зростає, при подальшому підвищенні концентрації – падає. Сульфатна кислота змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, при цьому утворюються гідрати. Розбавлення її водою супроводжується сильним розігріванням – виділяється тепло [1].

За ГОСТом 9097-82 амоній сульфат повинен характеризуватися показниками, вказаними в табл. 2.2 [8].

Амоній сульфат представляє собою білі, прозорі кристали форми подовженого ромбу розміром від сотих долей міліметра до 6-8 мм і більше. Щільність кристалічного амоній сульфату при 20°C складає 1,768 г/м<sup>3</sup>. Насипна маса в залежності від крупності кристалів і вмісту вологи коливається в межах 780-830 кг/м<sup>3</sup>. Амоній сульфат добре розчиняється у воді. З підвищенням температури розчинність його в воді збільшується [3].



Таблиця 2.1 – ГОСТ 2184-77. Кислота серная техническая. Технические условия

Найменування показника	Норма				
	поліпшена	Контактна		Баштова	Регенерована
		технічна			
		I сорт	II сорт		
1. Масова частка моногідрату (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), %	92,5-94,0	не менше 92,5		не менше 75	не менше 91
2. Масова частка вільного сірчаного ангідриду (SO <sub>3</sub> ), %, не менше	—	—	—	—	—
3. Масова частка заліза (Fe), %, не більше	0,006	0,02	0,1	0,05	0,2
4. Масова частка залишку після прожарювання, %, не більше	0,02	0,05	не нормується	0,3	0,4
5. Масова частка оксидів азоту (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, не більше	0,00005	не нормується		0,05	0,01
6. Масова частка нітросполук, %, не більше	не нормується				0,2
7. Масова частка миш'яку (As), %, не більше	0,00008	не нормується		не нормується	
8. Масова частка хлористих сполук (Cl), %, не більше	0,0001	не нормується			
9. Масова частка свинцю (Pb), %, не більше	0,001	не нормується		не нормується	
10. Прозорість	Прозора без розведення	не нормується			
11. Колір, см <sup>3</sup> розчину порівняння, не більше	1	6	не нормується		

Таблиця 2.2 – ГОСТ 9097-82. Сульфат аммония. Технические условия

Показники	Норма
1. Зовнішній вигляд	Білі або прозорі кристали
2. Вміст азоту в перерахунку на суху речовину, %(мас.), не менше	21
3. Вміст вологи, %(мас.), не більше	0,2
4. Вміст вільної сульфатної кислоти, %(мас.), не більше	0,03
5. Вміст нерозчинного в воді залишку, %(мас.), не більше	0,02
6. Розсипчастість, %	100
7. Гранулометричний склад:	
вміст фракції > 0,5 мм, %(мас.), не менше	80
менше 6 мм, %(мас.)	100



### 3 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

Опис технологічної схеми виробництва амоній сульфату з коксового газу сатураторним способом представлений нижче.

Коксовий газ, підігрітий в паровому підігрівачі (поз. 1) до 50-60°C, і пара з аміачної колони поступають в сатуратор (поз. 2). Сульфатна кислота з концентрацією 75-78%мас. безперервно надходить у сатуратор з напірного баку (поз. 3). В сатураторі амоніак, що міститься в коксовому газі та пароаміачній суміші, та піридинові основи взаємодіють з сульфатною кислотою з утворенням відповідних солей. Коксовий газ, що пройшов шар маточного розчину та звільнився від амоніаку й піридинових основ, направляється в кислотний уловлювач (поз. 4), в якому з газу вловлюються бризки маточного розчину. Після кислотного уловлювача коксовий газ направляється у бензольне відділення для виділення бензольних вуглеводнів в скруберах.

Кристали амоній сульфату, що осідають в конічній частині сатуратора, з деякою кількістю маточного розчину подаються в кристалоприймач (поз. 6) для відстоювання. Маточний розчин через штуцер, розташований в верхній частині кристалоприймача, безперервно перетікає в бак зворотних токів (поз. 7) і з нього самотечією в сатуратор (поз. 2). Із нижньої частини кристалоприймача згущена суміш кристалів амоній сульфату з маточним розчином поступає в центрифугу безперервної дії (поз. 8), де кристали відділяються від маточного розчину та промиваються гарячою водою. Відфугований амоній сульфат з центрифуги транспортується на сушку. Сушка здійснюється в сушарці з «киплячим» шаром (поз. 10) повітрям, підігрітим в калорифері (поз. 11). Висушений амоній сульфат подається на склад.

Розчин після центрифуги через бак зворотних токів (поз. 7) повертається в сатуратор (поз. 2). Рівень маточного розчину в сатураторі підтримується за допомогою спеціального бокового штуцера, через який надлишок маточного розчину відводиться в циркуляційний бак (поз. 5). Разом з маточним розчином в циркуляційний бак відводиться кисла смолка, що плаває на поверхні маточного розчину в ванні сатуратора. З циркуляційного баку кисла смолка періодично вибирається вручну, за допомогою черпаків, і вивозиться з цеху.

Частина маточного розчину з кристалопримача (поз. 6) для виділення піридинових основ безперервно подається в нейтралізатор (поз. 20), в який безперервно подається концентрована пароаміачна суміш після дефлегматора аміачної колони. Барботуючи через шар маточного розчину в нейтралізаторі, більша частина амоніаку витрачається на нейтралізацію вільної кислоти, залишкова частина амоніаку реагує з сульфатами піридину та його гомологами. При цьому піридинові основи виділяються в вільному вигляді. Процес нейтралізації супроводжується виділенням тепла, завдяки чому температура розчину в нейтралізаторі тримається на рівні 100°C. При такій температурі вільні піридинові основи випаровуються та в суміші з супутніми компонентами направляються в конденсатор (поз. 21). Суміш в конденсаторі охолоджується до 30°C і у вигляді конденсату стікає в сепаратор (поз. 22). В сепараторі конденсат розділяється на два шари: верхній – сирі піридинові основи з верхньої частини сепаратора поступають в мірник (поз. 23), а потім у сховище. Нижній шар, що містить амоній карбонат, гідрогенсульфур і невелику кількість піридинових основ, повертається в нейтралізатор (поз. 20).

Знепіридинений розчин з нейтралізатора (поз. 20) надходить у відстійник-розкислювач (поз. 24), де відстоюється від шламу, а потім підкислюється сульфатною кислотою до 10-12%мас. і повертається в сатуратор [3].

## 4 МАТЕРІАЛЬНІ І ТЕПЛОВІ БАЛАНСИ

### 4.1 Матеріальний баланс стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком

#### Прихід

В сатуратор із підігрівача поступає [9]:

#### 1. Коксовий газ наступного складу:

	кг/годину	м <sup>3</sup> /годину
Сухий коксовий газ	32926	72460
Водяна пара	2680	3330
Бензолні вуглеводи	2200	595
Гідрогенсульфур	1037	680
Амоніак	448	590
Піридинові основи	29	8
Разом	39320	77663

#### 2. Аміачно-водяна пара з дефлегматора в кількості 96% від загальної кількості містить:

	кг/годину	м <sup>3</sup> /годину
Амоніак	146	192
Гідрогенсульфур	44	29
Карбон (IV) оксид	51	26
Водяна пара	765	950
Піридинові основи	4,1	1,2
Разом	1010,1	1198,2

3. Сульфатна кислота – 2493 кг/годину.
4. Маточний розчин із баку зворотних токів в кількості  $x$  кг/годину.

Всього в сатуратор поступає:  $(42823,1 + x)$  кг/годину.

#### Витрата

1. Маточний розчин. Кількість маточного розчину, що виводиться з сатуратора, дорівнює 10-кратному відносно до сухого амоній сульфату. Оскільки кількість амоній сульфату дорівнює 2552 кг/годину, то кількість маточного розчину складатиме 25520 кг/годину.
2. Коксовий газ наступного складу:

	кг/годину	м <sup>3</sup> /годину
Сухий коксовий газ	32926	72460
Бензолні вуглеводи	2200	595
Гідрогенсульфур	1081	710
Амоніак	2	2,6
Піридинові основи	2,9	0,8
Карбон (IV) оксид	52,8	26,9
Водяна пара	4475	5589
Разом	40739,7	79384,3

Всього виходить із сатуратора: 66259,7 кг/годину.

Дорівнюючи прихід і витрату, отримуємо, що  $x = 23436,6$  кг/годину.

Матеріальний баланс стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком представлений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Матеріальний баланс стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком

Прихід	кг/годину	% мас.	Витрата	кг/годину	% мас.
1. Коксовий газ			1. Коксовий газ		
сухий коксовий газ	32926,0	83,7	сухий коксовий газ	32926,0	80,8
водяна пара	2680,0	6,8	бензольні вуглеводи	2200,0	5,4
бензольні вуглеводи	2200,0	5,6	гідрогенсульфур	1081,0	2,7
гідрогенсульфур	1037,0	2,6	амоніак	2,0	0,005
амоніак	448,0	1,1	піридинові основи	2,9	0,007
піридинові основи	29,0	0,1	карбон (IV) оксид	52,8	0,13
<b>Разом:</b>	<b>39320,0</b>	<b>100,0</b>	<b>Разом:</b>	40739,7	<b>100,0</b>
2. Ам'ячно-водяна пара			2. Маточний розчин	25520,0	100,0
амоніак	146,0	14,5	<b>Разом:</b>	25520,0	100,0
гідрогенсульфур	44,0	4,4			
карбон (IV) оксид	51,0	5,0			
водяна пара	765,0	75,7			
піридинові основи	4,1	0,4			
<b>Разом:</b>	<b>1010,1</b>	<b>100,0</b>			
3. Сульфатна кислота	2493,0	100,0			
<b>Разом:</b>	<b>2493,0</b>	<b>100,0</b>			
4. Маточний розчин	23436,6	100,0			
<b>Разом:</b>	<b>23436,6</b>	<b>100,0</b>			
<b>РАЗОМ:</b>	<b>66259,7</b>	<b>100,0</b>	<b>РАЗОМ:</b>	<b>66259,7</b>	<b>100,0</b>

Таблиця 4.2 – Витратні коефіцієнти на сировину, паливо, енергоресурси та допоміжні матеріали на 1 т амоній сульфату

Назва сировини, матеріалів і енергоресурсів	Одиниця вимірювання	Витрати на одиницю товарного продукту
Коксовий газ	кг	2700
Сульфатна кислота (100%-ва)	кг	750
Вода	м <sup>3</sup>	8

Електроенергія	кВт · година	30
Пара	кг	6000

## 4.2 Тепловий баланс стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком

Тепловий баланс складається згідно матеріального балансу [9].

