

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

**Інститут** Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
**Кафедра** теплоенергетики та холодильної техніки

**«До захисту в ЕК»**

Директор інституту

Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«  » лютого 2023 р.

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

Валентин ПЕТРЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«  » лютого 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Теплоенергетика та енергоефективні технології

на тему: Установка напівсухого сіркоочищення вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗТЕ-2-7М

Гордєєв Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Вольчин І.А.

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Гордєєв О.М.

(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2023 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад.І.С. Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні  
технології

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

проф. Валентин ПЕТРЕНКО

“11” листопада 2022 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гордєєва Олександра Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема Установка напівсухого сіркоочищення вугільного котла

ТЕЦ цукрового заводу

керівник роботи Вольчин Ігор Альбінович, д.т.н., ст. наук. співр.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “11”11.2022 року № 810-кє

2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2023 року

3. Вихідні дані до роботи. матеріали переддипломної практики.

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

Розділ 1. Технології очищення від сірчистого ангідриду.

Розділ 2. Дослідження поглинання діоксиду сірки амонійними сорбентами на  
вугільному котлі ТЕЦ цукрового заводу.

Розділ 3. Заходи щодо виконання Національного плану скорочення викидів, як  
шлях до високоефективної низькоемісійної енергетики.

Розділ 4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу

презентація Power Point – 11 слайдів

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	11.11-13.11.2022	виконав
2	Аналіз літературних джерел	14.11-24.11.2022	виконав
3	Виконання розділу №1 КР	25.11-09.12.2022	виконав
4	Виконання розділу №2 КР	10.12-29.12.2022	виконав
5	Виконання розділу №3 КР	01.01-12.01.2023	виконав
6	Виконання розділу №4 КР	13.01-20.01.2023	виконав
7	Оформлення ПЗ, підготовка презентації	21.01-04.02.2023	виконав

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Олександр ГОРДЕЄВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Ігор ВОЛЬЧИН**

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

# Зміст

Стор.

Анотація .....4

Вступ.....5

## **РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВІД СІРЧАСТОГО**

**АНГІДРИДУ** .....6

1.1 Шкідливість викиду сірчастого ангідриду в навколишнє середовище та вплив на людину.....6

1.2 Чинне законодавство в сфері обмеження викидів сірчастого ангідриду .....8

1.3 Методи сучасного сіркоочищення на ТЕС в Україні .....9

1.4 Використання технології напівсухої амоніаковоїдесульфуризації димових газів на вугільних електростанціях.....12

## **РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОГЛИНАННЯ ДІОКСИДУ СІРКИ**

### **АМОНІЙНИМИ СОРБЕТАМИ НА ВУГІЛЬНОМУ КОТЛІ ТЕЦ**

**ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ**.....22

2.1 Схема котла, підбір типу палива та прості розрахунки об'єму газу ...22

2.1.1 Обчислювання шкідливих викидів та парникових газів в атмосферу при використанні різних видів вугілля .....25

2.1.2 Обчислювання реактора, концентрації діоксиду сірки, втрат димових газів та амоніаку, порошок сульфату амонію, як вторинний продукт в результаті очистки газів та економічна складова .....25

2.2 Поглинання діоксиду сірки амоніаком у газовій фазі .....32

2.2.1 Алгоритм проведення експерименту .....32

2.2.2 Схема та опис експериментальної установки .....33

2.2.3 Основні параметри експериментів та система вимірювань.....34

2.3 Проведення дослідів комплексної реакції між діоксидом сірки та амоніаком на прикладі установки напівсухого газоочищення .....35

2.3.1 Алгоритм проведення експерименту .....	35
2.3.2 Основні параметри експериментів та система вимірювань .....	36
2.4 Похибки при проведенні досліджень.....	38

**РОЗДІЛ 3. ЗАХОДИ ЩОДО ВИКОНАННЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ПЛАНУ  
СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ, ЯК ШЛЯХ ДО ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ  
НИЗЬКОЕМІСІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ .....**

3.1. Національний план скорочення викидів.....	40
3.2. Мета розробки Національного плану скорочення викидів.....	40
3.3. Дотримання фактичних показників шкідливих викидів в порівнянні з вимогами Директиви 2010/75/EU для працюючих вугільних агрегатів ТЕС України.....	41
3.4. Строк дії Національного плану скорочення викидів.....	41
3.5. Загальні дані .....	43
3.6. Установки, які включаються та не включаються до Національного плану скорочення викидів.....	44
3.7. Зміни до Національного плану скорочення викидів .....	45

**РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....**

## Анотація

Дипломну роботу присвячено установці напівсухого сіркоочищення вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу та удосконаленню процесів очищення відхідних газів від діоксиду сірки (сірчастого ангідриду) з використанням напівсухого методу десульфуризації відхідних газів.

У вступі обґрунтовується переваги установки, мета і задачі дослідів.

У першому розділі розкрито вплив викидів діоксиду сірки на людину та навколишнє середовище. Висвітлене чинне законодавство в частині вимог до обмеження викидів діоксиду сірки, де наведені сучасні норми викидів діоксиду сірки для всіх видів теплосилових установок, також критичні значення викидів діоксиду сірки для нових спалювальних агрегатів згідно вимоги Директиви 2010/75/EU та Директиви 2015/2193/EU. Наведені варіанти зниження викидів у атмосферу, в результаті горіння палива сполук сірки. Розкриті переваги очищення відхідних (димових) газів від сполук сірки або метод десульфуризації димових газів (далі – ДДГ), що є одним з найефективніших заходів для зниження викидів сполук сірки. Розглянуті переваги сухої та напівсухої технології ДДГ та хімічні процеси, що утворюються у кожній з наведених технологій.

Наведені приклади очищення димових газів від діоксиду сірки використання напівсухих технологій у практиці за межами нашої держави. Розглянуто реалізацію напівсухої технології ДДГ.

Розглянуто використання технології напівсухої амоніакової ДДГ на вугільних електростанціях.

Також висвітлені не вирішені питання, що доводять необхідність у розробленні та удосконаленні процесів очищення відхідних газів від діоксиду сірки з використанням напівсухого методу десульфуризації димових газів.

У другому розділі наведено дослідження поглинання ДС амонійними сорбентами на вугільному котлі ТЕЦ цукрового заводу, а саме:

- установка газофазного реагування, наведені дослідження взаємодії діоксиду сірки з амоніаком у газовій фазі в присутності водяної пари;
- установка комплексного поглинання, де були досліджені поглинання діоксиду сірки розчином амоніаку з врахуванням поглинання діоксиду сірки у краплях та газовій фазі;

Для кожної дослідженої установки надано системи вимірюваних величин та обробка експериментальних даних. В завершенні розділу наведені ймовірні похибки експериментів.

У третьому розділі висвітлені результати виконання Національного плану скорочення викидів як шлях до високоефективної низькоемісійної енергетики. Причини, мета та зміни Національного плану скорочення викидів.

**Ключові слова:** димові гази, діоксид сірки, напівсуха десульфуризація, амоніак, викиди, Національний план скорочення викидів.