### Прихід тепла

1. Тепло, що вноситься коксовим газом із підігрівача. Позначаємо температуру газу, що поступає із підігрівача, через  $x$ , тоді

– тепло, що вноситься сухим коксовим газом:

$$32926 \cdot 2,93x = 96473,18x,$$

де  $2,93$  – теплоємність коксового газу, кДж/(кг · °С);

– тепло, що вноситься парами води:

$$2680 \cdot (595 + 1,84x) = 1594 + 4931,2x,$$

де  $1,84$  – теплоємність водяної пари, кДж/(кг · °С);

– тепло, що вноситься бензольними вуглеводнями:

$$2200 \cdot 1,03x = 2266x,$$

де  $1,03$  – теплоємність бензольних вуглеводнів, кДж/(кг · °С);

– тепло, що вноситься гідрогенсульфуром:

$$1037 \cdot 0,99x = 1026,63x,$$

де  $0,99$  – теплоємність гідрогенсульфуру, кДж/(кг · °С);

– тепло, що вноситься амоніаком:

$$448 \cdot 2,11x = 945,28x,$$

де  $2,11$  – теплоємність амоніаку, кДж/(кг · °С);

– тепло, що вноситься піридиновими основами

$$29 \cdot 1,03x = 29,87x,$$

де 1,03 – теплоємність піридинових основ, кДж/(кг · °С).

Всього вноситься газом:  $Q_1 = (1594 + 105672,х)$  кДж/годину.

2. Тепло, що вноситься аміачно-водяною парою з дефлегматора при температурі 95 °С

– тепло, що вноситься парами амоніаку:

$$146 \cdot 2,13 \cdot 95 = 29543,1 \text{ кДж/годину};$$

– тепло, що вноситься гідрогенсульфуром:

$$44 \cdot 1,01 \cdot 95 = 4221,8 \text{ кДж/годину};$$

– тепло, що вноситься парами води:

$$765 \cdot (595 + 1,84 \cdot 95) = 588897 \text{ кДж/годину};$$

– тепло, що вноситься карбон (IV) оксидом:

$$51 \cdot 1,75 \cdot 95 = 8478,75 \text{ кДж/годину};$$

– тепло, що вноситься піридиновими основами

$$4,1 \cdot 1,03 \cdot 95 = 401,19 \text{ кДж/годину}.$$

Всього вноситься аміачно-водяною парою:

$$Q_2 = 29543,1 + 4221,8 + 588897 + 8478,75 + 401,19 = 631541,84 \text{ кДж/годину}.$$

3. Тепло, що вноситься сульфатною кислотою

$$Q_3 = 2493 \cdot 1,91 \cdot 20 = 95232,6 \text{ кДж/годину},$$

де 1,91 – теплоємність 76%-вої сульфатної кислоти, кДж/(кг · °С);

20 – температура сульфатної кислоти, °С.

4. Тепло, що вноситься маточним розчином із баку зворотних токів

$$Q_4 = 23436,6 \cdot 2,68 \cdot 45 = 2826459,96 \text{ кДж/годину},$$

де 2,68 – теплоємність маточного розчину, кДж/(кг · °С);

45 – температура маточного розчину, °С.

5. Тепло, що вноситься циркулюючим розчином. Кількість циркулюючого розчину дорівнює 30-кратній кількості відносно до амоній сульфату, тобто

$$2552 \cdot 30 = 76560 \text{ кг/годину.}$$

Тоді

$$Q_5 = 76560 \cdot 2,68 \cdot 48 = 9848678,4 \text{ кДж/годину,}$$

де 48 – температура циркулюючим розчину, °С.

6. Тепло хімічних реакцій. Це тепло складається з тепла розбавлення сульфатної кислоти, тепла реакції амоніаку з сульфатною кислотою та тепла кристалізації амоній сульфату:

– тепло розбавлення сульфатної кислоти від 76%мас. до 6%мас.

$$74833,4 \cdot \left( \frac{n_1}{1,7983 + n_1} - \frac{n_2}{1,7983 + n_2} \right), \quad (7)$$

де  $n_1$  – співвідношення молей води до числа молей кислоти в 6%-вій сульфатній кислоті;

$n_2$  – співвідношення молей води до числа молей кислоти в 76%-вій сульфатній кислоті.

$$n_1 = \frac{94 \cdot 98}{18 \cdot 6} = 85,3; \quad n_2 = \frac{24 \cdot 98}{18 \cdot 76} = 1,72.$$

Тоді

$$74833,4 \cdot \left( \frac{85,3}{1,7983 + 85,3} - \frac{1,72}{1,7983 + 1,72} \right) = 36668,37 \text{ кДж/годину.}$$

і на 1895 кг моногідрату

$$36668,37 \cdot \frac{1895}{98} = 709046,47 \text{ кДж/годину;}$$

– тепло нейтралізації амоніаку сульфатною кислотою складає 195643 кДж/кмоль і на  $448 + 146 - 2 = 592$  кг  $\text{NH}_3$ , що реагує в сатураторі



$$195643 \cdot \frac{592}{34} = 3407012,26 \text{ кДж/годину};$$

- тепло кристалізації амоній сульфату 10894 кДж/кмоль і на  $2552 - 199 - 49,4 = 2301,6$  кг/годину амоній сульфату, що утворюється в сатураторі

$$10894 \cdot \frac{2301,6}{132} = 189951,75 \text{ кДж/годину}.$$

Загальне тепло хімічних реакцій складає:

$$Q_6 = 709046,47 + 3407012,26 + 189951,75 = 4306010,48 \text{ кДж/кг}$$

Загальний прихід тепла в сатуратор дорівнює:

$$Q_{\text{пр}} = (19302523,28 + 105672x) \text{ кДж/годину}$$

#### Витрата тепла

1. Тепло, що уноситься коксовим газом із сатуратора. Приймається температура коксового газу  $55^\circ\text{C}$ , тоді

- тепло, що уноситься сухим коксовим газом

$$32926 \cdot 2,93 \cdot 55 = 5306025 \text{ кДж/годину};$$

- тепло, що уноситься парою води

$$4475 \cdot (595 + 1,84 \cdot 55) = 3115495 \text{ кДж/годину};$$

- тепло, що уноситься бензольними вуглеводнями

$$2200 \cdot 1,03 \cdot 55 = 124630 \text{ кДж/годину};$$

- тепло, що уноситься гідрогенсульфуром

$$1081 \cdot 0,99 \cdot 55 = 58860,45 \text{ кДж/годину};$$

- тепло, що уноситься амоніаком і піридиновими основами

$$55 \cdot (2 \cdot 2,13 + 2,9 \cdot 1,03) = 398,59 \text{ кДж/годину}.$$

Всього уноситься коксовим газом:  $Q_7 = 8605409,04$  кДж/годину.

2. Тепло, що уноситься маточним розчином разом з амоній сульфатом

$$Q_8 = 25520 \cdot 2,68 \cdot 55 = 3761648 \text{ кДж/годину.}$$

3. Тепло, що уноситься циркулюючим розчином

$$Q_9 = 76560 \cdot 2,68 \cdot 55 = 11284944 \text{ кДж/годину.}$$

4. Тепло, що втрачається сатуратором у навколишнє середовище

$$Q_{10} = 20,95 \cdot 260 \cdot (50 + 20) = 381290 \text{ кДж/годину,}$$

де 20,95 – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією і випромінюванням,

$$\text{кДж/м}^3 \cdot \text{година} \cdot \text{°C};$$

50 – температура зовнішньої стінки сатуратора, °C;

20 – температура навколишнього середовища, °C

260 – зовнішня поверхня сатуратора, м<sup>2</sup>.

Загальна витрата тепла буде дорівнювати:

$$Q_{\text{вит}} = 24033291,04 \text{ кДж/годину.}$$

Дорівнюючи прихід і витрату тепла, визначаємо температуру коксового газу, що поступає з підігрівача:

$$19302523,28 + 105672x = 24033291,04; \quad \text{звідки } x = 44,8 \text{ °C.}$$

Отримані дані вносяться в таблицю теплового балансу стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком (табл. 4.3).

Неув'язування балансу складає

$$\frac{(24036636,05 - 24033291,04)}{24036636,05} \cdot 100\% = 0,01\%,$$

що є припустимим.

**Таблиця 4.3 – Тепловий баланс стадії нейтралізації сульфатної кислоти  
амоніаком**

Прихід	кДж/годину	Витрата	кДж/годину
Тепло коксового газу	6328712,77	Тепло коксового газу	8605409,04
Тепло аміачно-водяної пари	631541,84	Тепло маточного розчину	3761648
Тепло сульфатної кислоти	95232,6	Тепло циркулюючого розчину	11284944
Тепло маточного розчину	2826459,96	Тепло, що втрачається в навколишнє середовище	381290
Тепло циркулюючого розчину	9848678,4		
Тепло хімічних реакцій	4306010,48		
Разом	24036636,05	Разом	24033291,04

## **5 ВИБІР І РОЗРАХУНОК ОСНОВНОГО АПАРАТУ**

### **5.1 Конструкція та принцип дії сатуратора**

Основним апаратом виробництва амоній сульфату є сатуратор. Сатуратор представляє собою циліндричний апарат з конічним днищем, виготовлений з вуглецевої сталі та футерований всередині кислототривкою плиткою. Він постачається виносним уловлювачем.

Коксовий газ входить в сатуратор зверху вниз по центральній трубі (поз. 14) з барботажем зонтом (поз. 7), зануреним в маточний розчин на 250-280 мм. Сульфатна кислота поступає в сатуратор (штуцер Г), рівномірно розподіляючись в зоні реакції за допомогою кільцевої труби з отворами (поз.6), закріпленої навколо центральної труби. Завдяки тісному контакту газу з кислим маточним розчином в сатураторі забезпечується майже повне поглинання

амоніаку з утворенням амоній сульфату. Оскільки розчин знаходиться в стані пересичення, то утворена сіль відразу ж переходить у тверду фазу. Під дією гравітації утворені кристали поступають в нижню частину конічного днища.

Рівномірна концентрація кислоти в розчині підтримується безперервною циркуляцією маточного розчину. Пульпа, що складається з кристалів амоній сульфату та маточного розчину, безперервно видаляється з днища сатуратора (штуцер Е) і передається в кристалоприймач. Маточний розчин із кристалоприймача знову повертається в сатуратор (штуцер Д) через ажитатор (поз. 8), який забезпечує його інтенсивне перемішування, що сприяє утворенню крупнокристалічного амоній сульфату.

Очищений газ виводиться з сатуратора та направляється у бензольне відділення для виділення бензольних вуглеводнів в скруберах [6].

## 5.2 Конструктивний розрахунок сатуратора

Конструктивний розрахунок виконується за даними матеріального балансу [9].

Об'єм газу, що надходить із підігрівача складає:

$$V = 77663 \cdot \frac{273 + 70}{273} \cdot \frac{760}{906} = 81700 \text{ м}^3/\text{годину},$$

де 77663 – кількість коксового газу, що надходить із підігрівача, м<sup>3</sup>/годину;

70 – температура газу після підігрівача, °С;

906 – тиск газу перед сатуратором, мм. рт. ст.

Об'єм парів, що надходять з дефлегматора

$$\left( \frac{146}{17} + \frac{44}{34} + \frac{51}{44} + \frac{765}{18} + \frac{4,1}{79} \right) \cdot \frac{273+95}{273} \cdot \frac{760}{906} \cdot 22,14 = 1100 \text{ м}^3/\text{годину},$$

де 146, 44, 51, 765, 4,1 – кількість парів амоніаку, гідрогенсульфуру, карбон

(IV) оксиду, водяної пари, піридинових основ відповідно, кг/годину;

17, 34, 44, 18, 79 – молекулярна маса амоніаку, гідрогенсульфуру, карбон

(IV) оксиду, водяної пари, піридинових основ відповідно, моль/г;

95 – температура аміачно-водяних парів, °С.

Діаметр газопроводу визначаємо, виходячи зі швидкості газу, що дорівнює 16 м/с, тоді [9]

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot v}} \quad (7)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 81700}{3600 \cdot 3,14 \cdot 16}} = 1,35 \text{ м.}$$

Діаметр трубопроводу для аміачно-водяних парів визначається за формулою (7). Швидкість аміачно-водяних парів приймається 10 м/с, тоді

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1100}{3600 \cdot 3,14 \cdot 10}} = 0,2 \text{ м.}$$

Діаметр центральної газовідвідної труби всередині сатуратору визначаємо, виходячи зі швидкості газу в два рази меншої, ніж в газопроводі, тобто 8 м/с, тоді

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (1100 + 81700)}{3600 \cdot 3,14 \cdot 8}} = 1,92 \text{ м.}$$

і перетин цієї труби  $S = 2,9 \text{ м}^2$ .

Діаметр корпусу сатуратору визначаємо з його загального перетину, що дорівнює сумі перетину центральної труби і кільцевого перетину.

Приймаємо швидкість газу в кільцевому перетині сатуратора 0,8 м/с, тоді необхідний перетин кільця буде дорівнювати [9]:

$$S_k = \frac{V}{3600 \cdot v}, \quad (8)$$

де  $V$  – об'єм відхідного газу,  $\text{м}^3$ .

$$V = 79384,3 \cdot \frac{273 + 55}{273} \cdot \frac{760}{862} = 84000 \text{ м}^3/\text{годину.}$$

Загальний перетин сатуратора

$$S_{\text{заг.}} = 26 + 2,9 = 28,9 \text{ м}^2.$$

Звідси діаметр сатуратору

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 28,9}{3,14}} = 6,1 \text{ м.}$$

### 5.3 Механічний розрахунок сатуратора

Виконаємо розрахунок товщини циліндричної обичайки сатуратора.

Апарат працює під тиском 0,035 МПа. Матеріал обичайки сталь – Ст.3.

Внутрішній діаметр обичайки сатуратора – 6,1 м.

Оскільки робочий тиск в апараті відповідає умові  $P_{\text{раб}} \leq 0,3$  МПа, то тиск в апараті під час дії запобіжного клапану розраховується за формулою [10]:

$$P_k = P_{\text{раб}} + 0,05, \quad (9)$$

$$P_k = 0,035 + 0,05 = 0,085 \text{ МПа.}$$

Оскільки  $P_{\text{раб}} \leq 6,0$  МПа, то розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску визначається за рівнянням [10]:

$$P_p = 0,9 \cdot P_k, \quad (10)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 0,085 = 0,0765 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина обичайки сатуратора визначається за формулою [10]:

$$S_p = \frac{D \cdot P}{2[\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (111)$$

де  $[\sigma]$  – допустиме напруження для сталі Ст.3, МПа;

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

Допустиме напруження розраховується за формулою [10]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_B}{n_B}, \quad (12)$$

де  $\sigma_B = 380$  – тимчасовий опір (межа міцності), МПа;

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

$$[\sigma] = \frac{380}{2,4} = 158 \text{ МПа.}$$

$$S_p = \frac{6100 \cdot 0,0765}{2 \cdot 158 \cdot 0,9 - 0,0765} = 2 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки обичайки визначається за виразом [10]:

$$S \geq S_p + C, \quad (13)$$

де  $C$  – прибавка до розрахункової товщини обичайки, мм.

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



$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (14)$$

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

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

$C_3 = 0$  – прибавка технологічна, мм.

$$C = 1 + 1 = 2 \text{ мм.}$$

$$S \geq 2 + 2 = 4 \text{ мм.}$$

Приймаємо значення стандартної товщини листового прокату 6 мм.

Допустимий тиск в обичайці сатуратора визначаємо за формулою [10]:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (15)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 158 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2)}{6100 + (6 - 2)} = 0,19 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P = 0,0765 \text{ МПа} < [P] = 0,19 \text{ МПа}$$

виконується.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул [10]:

$$\frac{S - C}{D} < 0,1 \quad (16)$$

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 2}{6100} = 0,0007 < 0,1.$$

Умова виконується.

## 6 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 6.1 Розрахунок і вибір підігрівача коксового газу

Витрата теплоти для нагрівання коксового газу розраховується з виразу [11]:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}}), \quad (17)$$

де  $G = 39320$  – масова витрата коксового газу, що нагрівається, кг/годину;

$t_{\text{кін}} = 44,8$  і  $t_{\text{поч}} = 25$  – кінцева та початкова температура коксового газу, °С;

$c = 1350$  – питома теплоємність коксового газу, Дж/(кг · К).

$$Q = \frac{39320}{3600} \cdot 1350 \cdot (44,8 - 25) = 291357 \text{ Вт} = 291 \text{ кВт.}$$

Фронтальний перетин, через який безпосередньо проходять потоки холодного коксового газу, що нагнітається, розраховується за формулою [11]:

$$f = \frac{G}{v}, \quad (18)$$

де  $v = 4$  – масова швидкість повітря,  $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ .

$$f = \frac{10,9}{4} = 2,725 \text{ м}^2.$$

Орієнтуючись на отримане значення фронтального перетину, вибираємо калорифер, що найбільш підходить під значення  $2,725 \text{ м}^2$ . Таким є паровий калорифер КПСк2-12 з наступними характеристиками: фронтальний перетин –  $2,488 \text{ м}^2$ ; площа поверхні нагріву –  $86,2 \text{ м}^2$ ; площа перетину колектора –  $0,00152 \text{ м}^2$ ; площа перетину патрубку –  $0,00221 \text{ м}^2$ ; площа живого перетину для проходу носія –  $0,00944 \text{ м}^2$ ; довжина елемента, що віддає тепло –  $1,658 \text{ м}$ ; число ходів по внутрішньому теплоносію – 1; число рядів – 2.