## Вступ

Проблема збереження навколишнього середовища при спалюванні різних видів палива стає все більше актуальною та пріоритетною. Основною забруднюючою речовиною повітря є діоксид сірки  $SO_2$  який є продуктом окислення сірки, що міститься у паливі. На теперішній час середній вміст сірки в вугіллі українських родовищ становить 1,7%, в деяких випадках до 3,1%. Тенденція щодо збільшення частки вугілля в паливному балансі конденсаційних теплоелектростанцій нашої держави, а також інших галузях промисловості, в яких процес виробництва пов'язаний з термічною обробкою сіркомістких сполук, призводить до утворення великої кількості відхідних шкідливих газів, що містять діоксид сірки. Мінімальна установка сіркоочищення у більшості українських підприємств, де у технологічному процесі утворюються відхідні гази, що містять сірчистий ангідрид призводить до значних викидів його в навколишнє природне середовище.

Євроінтеграційний напрямок розвитку нашої держави ставить задачі відповідності екологічним нормам Європейського енергетичного співтовариства, а саме стандартам Директиви 2010/75 та Директиви 2015/2193/EU, у яких визначені критично допустимі викиди діоксиду сірки при спалюванні різних видів палива.

**Актуальність теми** в умовах глобального потепління розкриває необхідність зменшення викидів діоксиду сірки запровадженням методів ефективних, меншзатратних та компактних технологій десульфуризації, які працюватимуть з дотриманням вимог чинного українського та європейського екологічного законодавства, в наслідок чого буде утворюватися вторинний продукт на прикладі установка напівсухого сіркоочищення вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу.

**Мета роботи** розробити та удосконалити методи очищення відхідних шкідливих газів від діоксиду сірки з використанням напівсухого методу десульфуризації відхідних газів на прикладі установка напівсухого сіркоочищення вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу.

**Зміст дипломної роботи.** Робота викладена на 65 сторінках, складається зі вступу, анотації, чотирьох розділів, висновку по розділах, переліку використаних джерел та охорони праці. Текст даної роботи становить 60 сторінок, в тому числі 10 рисунків, 4 таблиці. Список використаних джерел містить 46 видань.

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВІД СІРЧАСТОГО АНГІДРИДУ

### 1.1. Шкідливість викиду сірчастого ангідриду в навколишнє середовище та вплив на людину.

Сірка потрапляє в атмосферу в наслідок різних природних процесів, у тому числі випарів бризок морської води, розвівання сірковмісних ґрунтів в аридних районах, емісії газів при виверженнях вулканів і виділення біогенного сірководню ( $H_2S$ ).

Найбільш широко поширена сполука – діоксид сірки або сірчистий ангідрид  $SO_2$  – безбарвний газ, що утворюється при згорянні сірковмісних видів палива (в першу чергу вугілля і важких фракцій нафти), а також при різних виробничих явищах, наприклад плавці сульфідних руд.

Сірчистий газ особливо шкідливий для дерев, він призводить до хлорозу (пожовтінню або знебарвленню листя) і карликовості. У людини цей газ подразнює верхні дихальні шляхи, оскільки легко розчиняється в слизу гортані і трахеї. Постійна дія сірчистого газу може викликати захворювання дихальної системи, що нагадує бронхіт. Сам по собі цей газ не завдає істотного збитку здоров'ю населення, але в атмосфері реагує з водяною парою і киснем з утворенням вторинного забрудника – сірчаної кислоти  $H_2SO_4$ .

Краплі кислоти переносяться на значні відстані і, потрапляючи в легені, сильно їх руйнують. Найбільш небезпечна форма забруднення повітря спостерігається при реакції сірчистого ангідриду із суспендованими частинками, що супроводжується утворенням солей сірчаної кислоти, які при диханні проникають в легені і там осідають. Діоксид сірки має гострий запах. Токсична дія може виявлятися вже в малих концентраціях ( $20\text{--}30\text{ мг/м}^3$ ) і створює неприємний смак у роті, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Знижує опірність до респіраторних захворювань. При впливі на організм подразнює верхні дихальні шляхи, викликаючи запалення слизових оболонок носоглотки, бронхів. Високі концентрації оксиду сірки в повітрі викликають у людини задишку, можуть призвести до втрати свідомості. При наданні першої медичної допомоги, постраждалого слід винести на свіже повітря, інгаляція киснем, промивання очей і носоглотки 2 відсотка розчином питної соди. Для захисту від парів оксиду сірки використовуються промислові протигази марки "У". Дегазують (зnezаражують) його лугами, аміаком, гашеним вапном.

Поява сірчастого ангідриду в атмосфері пов'язана, головним чином, із процесами опалення і промисловим виробництвом. Частина сполук сірки виділяється при горінні органічних залишків у гірничорудних відвалах.

Тому міста з розвинутою промисловістю найбільше піддаються такому забрудненню. Атоми кисню, що входять до складу молекул цього газу, мають високу реактивну здатність. Вони надають їм властивість легко вступати в хімічні реакції з молекулами, що утворюють структури клітин шкіри, і призводять, таким чином, до серйозних порушень у біохімічній рівновазі шкірного покриву. Двоокис сірки є причиною кислотних дощів.

Важливою екологічною проблемою стало випадання кислотних дощів. Щорічно при спалюванні палива в атмосферу надходить до 15 млн. т двоокису сірки, який, сполучаючись з водою, утворює слабкий розчин сірчаної кислоти, що разом з дощем

випадає на землю. Кислотні дощі негативно впливають на людей, врожай, споруди і т. ін.

Ці дощі мають шкідливу дію на фактори навколишнього середовища: врожайність багатьох сільськогосподарських культур знижується на 3-8% внаслідок ушкодження листя кислотами; кислі опади спричиняють вимивання з ґрунтів кальцію, калію та магнію, що веде до деградації флори і фауни; деградують і гинуть ліси; отруюється вода озер і ставків, у яких гине риба і численні види комах; зникнення комах у водоймах призводить до зменшення популяції птахів і тварин, які ними живляться; зникнення лісів у гірських районах зумовлює збільшення кількості гірських зсувів і селей; різко прискорюється руйнування пам'яток архітектури, житлових будинків; вдихання людьми повітря, забрудненого кислотним туманом, спричиняє захворювання дихальних шляхів, подразнення очей тощо.

## **1.2. Чинне законодавство в сфері обмеження викидів сірчастого ангідриду**

Починаючи з 01.02.2011 р. наша держава є членом Енергетичного співтовариства та зобов'язалася виконувати умови Договору про створення Енергетичного співтовариства. Згідно Додатку II до Договору всі великі спалювальні установки повинні після 31 грудня 2017 року дотримуватись вимогам Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів забруднюючих речовин в повітря від великих спалювальних агрегатів. Подібні вимоги були в наказі Міністерства природи України від 22.10.2008 № 541 «Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт». У цьому законодавчому акті визначені граничні концентрації діоксиду сірки для існуючих та модернізованих теплосилових установок.

Поточна ситуація на енерговиробляючих установках, кількість яких перевищує 200 МВт, великий обсяг робіт та фінансові ресурси операторів завадили Україні виконати вимоги Директиви 2001/80/ЄС у відведений час. Відповідні енергоустановки мали бути закриті через недотримання вимог чинного законодавства. Щоб значно скоротило потужності, зменшення видобутку електроенергії та загрози енергетичній безпеці України.

Україна не встигла імплементувати та виконати умови Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин у повітря, на зміну цій директиві ухвалили Директиву 2010/75/ЄС та Директиви 2015/2193/EU про промислові викиди. Це пов'язано з багатьма чинниками і, зокрема, з фінансовою складовою.