Дійсна масова швидкість для вибраного калорифера дорівнює:

$$v = \frac{10,9}{2,488} = 4,38 \text{ м}^2 \cdot \text{с}.$$

Витрата пари розраховується за формулою [11]:

$$G_i = \frac{G}{r_i}, \quad (19)$$

де  $r_n = 2163,44$  кДж/кг – теплота пароутворення (для насиченої водяної пари тиском 0,3 МПа і температурою 133,5°C).

$$G_i = \frac{291357}{2163440} = 0,135 \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{або} \quad \frac{0,135 \cdot 3600}{1,65} = 294,5 \text{ м}^3/\text{год},$$

де 1,65 – щільність насиченої водяної пари тиском 0,3 МПа і температурою 133,5°C, кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт теплопередачі калорифера розраховується за формулою [11]:

$$K = B \cdot v^n \cdot L^r, \quad (20)$$

де  $v = 4,38$  – дійсна масова швидкість, кг/м<sup>2</sup>·с;

$L = 1,658$  – довжина елемента, що віддає тепло, м;

$B = 34,3$ ;  $n = 0,357$ ;  $r = -0,072$  – значення модуля і ступенів відповідно для калорифера КПСк2-12.

$$K = 34,3 \cdot 4,38^{0,357} \cdot 1,658^{-0,072} = 56,012 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Середній температурний напір визначається за формулою [11]:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\dot{a}} - \Delta t_i}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\dot{a}}}{\Delta t_i}} \quad (21)$$

$$\Delta t_6 = 133,5 - 25 = 108,5^\circ\text{C}; \quad \Delta t_m = 133,5 - 44,8 = 88,7^\circ\text{C};$$

$$\Delta t = \frac{108,5 - 88,7}{2,3 \lg \frac{108,5}{88,7}} = 98,5 \text{ }^\circ\text{Ñ}.$$

Фактична теплова потужність підбраного калорифера [11]:

$$q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (22)$$

де  $F = 86,2$  – площа поверхні нагріву,  $\text{м}^2$ .

$$q = 56,012 \cdot 86,2 \cdot 98,5 = 475581 \text{ Вт} \approx 476 \text{ кВт}.$$

Щоб забезпечити розраховану теплову потужність для нагрівання  $87768 \text{ м}^3/\text{годину}$  коксового газу необхідно застосувати 1 калорифер КПСк2-12.

Запас теплової продуктивності прийнятих калориферів дорівнює

$$\left( \frac{476 - 291}{291} \right) \cdot 100\% = 63,6\%.$$

Аеродинамічний опір визначається за формулою [11]:

$$\Delta P_a = B \cdot v^r, \quad (23)$$

де  $B = 4,23$ ;  $r = 1,832$  – значення модуля і ступеня.

$$\Delta P_a = 4,23 \cdot 4,38^{1,832} = 63,3 \text{ Па.}$$

Стисла характеристика допоміжного обладнання стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком наведена в табл. 6.1 [3, 4, 6].

Таблиця 6.1 – Перелік допоміжного обладнання

Позначення апарата	Найменування обладнання	Призначення і коротка характеристика	Матеріал	Кількість
поз.1	Підігрівач коксового газу	Призначений для підігріву коксового газу перед сатуратором. Підігрівач представляє собою металевий модуль прямокутного перетину при виробництві якого, в якості поверхні, що віддає тепло, застосовуються металеві	Чавун	1

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4	5
		<p>порожністі трубки діаметром 16 мм з товщиною стінки 1,6 мм з торованим на їх поверхні алюмінієвими ребрами. Теплообмінник встановлюється з вертикальним розташуванням тепловіддаючих трубок, патрубки приварюються з двох сторін (зверху і знизу), колектор має тільки один хід і приварюється без розділових сегментів. Фронтальний перетин – 2,488 м<sup>2</sup>; площа поверхні нагріву – 86,2 м<sup>2</sup>; площа перетину колектора – 0,00152 м<sup>2</sup>; площа перетину патрубка – 0,00221 м<sup>2</sup>; площа живого перетину для проходу носія – 0,00944 м<sup>2</sup>; довжина елемента, що віддає тепло –</p>		

		1,658 м; число ходів по внутрішньому теплоносію – 1; число рядів – 2.		
поз.3	Напірний бак сульфатної кислоти	Призначений для підтримування постійного напору сульфатної кислоти. Вертикальний апарат, суцільнозварний з плоским днищем і знімною кришкою. Діаметр баку 2,5 м, висота 3,0 м, об'єм 15 м <sup>3</sup>	Ст.3, X18H10T	1
поз.5	Кислотний уловлювач	Призначений для відділення крапель сульфатної кислоти від газу. Представляє собою вертикальний циліндричний апарат діаметром 4 м і висотою 6 м, що внизу закінчується конусом.	Сталь Ст.3, футерована свинцем або кислото-тривким бетоном	1
поз.6	Циркуляційний бак	Призначений для прийому маточного розчину, що переливається з сатуратора та повернення його знову в сатуратор. Вертикальний циліндричний апарат з плоским днищем і знімною кришкою, діаметр 2 м, висота 2,5 м, об'єм 8 м <sup>3</sup>	Сталь Ст.3, футерована свинцем або кислото-тривким бетоном	1

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

### 7.1 Правила експлуатації сатуратора

В сатураторі повинно бути забезпечене повне поглинання амоніаку з коксового газу та одержання амоній сульфату встановленої стандартом якості.

При експлуатації сатуратора необхідно виконувати наступні встановлені правила.

1. Температуру нагрівання коксового газу в підігрівачі перед входом в сатуратор слід встановлювати з таким розрахунком, щоб не відбувалася

зневоднення маточного розчину в ванні сатуратора. Оскільки одночасно з нейтралізацією амоніаку в сатураторі здійснюється також поглинання з газу легких піридинових основ, том температура газу перед сатуратором повинна бути не вище 60-65°C. При більш високій температурі легкі піридинові основи уносяться з сатуратора газом і не поглинаються сульфатною кислотою. Для досягнення зазначеної температури газу необхідно строго регулювати кількість промивних вод, що поступають в сатуратор. При збільшеній кількості промивних вод потрібне підвищення температури газу для їх випаровування.

2. Вільну кислотність маточного розчину в ванні сатуратора слід підтримувати в межах 6-8%. Така кислотність забезпечує одночасне поглинання з газу слабкою сульфатною кислотою амоніаку та легких піридинових основ.

3. Для попередження забивання сатуратора сіллю амоній сульфату, згідно з правилами технічної експлуатації, слід на початку кожної зміни доводити кислотність маточного розчину до 12%. Крім того, необхідно періодично проводити повне розчинення солі в сатураторі, для чого

кислотність розчину підвищують до 20%. Підвищення кислотності розчину до 20% повинно проводитися за графіком, що встановлюватися головним інженером заводу або начальником цеху.

4. Кислота в сатуратор повинна вводитися рівномірно.

5. Ванну сатуратора слід постійно звільняти від кислої смолки через бак зворотних токів (циркуляційну каструлю), а від солі амоній сульфату, що осаджується, за допомогою безперервно працюючих насосів.

6. Не рідше двох разів на зміну промивати бак зворотних токів шляхом подачі в невеликої порції кислоти.



7. Накопичення піни в баку зворотних токів усувати додаванням в поглинювального мастила.

8. Труби та жолоби для спуску маточного розчину з-під центрифуг в сатуратор звільняти від осадів солі та промивати слабкою сульфатною кислотою або теплою водою не рідше одного разу на добу.

9. Щодня стежити за чистотою кислотного уловлювача та в разі необхідності промивати його слабкою кислотою або теплою водою.

10. Щозміни видаляти з баку зворотних токів кислу смолку та вивозити її за територію цеху.

11. Забороняється:

- працювати при відсутності нормального переливу розчину з сатуратора;
- за допомогою повітря подавати кислоту в бездіяльний, але заповнений газом сатуратор і перекачувати з нього розчин;
- припиняти циркуляцію розчину в працюючому сатураторі [3].

Пуск і зупинку сатуратора необхідно здійснювати в наступному порядку:

1. Перед пуском сатуратор заповнити робочим розчином до занурення барботера. Рівень рідини в сатураторі повинен бути на 100 мм нижче переливу в баку зворотних токів. Гідрозатвор в баку зворотних токів повинен бути залитий робочим розчином.

2. Включення сатуратора в газову мережу здійснювати при заповненні його паром, через 5-10 хвилин після появи пара на свічці.

3. Включення сатуратора в газову мережу здійснюється з дотриманням такої черговості операцій:

- послідовно відкрити вхід газу в сатуратор і вихід його з сатуратора;

- повільно закрити шибер, що пропускає газ поза апаратами, спостерігаючи постійно за показаннями манометру;
- в разі ненормального опору сатуратора проходу газу припинити включення для з'ясування та усунень причин підвищеного опору.

4. Перед включенням сатуратора з газової мережі маточний розчин в ванні підкислити до концентрації не нижче 12%.

5. Вимкнення сатуратора з газової мережі здійснюється з дотриманням такої черговості операцій:

- відкрити шибер «безпосередньо» для пропуску газу через сатуратора;
- послідовно закрити засувки на вході газу в сатуратор і на його виході з сатуратора [6].

## **7.2 Контроль стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком**

Дотримання умов нормальної роботи сатуратора може бути забезпечене тільки шляхом безперервного нагляду (контролю) за запропонованим технологічним режимом.

Технічний контроль за роботою сатуратора зводиться до спостереження за наступними показниками:

- вмістом амоніаку в коксовому газі до й після сатуратора;
- кислотністю маточного розчину;
- температурою коксового газу до сатуратора;
- тиском коксового газу до і після сатуратора;
- концентрацією сульфатної кислоти, що надходить в сатуратор.

Вміст амоніаку в газі до та після сатуратора визначається заводською лабораторією: в кожній зміні після сатуратора та один раз в декаду до сатуратора.

Кислотність маточного розчину апаратник цеху визначає титруванням не рідше одного разу кожні дві години та при передачі зміни. Пробу маточного розчину для титрування відбирають з кристалоприймача

Температуру коксового газу до сатуратора можна заміряти звичайним технічним термометром. Спостереження за температурою здійснюється кожні 15-20 хвилин і один раз на годину заносять в цеховий журнал.

Тиск коксового газу до і після сатуратора виміряють звичайним скляними U-подібними водяними манометра. Різниця між тиском газу до і після сатуратора показує опір, створюваний сатуратором проходу газу. Опір сатуратора не повинен перевищувати 450-500 мм. вод. ст. Показання манометрів знімають кожні 15-20 хвилин і один раз на годину заносять в цеховий журнал [4].

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

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища,

досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Відносини в галузі охорони навколишнього природного середовища в Україні регулюються Законом України 1264-ХІІ «Про охорону навколишнього природного середовища» (остання редакція від 14.07.2011 р.), а також розроблюваними відповідно до нього земельним, водним, лісовим законодавством, законодавством про надра, про охорону атмосферного повітря, про охорону і використання рослинного і тваринного світу та іншим спеціальним законодавством.

Основні принципи охорони навколишнього природного середовища згідно ст.3 закону України 1264-ХІІ «Про охорону навколишнього природного середовища»:

1. пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
2. гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;

3. екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
4. збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;
5. науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;
6. гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;
7. науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;
8. безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;
9. компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
10. вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної змінності територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;
11. поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;
12. вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва;
13. встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до Податкового кодексу України.

Відповідно до ст.7 закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» підвищення екологічної культури суспільства і професійна підготовка спеціалістів забезпечуються загальною обов'язковою комплексною освітою та вихованням в галузі охорони навколишнього природного середовища в системі загальної середньої, професійної та вищої освіти, підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів. Екологічні знання є обов'язковою кваліфікаційною вимогою для всіх посадових осіб, діяльність яких пов'язана з використанням природних ресурсів та призводить до впливу на стан навколишнього природного середовища.

Ст.9 цього закону забезпечує екологічні права громадян України:

1. безпечне для його життя та здоров'я навколишнє природне середовище;
2. участь в обговоренні та внесення пропозицій до проектів нормативно-правових актів, матеріалів щодо розміщення, будівництва і реконструкції об'єктів, які можуть негативно впливати на стан навколишнього природного середовища;
3. участь в розробці та здійсненні заходів щодо охорони навколишнього природного середовища раціонального і комплексного використання природних ресурсів;
4. здійснення загального і спеціального використання природних ресурсів;
5. вільний доступ до інформації про стан навколишнього природного середовища та вільне отримання, використання, поширення та зберігання такої інформації, за винятком обмежень, встановлених законом;
6. подання до суду позовів до державних органів, підприємств, установ, організацій і громадян про відшкодування шкоди, заподіяної їх здоров'ю та майну внаслідок негативного впливу на навколишнє природне середовище;
7. оскарження у судовому порядку рішень, дій або бездіяльності органів державної влади, органів місцевого самоврядування, їх посадових осіб щодо порушення екологічних прав громадян у порядку, передбаченому законом.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» в ст. 12 передбачає і обов'язки громадян у галузі охорони навколишнього природного середовища:

1. берегти природу, охороняти, раціонально використовувати її багатства відповідно до вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
2. здійснювати діяльність з додержанням вимог екологічної безпеки, інших екологічних нормативів та лімітів використання природних ресурсів;
3. не порушувати екологічні права і законні інтереси інших суб'єктів;
4. вносити штрафи за екологічні правопорушення;
5. компенсувати шкоду, заподіяну забрудненням та іншим негативним впливом на навколишнє природне середовище [12].

Відходом виробництва амоній сульфату з коксового газу є кисла смолка, що утворюється у кількості 40 тис. т/рік. Кисла смолка є сумішшю кам'яновугільної смоли, що виділяється з коксового газу, і продуктів полімеризації неграничних сполук, утворених при коксуванні. Вона має наступні характеристики: щільність 1,24-1,26 г/см<sup>3</sup> при 20°C, вміст води – 20-25%(мас.), вміст вільної сірчаної кислоти 5%(мас.).

Основним способом утилізації кислої смолки є повернення в технологічний цикл процесу коксування в якості присадки до шихти або одержання важкої смоли для дорожнього дьогтю марок СТУ-4 і СТУ-5. Одержуваний продукт відповідає вимогам ТУ 14-16-131-76 "Смола важка з кислої смолки уловлювання для шляхового будівництва" [6].

## **9 ОХОРОНА ПРАЦІ**

Охорона праці як система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, що створюють безпеку праці, забезпечують збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці, закріплена у Кодексі законів про працю України і в Законі України «Про охорону праці»

До законодавчої бази також належать Закони України: «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про використання ядерної енергії і радіаційну безпеку», «Про дорожній рух», «Про загальнообов'язкове соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими народженням та похованням».

Спеціальними законодавчими актами є державні нормативні акти з охорони праці (ДНАОП). Це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання [13].

Державні нормативні акти з охорони праці залежно від сфери дії поділяють на міжгалузеві та галузеві.

У законодавстві про охорону праці відображені такі правила й норми:

- правила організації охорони праці на підприємствах (в організаціях), про планування і фінансування заходів з охорони праці;
- правила з техніки безпеки і виробничої санітарії, які забезпечують індивідуальний захист працюючих від виробничих травм і професійних захворювань;
- правила і норми зі спеціальної охорони праці жінок, молоді та осіб з пониженою працездатністю;
- правила, які регулюють діяльність органів державного і громадського контролю в галузі охорони праці;
- правові норми, в яких передбачена відповідальність за порушення законодавства про охорону праці.



Законодавством покладена відповідальність на адміністрацію підприємства за забезпечення здорових і безпечних умов праці, впровадження сучасних засобів техніки безпеки. Виробничі будівлі, обладнання, технологічні процеси повинні відповідати вимогам, які забезпечують здорові та безпечні умови праці. Забороняється приймати і вводити в експлуатацію підприємства, цехи, дільниці, які не відповідають вимогам охорони праці.

Відповідно до чинного законодавства відповідальність за охорону праці в цілому по підприємству несе роботодавець.

Така сама відповідальність покладена на керівників цехів, дільниць і служб. Безпосередньо охороною праці на підприємстві керує головний інженер.

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону України «Про охорону праці» повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Згідно Ст.15. «Служба охорони праці на підприємстві» Закону України «Про охорону праці»:

- на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці.
- на підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку.
- на підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають відповідну підготовку.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю.

Керівники та спеціалісти служби охорони праці за своєю посадою і заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб.

Спеціалісти служби охорони праці у разі виявлення порушень охорони праці мають право:

- видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, одержувати від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці;
- вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли передбачених законодавством медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують вимог нормативно-правових актів з охорони праці;
- зупиняти роботу виробництва, дільниці, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;
- надсилати роботодавцю подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці.

Припис спеціаліста з охорони праці може скасувати лише роботодавець.

Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою.

На підприємстві повинна бути нормативна, розпорядча, звітна та облікова документація з питань охорони праці. Нормативна документація: закони, норми, правила, типові положення, знаки, бланки; розпорядча документація: накази, розпорядження, положення, інструкції; звітна документація: форми офіційної статистичної звітності; облікова документація відбиває всю діяльність з охорони праці на підприємстві, вона включає: журнали, переліки, графіки, протоколи, плани, схеми.

Вся документація повинна зберігатися в службі охорони праці підприємства в належному порядку, зручному для використання при необхідності або в разі контролю підприємства органами державного нагляду.

Працівники підприємств при прийомі на роботу і періодично в процесі роботи, а також вихованці, учні й студенти під час навчально-виховного процесу повинні проходити навчання та перевірку знань відповідно до вимог Типового положення. Допуск до роботи (виконання навчальних практичних завдань) без навчання і перевірки знань з питань охорони праці забороняється.

Формою перевірки знань з питань охорони праці працівників є іспит, який проводиться за екзаменаційними білетами у вигляді усного опитування або шляхом тестування на автоекзаменаторі з наступним усним опитуванням. Результати перевірки знань працівників з питань охорони праці оформляються протоколом

Особам, які при перевірці знань з питань охорони праці показали задовільні результати, видаються посвідчення [14].

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

Під час роботи на виробництві на виробничий персонал можуть впливати один або ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю та за ступенем небезпеки кожного з них окремо. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

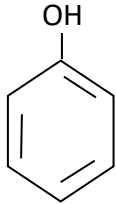
В процесі роботи на проектованому виробництві на працівника можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- застосування та виділення в процесі виробництва токсичних і вибухо- та пожежонебезпечних речовин (табл. 9.1 – 9.3);
- несприятливі метеорологічні умови з надлишковим тепловиділенням;
- недостатня освітленість робочої зони;
- шум і вібрація (вентилятори, насоси);
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- рухомі машини, автотранспорт і механізми;
- рухливі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання.

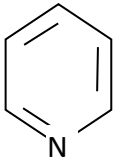
**9.1.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- та вибухонебезпечних речовин, що застосовуються та виділяються в проєктованому виробництві**

Таблиця 9.1 – Основні фізико-хімічні властивості речовин

Назва речовини		Емпірична формула	Структурна формула	Агрегатний стан	Температура плавлення, °C	Температура кипіння, °C
Раціональна номенклатура	Систематична номенклатура					
1	2	3	4	5	6	7
Амоніак (що міститься в коксовому газі)	Аміак	NH <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{N}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	Газ	-77,73	-33,34
Сульфатна кислота	Сірчана кислота	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \end{array}$	Рідина	10,38	337

			$\begin{array}{c} \text{H-O-S-O-H} \\    \\ \text{O} \end{array}$			
Гідрокси-бензол	Фенол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$		Пара	40,9	181,84

Продовження табл. 9.1

1	2	3	4	5	6	7
Піридин	Азін	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$		Пара	-41,6	115,6
Амоній сульфат	Сульфат амонію	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\left[ \text{NH}_4^+ \right]_2 \left[ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O}^- \\ \diagdown \quad / \\ \text{S} \\ / \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]$	Тверда речовина	235-280	-

Таблиця 9.2 – Показники вибухо- і пожежебезпеки

Речовина	Температура спалаху	Температура самозапалення	Межі розповсюдження полум'я концентраційні		Межі спалахування температурні, °C
			г/м <sup>3</sup>	% об.	