В країнах Європейського Союзу вимоги Директиви 2010/75/ЄС набули чинності для нового спалювального обладнання з 1 січня 2016 р. В Україні у 2018 році наказом № 62 були внесені зміни до нормативів викиду забруднюючих речовин від великого спалювального обладнання. Згідно цього наказу викиди сірчастого ангідриду повинні відповідати стандартам Директиви 2010/75/ЄС (табл. 1.3) з 01.01.2029 року.

Нормативи допустимого викиду діоксиду сірки ( $\text{мг}/\text{нм}^3$ ) для модернізованих установок і поточні для існуючого обладнання після 01.01.2029

Тип палива	Теплова потужність обладнання (P), МВт		
	$50 < P < 100$	$100 < P < 300$	$P > 300$
Вугілля і буре вугілля та інші види твердого палива	400	250	200

### 1.3. Методи сучасного сіркоочищення на ТЕС в Україні.

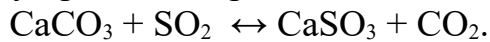
*Сіркоочищення на ТЕС в Україні.* Значна частка сірки викидається в повітря у формі діоксиду сірки, що утворюється при спалюванні викопного палива. У вугіллі, що видобувається в Україні, вміст сірки високий – від 1,6% до 3,7%. На частку електростанцій припадає не менше 50% викиду діоксиду сірки. Приблизно 25% переноситься в країну з інших країн через кордони. Існує декілька технологій знесірчення палива та уловлювання сірки з продуктів спалювання. Сіркоочистка димових газів в Україні майже не використовується, що обумовлено великими витратами та роботою значної частини котлів енергоблоків протягом ряду років в літній період на природному газі. Однак у зв'язку зі збільшенням частки вугілля на ТЕС оснащення системами сіркоочистки хоча б котлів енергоблоків 300 МВт вже в найближчі роки є необхідним.

Уловлення сірчистих сполук у викидах ТЕС і різних виробництв є одним з найбільш складних та трудомістких процесів з наступних причин: кількість газів, що викидаються, дуже велика; поглинання сірчистих сполук супроводжується відкладенням солей кальцію і магнію на стінках труб, тобто забиванням апаратури; санітарні норми на вміст сірчистих сполук у атмосфері досить низькі й становлять: 0,5  $\text{мг}/\text{м}^3$  – максимально-разове та 0,05  $\text{мг}/\text{м}^3$  – середньодобове в повітрі населених місць.

Використання вугілля і мазуту з високим вмістом сірки викликає забруднення повітряного басейну, а також призводить до ушкоджень та зупинок котлів внаслідок корозії топкових екранів і хвостових поверхонь нагріву. У ряді країн застосовується десульфурвання вугілля шляхом дроблення та промивки водою і лужними розчинами або шляхом видалення колчедану з вугілля магнітними сепараторами. Такими способами в принципі можна зменшити загальний вміст сірки в паливі на 30–75%. Для України, де в багатьох енергоблоках потужністю 200 і 300 МВт використовуються низькосортні газові вугілля з вмістом сірки 3–3,5% і більше половини з них складаються з феромагнітних сполук, сірку можна витягати за допомогою магнітної сепарації.

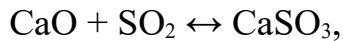
Сіркоочищення вугілля і мазуту розроблене недостатньо і застосовується в обмеженому обсязі. Тому у світовій практиці зазвичай очищають від сірки димові гази, для чого застосовують різні процеси. Їх можна розділити на три головні групи: процеси із застосуванням рідких поглиначів – абсорбційні (мокрі) та процеси, що ґрунтуються на взаємодії газу з твердою речовиною, – адсорбційні й каталітичні (сухі). Переважно в цих процесах поглиначем служать вапняк ( $\text{CaCO}_3$ ) або вапно ( $\text{CaO}$ ).

Частіше для очищення димових газів від сірки застосовують вапняковий метод очищення, при якому гази зрошують циркулюючою пульпою вапняку ( $\text{CaCO}_3$ ). При цьому протікають реакції:



Сульфід кальцію випадає в осад, а отриману суспензію переводять у сульфатну форму шляхом окиснення повітрям в нижній частині абсорбційної башти.

До недоліків застосування вапняку відносять порівняно низький ступінь використання кальцію – 60–70%. Тому його часто замінюють оксидом кальцію – вапном:



що дозволяє також збільшити ефективність очищення. Але 85% всіх працюючих установок у світі використовують саме мокрий вапняковий метод. Істотною проблемою мокрого методу є кристалізація гіпсу: сполуки заліза, алюмінію та хлору, потрапляючи в розчин, перешкоджають росту кристалів, що призводить до утворення осаду дрібнокристалічного гіпсу, який погано фільтрується і швидко тужавіє.

Замість вапняку та вапна застосовують також водну суспензію  $\text{MgO}$  (магнезитовий метод) або сульфід-гідросульфід амонію –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \cdot \text{NH}_4\text{HSO}_3$  (амонійний метод).

Сутність магнезитового способу полягає в зв'язуванні діоксиду сірки суспензією магнію при температурі 45–65°C. Утворений при цьому сульфат магнію випадає у вигляді великих кристалів гідрату  $\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  та невеликої кількості сульфату магнію  $\text{MgSO}_4$ . Кристали відокремлюють від розчину, сушать і направляють в піч випалу, де при 900–1000°C відбувається термічна дисоціація сульфїту магнію з утворенням  $\text{MgO}$  і газів, що містять 10–12%  $\text{SO}_2$ , які використовують для отримання сірчаної кислоти. Ступінь очищення становить 90–92%. Хоча цей метод простий, він ускладнюється наявністю численних операцій з твердими речовинами, а отже, пилоутворенням, абразивним зношуванням апаратури та комунікацій. Для сушіння кристалів і видалення з них гідратної води потрібна значна кількість тепла.

Сульфід-бісульфідні методи очищення дозволяють очищувати димові гази з будь-яким вмістом  $\text{SO}_2$ . В якості абсорбенту використовують сульфід натрію (процес Wellman–Lord) або амонію (процес Walter), які при поглинанні  $\text{SO}_2$  утворюють бісульфїти.

До нетрадиційних мокрих методів належать озонна та електронно-променева технологія. У першому методі  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}$  окиснюються озоном до  $\text{SO}_3$  та  $\text{NO}_2$ , відповідно, які потім вступають в реакцію з амоніаком  $\text{NH}_3$ , що впорскується.

При електронно-променевій технології димові гази опромінюються потужними електронними пучками. При цьому утворюються атоми та радикали, також забезпечуючи ефективне окиснення  $\text{SO}_2$  та  $\text{NO}$ , які зв'язуються амоніаком і вловлюються у вигляді сульфату та нітрату амонію. Метод має ті ж недоліки, що і озонний та аміачний методи, і, крім того, потребує застосування високовольтної апаратури та радіаційного захисту.

«Сухі» методи очищення засновані на подачі хімічних реагентів в паливню або газовий тракт котла. У сучасний час у ряді випадків при розробленні систем очищення для їх здешевлення прагнуть поєднувати зниження викиду  $\text{SO}_2$  з придушенням утворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ). Відомо, що утворення  $\text{NO}$  пригнічується при ступінчастому спалюванні палива, коли в факелі утворюється відновлювальна зона.

Технологічно цей процес, як і суха очистка від  $\text{SO}_2$ , здійснюється у верхній частині камери згоряння. Це дозволило створити технологічну схему, що об'єднує обидва процеси. Цей метод отримав назву GR-SI та запроваджений на електростанціях США, де спалюється високосірчисте бітумінозне вугілля із вмістом сірки до 2,9%. Сорбент розпилювають повітрям у верхню частину топки при співвідношенні  $\text{Ca S} = 1,75$ . Метод дозволив зменшити одночасно викиди сірчистого ангідриду на 50–60% та оксидів азоту на 60–70%. При цьому надійність та економічність котлів не знизилася.

Вперше у світовій практиці скруббер для уловлювання  $\text{SO}_2$  з допомогою суспензії  $\text{MgO}$  був застосований на території колишнього СРСР ще в 1937 році на Каширській електростанції; в післявоєнні роки установка вапняного очищення була побудована на Київській ТЕЦ-4.

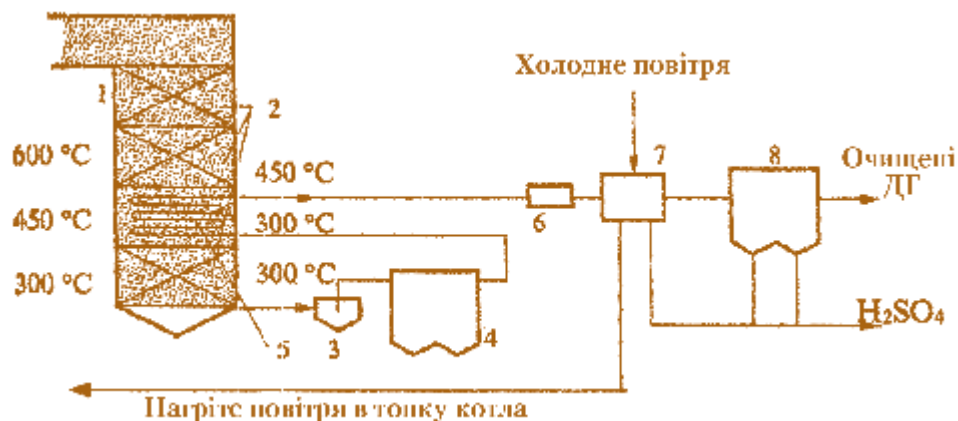


Рис. 1. Схема очищення димових газів котлів від  $\text{SO}_2$  окисненням його в  $\text{SO}_3$ : 1 – відпускний газохід парового котла; 2 – поверхні нагріву (парогенеруючі економайзери); 3 – інерційний апарат для грубого очищення від пилу; 4 – електрофільтр для тонкої очистки; 5 – рекуператор для підігріву димових газів до 450 °C; 6 – контактний апарат для окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ ; 7 – повітропідігрівник; 8 – електрофільтр для уловлювання  $\text{H}_2\text{SO}_4$

До сухих методів очищення відноситься також каталітичне окиснення сірчистого ангідриду в сірчаний з використанням ванадієвого каталізатора (рис. 1). Він полягає в окисненні діоксиду сірки до  $\text{SO}_3$  на каталізаторі з подальшим поглинанням його водою.

Підлягаючі очищенню димові гази відводять з парового котла при температурі 300 °C (гранична температура експлуатації електрофільтрів). Гази піддаються грубій очистці в інерційному апараті та тонкій в електрофільтрі. Потім очищені від пилу гази при тій же температурі направляються в рекуператор, вбудований в паровий котел, де вони підігріваються до 450 °C та надходять у контактний апарат із каталізатором, де  $\text{SO}_2$  окиснюється в  $\text{SO}_3$ . Для уловлювання  $\text{SO}_3$  та використання тепла димових газів їх пропускають через окремий повітропідігрівник, де вологі димові гази охолоджуються нижче точки роси для  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Утворюваний туман сірчаної кислоти уловлюється в електрофільтрі. Очищені гази викидаються через димову трубу, сірчана кислота надходить у спеціальну тару та відправляється на склад. Апаратне оформлення сухого каталітичного очищення надзвичайно громіздке, потребує значних капітальних витрат на ремонт, обслуговування та розміщення. Підвищення к.к.д. процесу уловлювання сірки до 90% та зниження експлуатаційних витрат можуть бути досягнуті при спалюванні палива в киплячому (псевдозрідженому) шарі. У цьому випадку може бути забезпечене зв'язування сірчистого ангідриду власним лугом палива. Деякі види

палива (естонські сланці, березовське та ірша-бородинське вугілля) містять досить велику кількість CaO для зв'язування оксиду сірки. У таких випадках, тобто коли відношення  $\text{CaO}/\text{SO}_2 > 1$ , процес в киплячому шарі вигідний в першу чергу. Крім того, спалювання вугілля у киплячому шарі проходить при більш низьких температурах (до 900–950°C), у зв'язку з чим утворюються порівняно малі кількості оксидів азоту. При спалюванні в киплячому шарі донецького вугілля, що має високий вміст сірки, необхідно додаткову кількість вапняку додавати в паливо або вводити в паливну котла.

У той же час застосування котлів з киплячим шаром при уловлюванні 80–90% сірчистого ангідриду та зниженні виходу оксидів азоту дозволило б забезпечити експлуатацію котлів застарілих конструкцій продуктивністю 100–230 т/год пари, а також частини енергоблоків на донецькому вугіллі без істотного забруднення навколишнього повітря.

Західними закордонними фірмами введені в експлуатацію або переобладнані кілька десятків котлів електростанцій, в яких вугілля спалюється в киплячому шарі або циркулюючому киплячому шарі з добавкою в топку оксиду кальцію.

Питомі витрати на спорудження сучасних систем сіркоочищення, які є технологічно складними та капіталомісткими спорудами, коливаються від 50 до 250 дол. США на 1 кВт електричної потужності котла (або від 15 до 65 млн. дол. США на енергоблок 300 МВт).

Останні 30 років практично всі працюючі на вугіллі котли електростанцій Німеччини, а також значна кількість їх у США та інших розвинених країнах обладнані системами сіркоочищення димових газів.

Найбільш капіталомісткими є природоохоронні заходи. Капіталовкладення в них складають 2% внутрішнього продукту в США і Японії, 1,2–1,8% – в країнах Західної Європи. Ці кошти використовують на спорудження та експлуатацію очисних споруд. Їх обсяг може становити 30% вартості основних промислово-виробничих фондів і більше. При цьому природоохоронні заходи не дають 100%-ного ефекту очищення шкідливих викидів. Вловлювання викидів не вирішує проблему відходів і лише переводить їх у більш безпечну для навколишнього середовища форму. Тому останнім часом в усьому світі переважний розвиток отримала стратегія використання відходів виробництва, ресурса енергозбереження. Відповідно до цієї стратегії створюються умови комплексного використання сировини (паливно-енергетичних ресурсів) та енергії в циклі сировинні ресурси – промисловість – використання – вторинні ресурси таким способом, щоб виключити будь-який вплив, що сприяє порушенню рівноважного стану функціонування навколишнього середовища.

До основних напрямків безвідходних технологій відносяться комплексне використання сировини; створення замкнутих газота водооборотних систем; розробка принципово нових та вдосконалення діючих процесів виробництва; переробка і використання енергетичних відходів (теплота, зола, шлак, продукти очищення димових газів і т.п.).