	°C	°C	нижня	верхня	нижня	верхня	нижня	верхня
Амоніак	–	650	112	189	15	28	17	28

Таблиця 9.3 – Характеристики застосовуваних і одержаних речовин

Речовина	Клас шкідливості	Характер дії на організм людини	Граничнодопустима концентрація				Засоби індивідуального захисту
			у повітрі, мг/м <sup>3</sup>			у воді, мг/л	
			робочої зони	населеного пункту			
				C <sub>мр</sub> *	C <sub>сд</sub> **		
1	2	3	4	5	6	7	8
Амоніак	4	При потраплянні в очі: опіки, біль, сльозотеча, кон'юнктивіт, можлива зміна роговиці, втрата зору.  При потраплянні на шкіру: сильний біль, почервоніння, при тривалому впливі – утворення пухирців.	20	–	–		Фільтручий протигаз марки «КД», «М».

Продовження табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Фенол	2	<p>При вдиханні: подразнює дихальні шляхи, викликає задуху.</p> <p>При ковтанні: викликає небезпека перфорації стравоходу та шлунку.</p> <p>При потраплянні в очі: викликає опіки, є ризик сліпоти</p> <p>При потраплянні очей: викликає сильні опіки, рани, що погано гояться</p>	0,3	0,01	0,003	0,001	<p>Захисні окуляри, захисні рукавички, спеціальний одяг і взуття.</p> <p>Фільтруючий протигаз ФГП-130, ФГП-130 БКФ</p>
Піридин	2	<p>При ковтанні: нудота, блювота.</p> <p>При вдиханні: кашель, головний біль, ускладнене дихання, задуха.</p> <p>При потраплянні на шкіру: викликає подразнення шкіри.</p> <p>При потраплянні в очі: подразнення слизуватих оболонок</p>	5	–	–	–	<p>Захисні окуляри, захисні рукавички, спеціальний одяг і взуття.</p> <p>Фільтруючий протигаз марки «А»</p>

Амоній сульфат	3	<p>При ковтанні: нудота, блювота, діарея.</p> <p>При потраплянні в очі: суттєво не подразнює.</p> <p>При вдиханні: злегка подразнює слизуваті оболонки. При потраплянні на шкіру: часті та тривалі контакти зі шкірою можуть викликати подразнення</p>	10	–	–	–	<p>Захисні окуляри, захисні рукавички, спеціальний одяг і взуття.</p> <p>Респіратор «Пелюстка-200», «Кама», У-2К.</p>
Сульфатна кислота	2	<p>При вдиханні: подразнення верхніх дихальних шляхів, ускладнене дихання, набряк легенів.</p>	1	0,3	0,1	100	<p>Костюм для захисту від кислоти з бавовняної тканини, що просочена</p>

Продовження табл. 9.3

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---



		<p>При потраплянні на шкіру: викликає важкі хімічні опіки.</p> <p>При потраплянні в очі: викликає хімічні опіки, сліпота</p>				<p>кисло відшовхуючою пропиткою Кк, шолом, фартук вініловий кислото лугостійкий, гумові чоботи К50Щ50,</p> <p>рукавички з полівінілхлориду КкЩ50, захисні окуляри з органічного скла</p>
--	--	--	--	--	--	--

## 9.2 Засоби запобігання шкідливих і небезпечних виробничих факторів

### 9.2.1 Вентиляція виробничих приміщень

З метою асиміляції тепловидлишків і для розбавлення шкідливих газів, що виділяються, до допустимих концентрацій, передбачається вентиляція в усіх виробничих приміщеннях проектного виробництва.

В приміщеннях з теплонапруженням 20 кДж/(м<sup>3</sup>·година) і вище максимально необхідний повітрообмін забезпечується за рахунок організованої природної вентиляції (аерації) через ліхтарі, шахти та дефлектори.

Загальна припливно-витяжна вентиляція приміщень передбачає не менше двох припливних і двох витяжних вентиляційних установок продуктивністю не менше 50% потрібного повітрообміну.

Аварійна вентиляція передбачається витяжною. Видалення повітря аварійною вентиляцією передбачається назовні з урахуванням відсутності поруч повітрозабірних пристроїв систем вентиляції і кондиціонування повітря. Проектом передбачається блокування аварійної вентиляції з газоаналізаторами, налаштованими на допустимі концентрації шкідливих речовин. Запуск вентиляторів і відкривання прорізів для видалення повітря аварійною вентиляцією передбачається дистанційним із доступних місць як всередині, так і ззовні приміщення.

Припливна механічна вентиляція передбачається в усіх виробничих приміщеннях. Повітря загальними припливними системами подається в робочу зону (1,5 м від рівня підлоги) з температурою 10-45°C і зі швидкістю до 5 м/с. Повітрозабірні отвори припливної вентиляції розташовуються на висоті 1,2-2,5 м від землі до низу отворів, подалі від джерел забруднення зовнішнього повітря.

В табл. 9.4 наведені основні заходи з вентиляції виробничих приміщень виробництва амоній сульфату [6].

Таблиця 9.4 – Основні заходи з вентиляції виробничих приміщень виробництва амоній сульфату

Найменування приміщення. Технологічне обладнання	Основні забруднюючі речовини	Заходи по боротьбі з викидами забруднюючих речовин
Машинне відділення	Тепло, коксовий газ	Загальнообмінна вентиляція: витяжка механічна з верхньої зони, приплив механічний в робочу зону. Аварійна вентиляція з приміщення машинного залу
Сульфатне відділення. Насоси, центрифуги, комунікації	Тепло, амоніак, феноли, піридини, сліди сульфатної кислоти	Загальнообмінна вентиляція: витяжка механічна з верхньої зони, приплив механічний в робочу зону. Аварійна вентиляція з приміщення піридинової

		установки
Приміщення сушки та фасування амоній сульфату. Приміщення складу амоній сульфату	Тепло, амоній сульфат	Природна вентиляція. Місцеве відсмоктування від фасувальної машини з передачею продукту в технологічний цикл. Механічний приплив на компенсацію місцевої витяжки

Виконаємо розрахунок вентиляції хімічної лабораторії виробництва амоній сульфату.

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

Кількість працівників – 2. Кратність повітрообміну – 5.

В лабораторії передбачається припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням.

Кількість повітря, що подається в приміщення лабораторії, визначається за формулою [16]:

$$W = K \cdot V, \quad (24)$$

де  $K$  – кратність повітрообміну, година<sup>-1</sup>;

$V$  – об'єм робочого приміщення, м<sup>3</sup>.

$$W = 5 \cdot 168 = 840 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Для видалення шкідливих виділень хімічні лабораторії обладнуються витяжними шафами. Кількість витяжних шаф (робочих місць) встановлюється залежно від штатного розкладу робітників лабораторії (з розрахунку на одного працівника одна шафа).

Кількість повітря, що видаляється від кожної витяжної шафи визначається за формулою [16]:

$$W_{\text{ш}} = F_{\text{ш}} \cdot u_{\text{ш}} \cdot 3600, \quad (25)$$

де  $F_{ш} = 0,7$  – площа робочого отвору витяжної шафи,  $m^2$ ;  
 $v_{ш} = 0,5$  – швидкість руху повітря, що видаляється через отвір витяжної шафи,  $m/s$ .

$$W_{ш} = 0,7 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 1260 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

Продуктивність вентилятора для витяжної шафи визначається за формулою [16]:

$$L = W_{ш} \cdot k, \quad (26)$$

де  $k = 1,15$  – коефіцієнт підсмоктування повітря через нещільності витяжної шафи.

$$L = 1260 \cdot 1,15 = 1449 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

За розрахованими об'ємами повітря вибирається тип стандартного промислового вентилятору.

Вибирається вентилятор типа В-06-300, що має наступні технічні характеристики:

Продуктивність	2500 $m^3$ /годину
Номер вентилятора	4
Напір	7 мм. вод. ст.
Частота обертання	2500 об/хв.
Тип електродвигуна	4AA56 A4

Потужність	0,12 кВт
Частота обертання	1375 об/хв.

### 9.2.2 Метеорологічні умови

Метеорологічні умови – це оптимальні та допустимі температура, відносна вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень, які встановлюються для робочої зони виробничих приміщень в залежності від категорії роботи за важкістю. Згідно СН 245-71 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» роботи, що виконуються на проектованому виробництві, відносяться до легких робіт (категорія Іб – роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою, і супроводжуються деяким фізичним напруженням).

Зазначені параметри передбачається забезпечувати за рахунок вентиляції, опалення, теплоізоляції обладнання. В центральному пульті управління передбачається установка кондиціонерів.

Таблиця 9.5 – Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень при виконанні робіт категорії Іб

Період року	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	оптимальна	допустима		оптимальна		допустима на робочих місцях
		верхня межа	нижня межа			

		на робочих місяцях						
		постійних	непос- тійних	постійних	непос- тійних			
Холодний і перехідний	21-23	24	25	20	17	40-60	75	Не більше 0,3
Теплий	22-24	28	30	21	19	40-60	60 (при 27 °С)	0,3-0,5

Контроль показників мікроклімату проводитиметься на початку, всередині і наприкінці холодного і теплого періоду року не менше 3 разів у зміну [14].

Виконаємо розрахунок опалювання хімічної лабораторії виробництва амоній сульфату.

Опалювання приміщення лабораторії здійснюється від пункту тепlopостачання. В якості опалювальних пристроїв використовуються радіатори.

Розрахункова витрата тепла на опалювання приміщення лабораторії визначається за формулою [16]:

$$Q = q \cdot F \cdot (1 + K), \quad (27)$$

де  $q = 152$  – укрупнений показник максимальної витрати теплоти на опалювання 1 м<sup>2</sup> площі приміщення, Вт/м<sup>2</sup>;

$F = 42$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$K = 0,34$  – коефіцієнт, який враховує витрату теплоти на опалювання.