Сьогодні в багатьох країнах відходи теплових електростанцій служать сировиною для виготовлення будівельних матеріалів – бетонних блоків, панелей, дорожнього покриття, силікатної цегли. У США з цією метою вони використовуються на 20%, у Великобританії – на 60%, у Франції – на 72% і у Фінляндії – на 84%.

Одним з напрямків підвищення ефективності в енергетиці є енергозбереження, здійснюване, наприклад, шляхом зменшення енергоємності одиниці продукції за рахунок модернізації виробничих процесів.

У багатьох країнах використовують різні заходи для економії енергії на виробництві та в побуті. До них відносяться впровадження норм та обмежень споживання енергії і палива з відповідними системами штрафів за перевитрату; введення літнього часу; поліпшення теплоізоляції будівель житлових і виробничих приміщень і т.д.

У деяких штатах США існує система пільгових кредитів для енергогенеруючих компаній при реалізації заходів щодо зниження токсичності димових газів енергоустановок.

Важливим напрямком підвищення екологічної безпеки енергетичних об'єктів є впровадження екологічного моніторингу та розвиток систем екологічної інформації. Екологічний моніторинг здійснюється на чотирьох рівнях:

- локальному – на території окремих об'єктів, міст, на ділянках ландшафтів, на промислових об'єктах і прилеглих до них територіях;
- регіональному – в межах адміністративно-територіальних одиниць, на території екологічних та природних регіонів;
- національному – на території країни, в тому числі з використанням космічних засобів спостереження;
- глобальному, який здійснюється на підставі міжнародних угод.

Значним напрямом підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки об'єктів теплоенергетики є стимулювання розвитку і практичного використання новітніх наукових досягнень та науково-технічних розробок у галузі технології переробки та спалювання палива, вдосконалення та розробка нових технологій перетворення хімічної енергії палива в інші види енергії, вдосконалення робочого процесу з метою зниження рівня необоротних втрат в окремих елементах та фрагментах енергетичних установок, зменшення втрат теплової та електричної енергії при передачі її споживачеві, поліпшення умов експлуатації та підвищення надійності роботи енергетичних установок. Особлива роль при цьому відводиться професійній підготовці обслуговуючого персоналу та вдосконаленні систем автоматизації та управління енергоустановок.

#### **1.4 Використання технології напівсухої амоніакової десульфуризації димових газів на вугільних електростанціях.**

Чинне законодавство України та Європейського Союзу з охорони навколишнього середовища вимагає відчутного зменшення викиду діоксиду сірки на різних типах теплоелектростанцій. Для цього слід спроектувати, виготовити та спорудити установку з десульфуризації димових газів, що відповідає європейським критеріям найкращих доступних технологій. Необхідною умовою є визначення оптимальних параметрів на змінних режимах роботи очисної установки. В статті [19] представлено результати числового моделювання роботи установки напівсухого сіркоочищення для зменшення діоксиду сірки викідних газів, які надходять з котельного агрегату типу ТПП-210А енергоблоку електричною потужністю 300 МВт. Установка десульфуризації працює за

напівсухим методом з використанням в якості сорбенту амоніакової води. За результатами дослідження встановлено розміри робочої зони реактора як головної частини сіркоочисної установки. Визначено спосіб подавання та витрату амоніаку і води, що використовуються для приготування розчину і зрошення газового потоку. Проведено оцінювання витрат розчину амоніаку й води в залежності від обсягів димових газів і води та вхідної температури газів.

Теплові електричні станції (ТЕС) України відносяться до найбільших джерел забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки у наслідок великих викидів в процесі постійного спалювання десятків мільйонів тон сірковмісного вугілля. Природоохоронне законодавство України та Європейського Союзу вимагає суттєвого скорочення викидів діоксиду сірки, які є основними серед викидів інших забруднюючих речовин. В Україні на ТЕС встановлено 42 енергоблоки електричною потужністю 300 МВт кожен. Директива 2010/75/EU про промислові викиди визначає, що для таких котлів концентрація діоксиду сірки у димових газах не повинна бути більшою за 200 мг/нм<sup>3</sup>, а в разі спалювання високосірчастого вугілля — не більше 400 мг/нм<sup>3</sup> за умови дотримання сіркоочищення ефективністю не менше 95 %. На сьогодні на ТЕС України відсутні установки з десульфуризації. Головною умовою участі України в Енергетичному співтоваристві є впровадження установок з ефективною технологією зв'язування діоксиду сірки. На теперішній час для видалення SO<sub>2</sub> з відхідних газів, які утворюються при спалюванні твердого палива, існує велика кількість промислових технологічних досліджень. Хімічне зв'язування діоксиду сірки можливе реагентами, наприклад з вмістом кальцію (Ca) (гашене вапно, вапняк), магнію (Mg), натрію (Na), мангану (Mn), амоніаку (NH<sub>3</sub>) та ін. Ще одним критерієм при виборі методу очищення є швидкість та характеристики розчинення реагенту, які значно впливають на ефективність видалення SO<sub>2</sub>, і розміри хімічного реактора, де відбувається значне зв'язування діоксиду сірки. Однією з найефективніших технологій є метод напівсухої амоніакової десульфуризації.

Під час експерименту видалення SO<sub>2</sub> за основу якої взято енергетичний блок ТЕС цукрового заводу електричною потужністю 300 МВт, з двокорпусним котельним агрегатом ТПП-210А, в якому згорає вугілля марки антрацит. Даним експериментом було взято за мету отримання даних, які в подальшому були б використані для розробки Технічного завдання на проектування установки ДДГ та складання Технологічного регламенту роботи цієї установки. В процесі експерименту необхідно визначити параметри робочої зони сіркоочисної установки (хімічного реактора), спосіб подавання рідини (розчину реагенту та зрошувальної води) у реактор, вид форсунок для впорскування рідини, а також режимні параметри: витрати води та розчину, параметри газів у робочій зоні реактора (швидкість та т-ру) в залежності від навантаження на енергетичний блок та метеорологічних умов навколо. Дані були отримані розрахунковим методом на основі індивідуальної математичної моделі. Яка враховує абсорбцію газів рідиною, випаровування води з крапель, протолітичні реакції у рідкій фазі та реакції приєднання у газовій фазі потоку. Що насамперед дозволяє визначати концентрацію хімічних сполук в обох фазах.

## Висновки.

Для зв'язування діоксиду сірки димових газів наведено приклад використання напівсухої амоніакової технології. Це надасть змогу отримувати на виході корисний продукт у вигляді порошку сульфату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , який можна використовувати у різних сферах. Також даний метод виключає розчинення сорбенту у суспензії твердого реагенту, тобто усунути процес, який впливає на розміри й ефективність установки, тому що швидкість розчинення кальцієвого сорбенту невисока. Та головне, технологія дозволить повністю уникнути утворення твердих відкладень у розпилюючих форсунках, та на поверхні реактора. У газовому тракті вугільного енергоблоку установка десульфуризації розміщена після золотловлювача, наприклад, електростатичного фільтра (ЕСФ). Для виявлення та знешкодження дрібнодисперсних твердих частинок субпродукту, що виникає в результаті процесу хімічного зв'язування діоксиду сірки, за реактором додатково встановлюють рукавний фільтр. Окрім того, на поверхні рукавів також відбувається хімічне зв'язування діоксиду сірки [5]. Саме рукавний фільтр є другим ступенем сіркоочищення. В залежності від конструкції рукавного фільтра та частоти струшування накопиченого на рукавах лужного пилу, додаткова ефективність уловлення діоксиду сірки може становити до 5-20% .

На один корпус парогенератора ТПП-210А при номінальному навантаженні після ЕСФ витрата димових газів становить 180,8  $\text{м}^3/\text{с}$ , а при температурі 150°C вона дорівнює  $\approx 280,2$   $\text{м}^3/\text{с}$  або 1,008 млн.  $\text{м}^3/\text{год}$ . Витрата реагенту визначається вмістом діоксиду сірки у димових газах. При об'ємній концентрації діоксиду сірки 1181  $\text{млн}^{-1}$  (ppm) для ефективності не менше 90% питома витрата  $\text{NH}_3$  має становити 1,615  $\text{г}/\text{м}^3$ . Робочий розчин реагенту готується з 25%-го водного розчину амоніаку та технічної води. Витрати води повинні забезпечувати максимально можливу ефективність процесу і бути такими, щоб після висихання крапель рідини, температура відхідних газів на виході апарата перевищувала температуру водяної точки роси не менш, ніж на 15 °C для запобігання хімічної корозії газоходів. При даних умовах сумарна питома витрата води становить 51,611  $\text{г}/\text{м}^3$ . За таких витрат  $\text{NH}_3$  та  $\text{H}_2\text{O}$  вміст амоніаку в розчині буде приблизно 3%. Робоча зона проектованого хімічного реактора має бути у вигляді циліндру. Вхідна і вихідна частини реактора виконані у формі дифузора і конфузора, відповідно. Знизу подаються димові гази, а зверху очищені гази виходять з реактора. У нижній частині робочої зони у газовий потік через форсунки подається розчин амоніаку. Діаметр робочої зони хімічного реактора визначається площею прохідного перетину, від якої залежить середня швидкість руху димових газів. А вже, від швидкості газів залежить час їх перебування у робочій зоні, а від швидкості крапель рідини відносно швидкості газів залежить швидкість випаровування води та тривалість висихання крапель. Розрахунки довели, що при зміні діаметра робочої зони хімічного реактора від 7 до 11 м, швидкість газів на вході у зону знаходиться у діапазоні 2,9—7,3  $\text{м}/\text{с}$  (рис. 1), а на виході з неї — у діапазоні 2,5—6,1  $\text{м}/\text{с}$ . Також доведено, що швидкість димових газів має не суттєвий вплив на ефективність зв'язування діоксиду сірки. Це пояснюється дуже низькою відносною швидкістю крапель при таких швидкостях газів. Через 200 мс після впорскування рідини у потік швидкість крапель стає майже рівною швидкості газів. Тому відсутня конвективна складова переносу молекул води з пограничного шару краплі у гази. Таким чином, рух молекул води з краплі в газову фазу відбувається виключно за рахунок дифузії. При однопотоковому методі подачі розчину

краплі розміром 100 мкм випаровуються приблизно за 5 с незалежно від швидкості руху у вищенаведених діапазонах. Висота робочої зони реактора визначається часом випаровування крапель. За означених умов необхідна висота зони змінюється від 33,1 м до 13,5 м в залежності від діаметра зони. Для апаратів запропонованого типу (наприклад, скрубєрів) співвідношення висоти до діаметра, зазвичай коливається від 4 до 6. Опираючись на результати всього комплексу математичних досліджень роботи апарата, було прийнято, що внутрішній діаметр робочої зони дорівнює 9 м, а висота — 40 м. У роботі викладено результати математичного дослідження процесів у сіркоочисній установці промислового масштабу, прототипом якої була установка для групи вугільних котлів тепловою потужністю по 50 МВт на ТЕС «Люблін», республіка Польща. Установку розраховано на меншу витрату димових газів з меншим вмістом діоксиду сірки порівняно з установкою, що розглядається. Наведені дослідження продовжують роботу. Зокрема, розглянуто установку з видалення діоксиду сірки з димових газів, що надходять з котлоагрегату у складі енергоблока електричною потужністю 300 МВт української ТЕС, де більша витрата газів і вищий вміст діоксиду сірки. Також було виявлено більшу кількість параметрів, що впливають на ефективність роботи хімічного апарата. Результати математичних досліджень доказали, що на номінальному режимі однопотоковий спосіб подачі рідини або розчину, тобто коли рідина або розчин весь подається на вході в робочу зону реактора, є менш ефективним, ніж двопотоковий, тобто, коли слабкий розчин реагенту та зрошувальна вода подаються окремо. При двопотоковому методі розчин і вода можуть подаватися з різною послідовністю. За способом «вода-розчин» спочатку вводиться вода, а потім розчин. За способом «розчин-вода» навпаки, вводиться спочатку розчин, а потім вода. Причому, у другому випадку ефективність є вищою, ніж у першому.

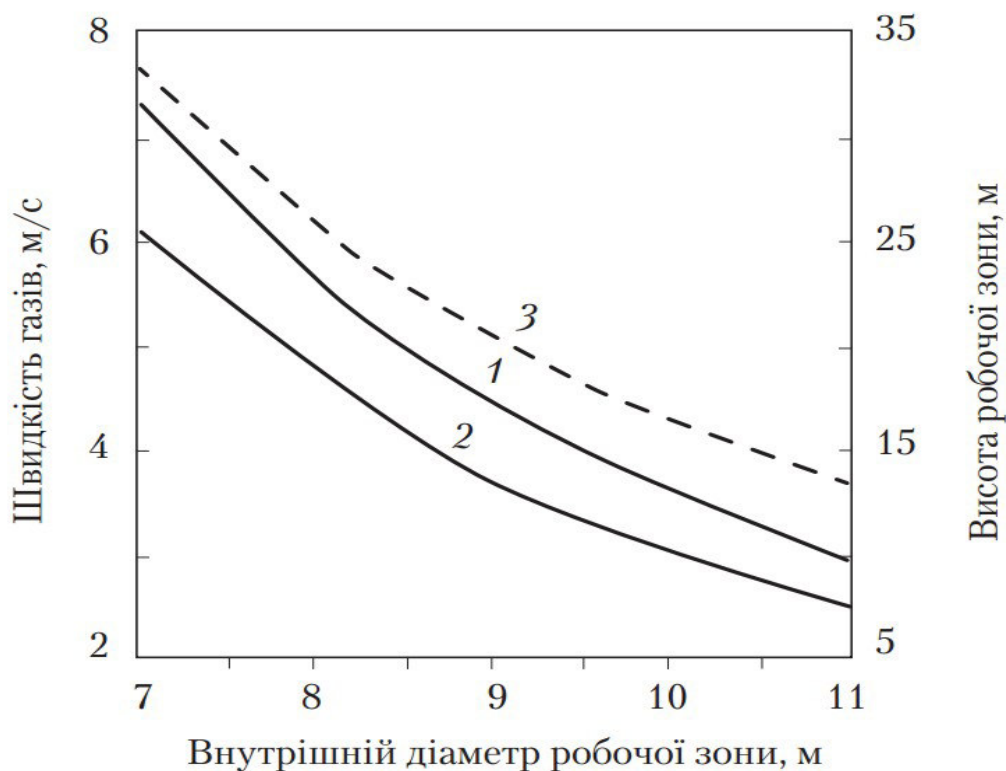


Рис. 2. Вплив діаметра робочої зони на швидкість газів на вході (1), швидкість газів на виході (2), висоту робочої зони (3)