Отже витрата теплоти на опалювання:

$$Q_0 = 152 \cdot 42 \cdot (1 + 0,34) \approx 8555 \text{ Вт}.$$

Площа поверхні опалювальних приладів визначається за формулою [16]:

$$H = \frac{Q}{506}, \quad (28)$$

$$\dot{I} = \frac{8555}{506} = 16,9 \text{ Å}^{\circ}\text{C} \quad \text{або} \quad 16,9 \cdot 0,82 = 13,9 \text{ м}^2.$$

Екм – еквівалентний квадратний метр – площа поверхні нагріву приладу, що віддає 506 Вт теплоти при різниці середньої температури теплоносія і температури повітря в приміщенні, що дорівнює 64,5°C.  $1 \text{ Екм} = 0,82 \text{ м}^2$ .

Вибирається радіатор типа М-140 АО, у якого площа поверхні нагріву однієї секції 0,299 м<sup>2</sup>, об'єм 4,1 м<sup>3</sup>, кількість секцій – 47 шт.

### 9.2.3 Освітлення виробничих приміщень

Фактором, що визначає сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони і робочих місць. Коли правильно розраховано та підбрано освітлення виробничих приміщень, очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці. Такі умови освітлення сприяють зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

Погане освітлення виробничої зони може призвести до погіршення якості виконуваних робіт, погане освітлення виробничих територій може стати причиною багатьох важких і смертельних випадків, таких, як наїзд самохідних засобів механізації, що рухаються.

Природне освітлення має велике гігієнічне значення, що виявляється в значній тонізуючій дії на організм людини внаслідок того, що організм людини мільйони років пристосовувався до такого освітлення. Тривала відсутність природного світла гнітюче діє на психіку людини. Санітарні норми

передбачають обов'язкове безпосереднє природне освітлення виробничих, адміністративних, підсобних і побутових приміщень.

Погане освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При недостатньому освітленні очі працюючого напружені, при цьому складно відрізнити оброблювані предмети, знижується темп роботи, погіршується загальний стан організму людини.

Освітлення робочої зони та робочих місць може бути природним і штучним [17].

Виконаємо розрахунок природного та штучного освітлення хімічної лабораторії виробництва амоній сульфату. Приміщення лабораторії за зоровими умовами робіт відноситься до III (точні роботи) розряду в підрозряді.

Розрахунок природного освітлення зводиться до визначення кількості віконних отворів.

Сумарна площа віконних отворів приблизно розраховується, як добуток площі приміщення на світловий коефіцієнт приміщення та визначається за формулою [16]:

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

де  $S_{\text{вік}}$  – загальна площа віконних отворів, м<sup>2</sup>;

$S_{\text{п}}$  – площа виробничого приміщення, м<sup>2</sup>;

$1/6 \div 1/5$  – світловий коефіцієнт для приміщень хімічних виробництв.

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

Приймається бічне одnobічне освітлення через два віконні отвори розміром 1,76 × 2,37 м.



Для штучного освітлення приміщення лабораторії вибирається світильник типу ОД – відкритий люмінесцентний з лампами денного світла (ЛД).

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

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

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

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

Максимально припустима відстань між рядами світильників визначається з виразу формулою [16]:

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

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

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

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

$$h = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м.}$$

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

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

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

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

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

- де  $E = 400$  – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк;  
 $S = 42$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  
 $F = 3260$  – світловий потік однієї люмінесцентної лампи потужністю 80 Вт, лм;  
 $K = 1,5$  – коефіцієнт запасу для люмінесцентних ламп у приміщеннях з малим виділенням забруднень;  
 $Z = 1$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від конструкції світильника, тип світильника люмінесцентний;

$U = 1$  – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який залежить від конструкції світильника, коефіцієнта відбиття стелі і стін, а також показника приміщення  $i$ .

Кількість світильників складає:

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

Кожен світильник типу ОД комплектується двома лампами. Тобто необхідно використовувати 4 світильники з 8 працюючими лампами в них. Схема розташування світильників зображена на рис. 4.1.

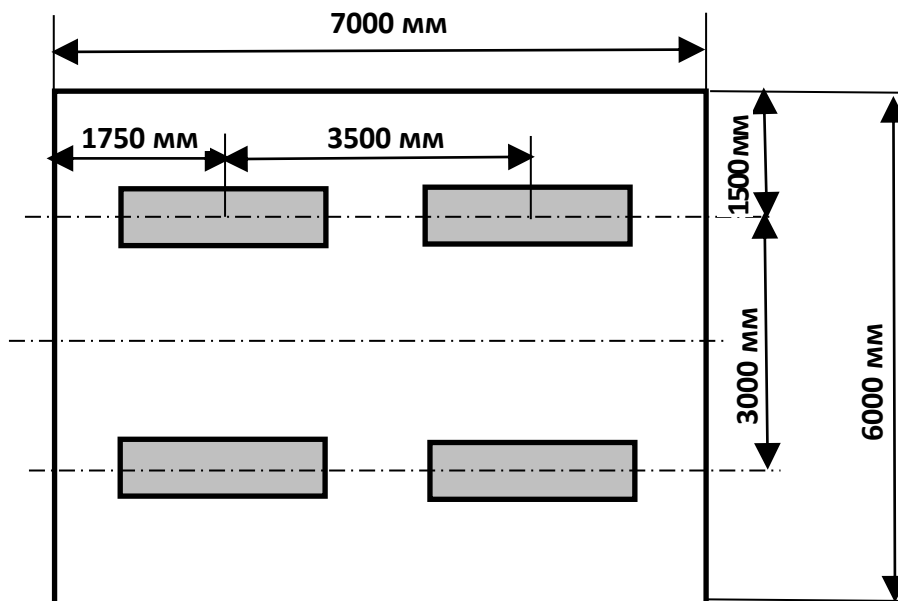


Рисунок 9.1 – Схема розміщення світильників

Загальна потужність електроосвітлювальної установки визнається за формулою [16]:

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

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

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

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

#### 9.2.4 Заходи боротьби з шумом та вібрацією

Вібраційна безпека забезпечується дотриманням вимог ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», затвердженого постановою Державного комітету СРСР з управління якістю продукції та стандартів від 13.07.1990 № 2190.

Заходи та засоби захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні, причому останні застосовуються лише тоді, коли заходами та засобами колективного захисту не вдається знизити рівні шуму на робочих місцях до допустимих значень. Призначення засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від шуму - перекрити найбільш чутливі канали проникнення звуку в

організм - вуха. Тим самим різко послаблюються рівні звуків, що діють на барабанну перетинку, а відтак - і коливання чутливих елементів внутрішнього вуха. Такі засоби дозволяють одночасно попередити розлад і всієї нервової системи від дії інтенсивного подразника, яким є шум.

До засобів індивідуального захисту від шуму належать навушники, протишумові вкладки, шумозаглушувальні шоломи. Вибір ЗІЗ обумовлюється видом та характеристикою шуму на робочому місці, зручністю використання засобу при виконанні даної робочої операції та конкретними кліматичними умовами.

Зменшення шуму в самому джерелі – найбільш радикальний засіб боротьби з шумом, що створюється устаткуванням. Досвід показує, що ефективність заходів щодо зниження шуму устаткування, що вже працює, досить невисока, тому необхідно прагнути до максимального зниження шуму в джерелі ще на стадії проектування устаткування.

Організаційно-технічні засоби захисту від шуму передбачають: застосування малошумних технологічних процесів та устаткування, оснащення шумного устаткування засобами дистанційного керування, дотримання правил технічної експлуатації, проведення планово-попереджувальних оглядів та ремонтів.

Засоби захисту від вібрацій у джерелах вібрацій ґрунтуються на урівноважуванні діючих сил і моментів у машинах і механізмах, балансуванні обертових деталей, застосуванні матеріалів з підвищеним внутрішнім тертям, поліпшенні технології виготовлення і т.ін. Зниження рівня вібрації на шляху її поширення досягається застосуванням віброізолюючих конструкцій і вібродемпфуючих матеріалів і покриттів, а також віброгасників. Для забезпечення віброізоляції влаштовують розриви між елементами конструкцій або усувають тверді зв'язки між ними, а також уникають подібності частот власних коливань системи і частот сил, що її збуджують. Підвіска двигунів

літаків на пружних амортизаторах забезпечує зниження вібрації і шуму в кабінах у всіх смугах звукового спектру від 5 до 8 дБ.

Для вібропоглинання на вібруючі елементи машини наносять в'язкі або пружні матеріали, яким притаманні значні внутрішні втрати. До таких матеріалів відносяться антивібрит, агат, сендвічні конструкції, СКЛ-25 та інш. Зниження вібрації таким чином досягає 2-10 дБ в смузі частот 31,5-8000 Гц. Засобами індивідуального захисту від вібрації є: черевики, рукавиці, виготовлені із віброзахисних матеріалів цілком або в місцях з'єднання з вібруючою поверхнею [13].

### **9.2.5 Заходи електробезпеки**

Електробезпека – система організаційних заходів та засобів, що направлена на захист людей від шкідливої та небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля, та статичної електрики.

Під причинами електротравм слід розуміти:

- порушення вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій з електробезпеки;
- не виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та інструкцій;
- порушення технології виконання робіт.

Основними заходами захисту від ураження електрострумом є:

- застосування робочої, подвійної або підсиленої ізоляції;

- дотримання відповідної відстані до струмоведучих частин чи шляхом закриття, огороження струмоведучих частин;
- застосування блокуючих пристроїв та огорожувальних пристроїв для запобігання помилкових операцій та доступу до струмоведучих частин;
- надійного та швидкодіючого автоматичного відключення частин електрообладнання, що потрапило під напругу і пошкоджених ділянок електромережі, в тому числі захисного відключення;
- захисне заземлення та занулення корпусів електрообладнання та елементів електроустановки, що можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції;
- вирівнювання потенціалів;
- застосування роздільних трансформаторів;
- застосування напруги 42В і нижче змінного струму частотою 50 Гц та 110В і нижче постійного струму;
- застосування попереджувальної сигналізації, написів та плакатів;
- застосування обладнання, яке понижує напругу електричних полів;
- застосування засобів захисту та пристроїв, в тому числі для захисту від дії електричного поля в електроустановках, в яких його напруженість перевищує допустимі норми [18].