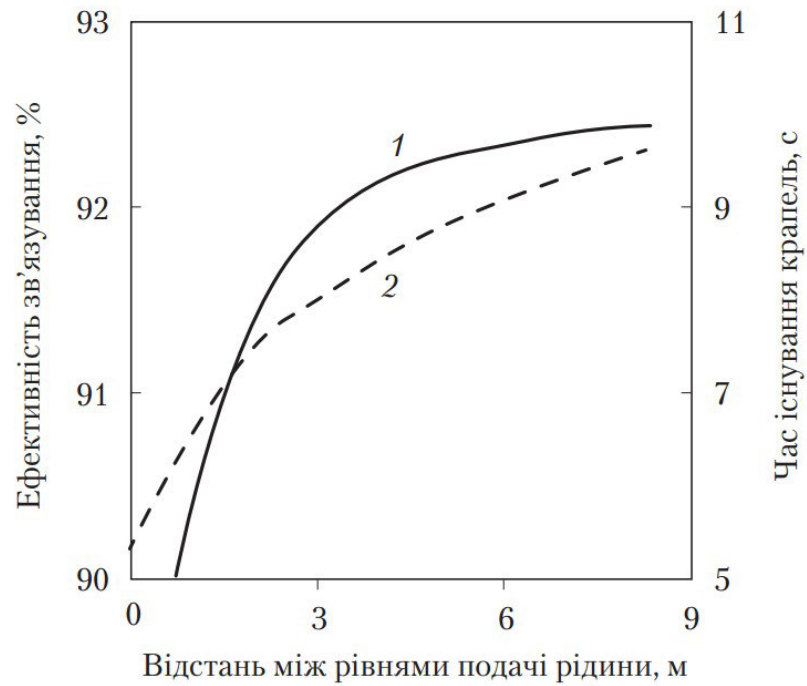


Рис. 3. Вплив відстані між рівнями подачі рідини на ефективність зв'язування реагентів (1) та час існування крапель рідини (2)

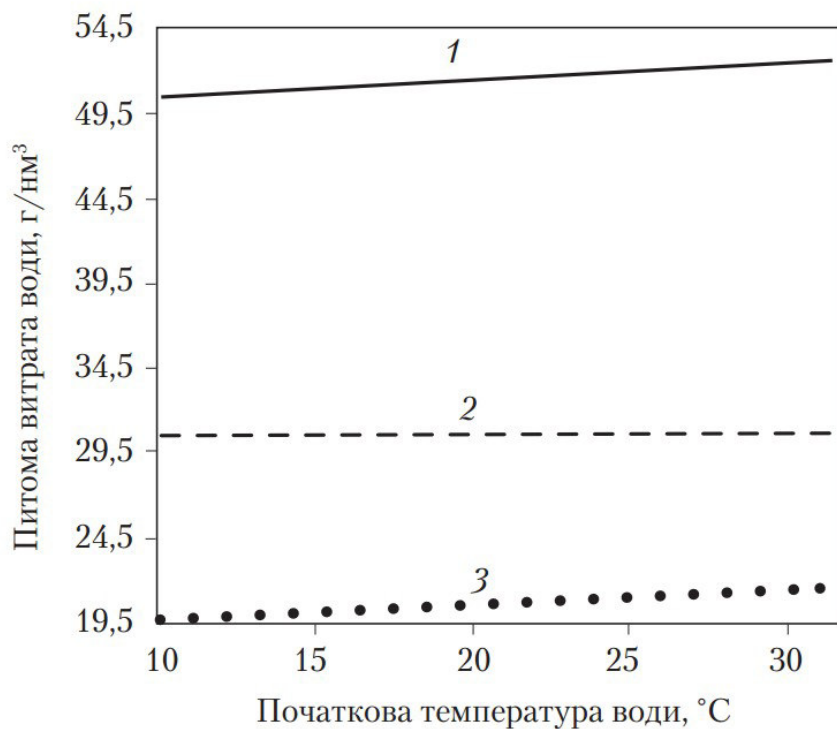


Рис. 4. Вплив температури води на витрату води: 1 — разом, 2 — у розчині, 3 — на зрошення

Даний ефект є завдяки наступному. У випадку коли першим подається зрошувальна вода, то краплі абсорбують діоксид сірки, але хімічне зв'язування у них не

відбувається через відсутність реагенту. Окрім того, при зменшенні маси крапель внаслідок випаровування води, діоксид сірки повертається у газову фазу потоку. У подальшому, введення крапель розчину амоніаку в частково охолоджену газову фазу призводить до меншої емісії газоподібного  $\text{NH}_3$  з розчину у газове середовище. Тому діоксид сірки абсорбують і хімічно зв'язують тільки краплі розчину амоніаку, але у цьому випадку існує небезпека викиду газоподібного амоніаку на виході з реактора. Після подачі крапель розчину сорбенту відбувається не тільки хімічне зв'язування діоксиду сірки гідроксидом амонію ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), а й вихід амоніаку з крапель розчину у газову фазу відповідно до закону Рауля. При подальшому впорскуванні крапель зрошувальної води ними поглинається не лише діоксид сірки, а й  $\text{NH}_3$ . Внаслідок цього у краплях відбувається хімічне зв'язування діоксиду сірки.

При проведенні експерименту запропонованого хімічного реактора було виявлено, що при однопотоковому методі подачі рідини ефективність зв'язування діоксид сірки становить близько 76%, при застосуванні способу «вода- розчин» – 81%, а за способом «розчин-вода» ефективність досягає 92% та більше.

На рис. 3 показано, що при способі подачі рідини «розчин-вода» на ефективність зв'язування діоксиду сірки впливає відстань між рівнями розташування по висоті реактора форсунок для впорскування розчину реагенту та зрошувальної води. Зменшення відстані призводить до зниження ефективності. Це відбувається через зменшення часу випаровування води з крапель, тобто часу їх існування. Так, час «життя» крапель зменшується майже на 45%, а ефективність – на 4%, причому спочатку вона зменшується повільно, а при більшому перекритті потоків крапель розчину й води — різко падає. Встановлено також, що на номінальному режимі роботи сіркоочисної установки оптимальна відстань між рівнями подавання рідини становить 8,3м. При цьому, 60% води вводиться у реактор в розчині амоніаку, а 40% — зі зрошувальною водою. Подальше збільшення відстані не призводить до підвищення ефективності. Слід зазначити, що при двопотоковому способі подачі рідини, початковий масовий вміст амоніаку у розчині повинен становити біля 5%.

Змінення зовнішньої температури в залежності від пори року (зима–літо) призводить до зміни температури технічної води і вихідних газів. Розрахунки режимів роботи хімічного реактора з двопотоковою подачею рідини за способом «розчин-вода» показали, що зміна початкової температури технічної води у діапазоні 10-30°C майже не впливає на ефективність очисної установки, і вона дорівнює в межах 92%.

Слабкий вплив пояснюється тим, що масова витрата води є у 27 разів меншою за витрату газів, хоча теплоємність води у 4 рази вище теплоємності вихідних газів.

Витрату води потрібно збільшувати при підвищенні її температури (рис. 4), щоб компенсувати зростання швидкості випаровування води з крапель. При цьому достатньо збільшити витрату тільки зрошувальної води, а витрату 5%-го розчину амоніаку слід залишати постійною. Аналогічною є зміна ефективності і при зміні початкової температури димових газів в діапазоні 130-170°C. При таких температурах ефективність роботи установки приблизно дорівнює  $92,5 \pm 0,2\%$ . До того ж, більші значення відповідають меншим температурам. Проте питому витрату зрошувальної води потрібно значно збільшувати при підвищенні температури газів (рис. 4) для компенсації росту швидкості випаровування води з крапель, коли зростає тепловий потік, який вноситься газами у хімічний реактор.