Виконаємо розрахунок захисного заземлюючого контуру приміщення хімічної лабораторії.

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

Загальний опір захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою [16]:

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

- де  $R_3$  – опір заземлювача, в якості якого використовується металевий стрижень, Ом;
- $R_{см}$  – опір металевій смуги, що з'єднує заземлювачі, Ом;
- $n$  – кількість заземлювачів;
- $\eta_3 = 0,4$  – коефіцієнт екранування заземлювача;
- $\eta_{см} = 0,6$  – коефіцієнт екранування з'єднуючої смуги

Опір заземлювача визначається за формулою [16]:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi \cdot \ell} \left( \ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + \ell}{4 \cdot t - \ell} \right), \quad (37)$$

- де  $\rho = 110$  – питомий електричний опір суглинку, Ом·м;
- $\ell = 5$  – довжина заземлювача, м;
- $d = 0,016$  – діаметр заземлювача, м;
- $t = 3,3$  – відстань від середини розташованого в ґрунті заземлювача до рівня землі, м.

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

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

- де  $L = 26$  – довжина смуги, що з'єднує заземлювачі, м;
- $b = 0,03$  – ширина смуги, м;
- $t' = 0,5$  – відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні



землі, м.

Кількість заземлювачів захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою [16]:

$$n = \frac{\Psi \cdot R_{\zeta}}{4 \cdot \eta_{\zeta}}, \quad (39)$$

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

$R_{\zeta}$  – опір заземлювача, Ом;

4 – припустимий загальний опір, Ом;

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

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

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

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

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

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

### **9.2.6 Засоби запобіжної техніки, сигнальні кольори і знаки безпеки**

Необхідність захисних огорожень для більшості машин і апаратів пов'язана з виникненням, так званих небезпечних зон. Небезпечними зонами є рухомі, обертові частини й деталі машин та апаратів. Захисні огороження виконуються в вигляді глухих кожухів, футлярів, перфорованих листів, запобіжних металевих сіток, поручнів і ін. Глухі кожухи з металу або міцних неметалічних матеріалів (пластмас) установлюються для огороження обертових деталей, за якими не потрібне постійне спостереження під час роботи механізму, наприклад, на муфтах зчеплення відцентрових насосів. При необхідності постійного спостереження за механізмами або для забезпечення притоку повітря до них встановлюють сітчасті огороження з площею отворів не більше  $1 \text{ см}^2$ . Захисні огороження повинні бути міцними, довговічними, стійкими до корозії і механічних перевантажень. Зовнішню поверхню огорожень фарбують під колір обладнання, а внутрішню – червоною фарбою, щоб зняте з машини огороження було відразу помітно. Знімають захисні огороження після повної зупинки рухомих механізмів, а запускають у роботу відповідно після установки на місце всіх необхідних огорожень.

Для найбільшої безпеки працівників обертові та рухомі частини машин та механізмів застосовують захисне блокування, що спрацьовує при знятті огорожень або потраплянні людини в небезпечну зону.

В якості захисних огорожень персоналу від бризів агресивних рідин, використовуються захисні екрани з металу, скла і пластмас. Захисні екрани

виконують у вигляді стаціонарних і переносних щитів, ширм, козирків. Потребують огороження також апарати з високою температурою робочої поверхні, на якій за умовами виробництва відсутня термоізоляція.

Для привертання уваги працівників передбачене фарбування трубопроводів і обладнання в певні кольори: огороження та паропроводи – в червоний; горючі гази – в жовтий; трубопроводи кислоти – в оранжевий; повітроводи – в синій; водопроводи – в зелений [17].

### **9.3 Заходи пожежної безпеки на виробництві**

Для підтримування пожежної безпеки на виробництві повинен здійснюватися комплекс обов'язкових організаційних заходів, перелічених у “Правилах пожежної безпеки в Україні”.

До всіх будівель і споруд слід забезпечити вільний доступ. Протипожежні розриви між будівлями, спорудами, відкритими майданчиками для зберігання матеріалів, устаткування тощо мають відповідати вимогам будівельних норм, їх не дозволяється захарашувати, використовувати для складування матеріалів, улаштування стоянок транспорту. Все сміття та відходи необхідно регулярно видаляти (вивозити) у спеціально відведені місця. Проїзди та проходи до будівель, споруд, пожежних вододжерел, підступи до зовнішніх стаціонарних пожежних драбин, пожежного інвентарю, устаткування та засобів пожежогасіння мають бути завжди вільними, утримуватися справними й перебувати в задовільному стані будь-якої пори року.

Забороняється зменшувати нормативну ширину проїздів.

Забороняється стоянка транспорту в наскрізних проїздах будівель на відстані менше 10 м від в'їзних воріт на територію, менше 5 м від пожежних гідрантів, забірних пристроїв водо джерел, пожежного устаткування та

інвентарю, на поворотних майданчиках тупикових проїздів, у зазначених місцях повинні бути встановлені (вивішені) відповідні знаки заборони.

На території на видних місцях мають бути розміщені таблички із зазначенням на них номеру виклику пожежної охорони, знаки із зазначенням місць установаження первинних засобів пожежогасіння.

Для всіх будівель, споруд, зовнішніх установок тощо та приміщень виробничого, складського призначення й лабораторій необхідно визначати категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно з НАПБ Б.03.002-2007 і класи зон за НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ПБЕ). На вхідних дверях у зазначених приміщеннях слід розміщати таблички із зазначенням категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою та класу зони.

Протипожежні системи, установки, устаткування приміщень, будівель та споруд (протидимний захист, пожежна автоматика, протипожежне водопостачання, протипожежні двері, клапани, інші захисні пристрої у протипожежних стінах і перекриттях тощо) повинні постійно утримуватися у справному робочому стані.

Будівлі й приміщення повинні оснащуватись установками пожежної сигналізації (УПС) та автоматичними установками пожежогасіння (АУП) відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Апаратура й устаткування, що входять до складу установок, повинні відповідати чинним стандартам, технічним умовам, документації заводів-виробників, мати сертифікат відповідності й бути без дефектів. Всі установки мають бути справними і утримуватися в постійній готовності для виконання завдань, що стоять перед ними.

Вогнегасники слід розміщувати у легкодоступних і помітних місцях, а також поблизу місць, де найімовірніша поява вогнищ пожежі, при цьому забезпечити їх захист від дії сонячних променів, опалювальних і нагрівальних приладів, а також хімічно агресивних речовин (середовищ), які можуть негативно вплинути на їх працездатність.

Вогнегасники в місцях розміщення не повинні створювати перешкоди під час евакуації людей.

Переносні вогнегасники слід розміщувати шляхом навішування за допомогою кронштейнів на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього торця вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення, або встановлювати у пожежні шафи поруч з пожежними кранами, на пожежні щити чи стенди, підставки чи спеціальні тумби.

Вогнегасники повинні розміщуватися з урахуванням зручності їх обслуговування, огляду, а також досягнення найкращої видимості з різних точок захищеного простору. Підходи до місця розташування вогнегасників мають бути завжди вільними. Періодичний огляд вогнегасників має здійснюватися особою, відповідальною за пожежну безпеку не рідше одного разу на місяць.

У разі виявлення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний:

- негайно повідомити про це пожежну охорону (номер телефону для виклику 101. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- вжити (по можливості) заходів до евакуації людей та збереження матеріальних цінностей, гасіння пожежі з використанням вогнегасників та інших засобів пожежогасіння;
- повідомити про пожежу керівника підрозділу (дільниці);
- викликати (за необхідності) інші аварійно-рятувальні служби (медичну, газорятувальну тощо).

Посадова особа об'єкта, що прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити чи викликана пожежна охорона (продублювати повідомлення);
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію);
- видалити за межі небезпечної зони всіх працівників, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;

- припинити роботи в будівлі (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами щодо ліквідації пожежі;
- здійснити в разі необхідності відключення електроенергії (за винятком систем протипожежного захисту), зупинення транспортуючих пристроїв, агрегатів, апаратів, перекриття сировинних, газових, парових та водяних комунікацій, зупинення систем вентиляції в аварійному та суміжних з ним приміщеннях (за винятком пристроїв протидимного захисту) та вжити інших заходів, що сприяють запобіганню розвитку пожежі та задимленню будівлі;
- перевірити включення оповіщення людей про пожежу, установок пожежогасіння, протидимного захисту;
- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони, забезпечити безперешкодний доступ їх до місця виникнення пожежі та надати їм допомогу під час локалізації та ліквідації пожежі;
- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію та захист матеріальних цінностей;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, що беруть участь у гасінні пожежі [19]

## **ВИСНОВКИ**

В дипломному проекті розроблена стадія нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком в виробництві амоній сульфату потужністю 200 тис. т/рік.

На підставі огляду технічної літератури був обраний спосіб – одержання амоній сульфату з коксового газу сатураторним способом.

На підставі прийнятого способу виробництва були розглянуті фізико-хімічні основи технологічного процесу одержання амоній сульфату з коксового газу, вибрана технологічна схема, виконані розрахунки матеріального та теплового балансу стадії нейтралізації сульфатної кислоти амоніаком, вибране допоміжне технологічне обладнання. В пояснювальній записці наводяться результати конструктивного та механічного розрахунків сатуратора, а також правила його експлуатації.

Вживані заходи з охорони навколишнього середовища дозволяють звести до мінімуму шкідливий вплив викидів виробництва амоній сульфату.

Розділ «Охорона праці» містить детальну інформацію про шкідливі виробничі фактори на проєктованому виробництві та заходи запобігання цим факторам, а також виконані розрахунки вентиляції, опалювання, освітлення та заземлення приміщення хімічної лабораторії виробництва амоній сульфату.