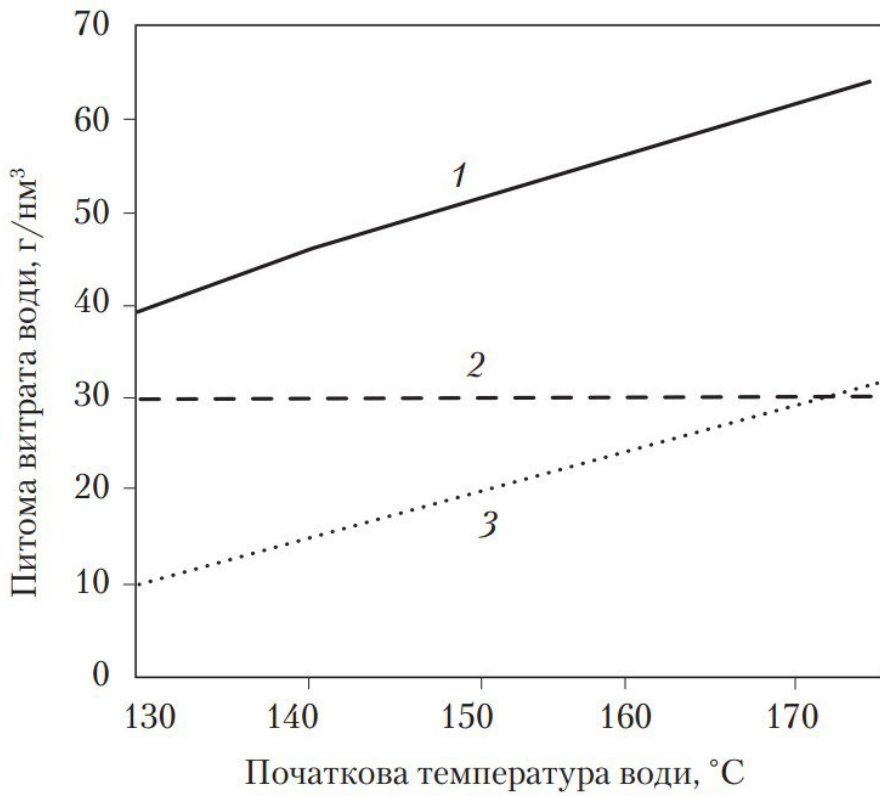


Рис. 5. Вплив температури газів на витрату води: 1 – разом, 2 – у розчині, 3 – на зрошення

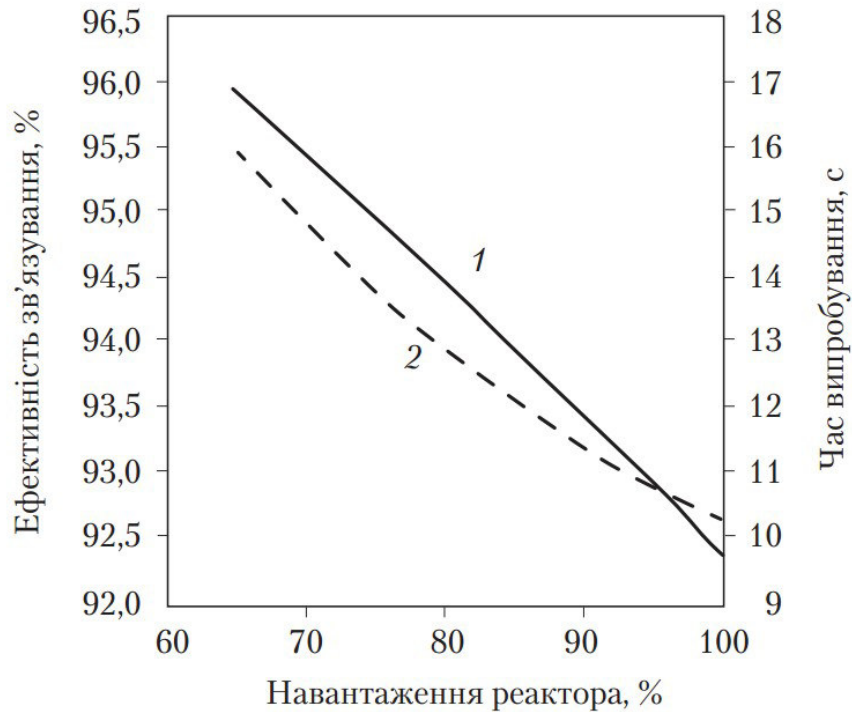


Рис. 6. Вплив навантаження на ефективність зв'язування діоксиду сірки (1) та на час перебування газу у робочій зоні (2)

У таблиці 1 наведено інформацію про витрату води за різної початкової температури газів

Витрата рідини за різної температури газів

Таблиця 1

Параметр	Значення				
	130	140	150	160	170
Температура газів, °С	130	140	150	160	170
25%-й розчин NH <sub>3</sub> , кг/с	1,168				
Вода для розчину, кг/с	4,674				
5%-й розчин NH <sub>3</sub> , кг/с	5,842				
Зрошувальна вода, кг/с	1,553	2,8010	3,784	4,752	5,736
Витрата води, кг/с	6,227	7,475	8,458	9,426	10,410
Витрата води, т/год	22,415	26,909	30,447	33,933	37,473

У процесі роботи парогенератора його навантаження може відхилитись від номінального, внаслідок чого пропорційно буде змінюватися й обсяг димових газів. За результатами розрахунків встановлено, що при зниженні витрати газів на 35 %, ефективність зв'язування діоксиду сірки підвищується з 92,4% до 96%, тобто на 3,6% (рис. 5). До того ж, час перебування газів в робочій зоні збільшується майже у 1,5 рази. Початкова сумарна питома витрата води залишається постійною і дорівнює 51,611 г/нм<sup>3</sup>, але витрати розчину й зрошувальної води в абсолютному вимірі (кг/с) потрібно зменшувати пропорційно зниженню навантаження.

У таблиці 2 наведено витрати розчину й води при різному навантаженні хімічного реактора.

Витрата рідини за різного навантаження реактора

Таблиця 2

Параметр	Значення				
	100	90	80	70	65
Навантаження, %	100	90	80	70	65
25%-й розчин NH <sub>3</sub> , кг/с	1,168	1,052	0,935	0,818	0,759
Вода для розчину, кг/с	4,674	4,206	3,739	3,272	3,038
5%-й розчин NH <sub>3</sub> , кг/с	5,842	5,258	4,674	4,090	3,797
Зрошувальна вода, кг/с	3,784	3,405	3,027	2,649	2,459
Витрата води, кг/с	8,458	7,611	6,766	5,921	5,497
Витрата води, т/год	30,447	27,402	24,357	21,313	19,790

Як наведено вище, при роботі хімічного реактора виникає необхідність змінювати витрату розчину та/або зрошувальної води. У разі зниження навантаження котла можна вимикати частину форсунок, що впорскують рідину у газовий потік. Розмір крапель рідини впливає на ефективність зв'язування діоксиду сірки, оскільки від їх величини залежить загальна площа поверхні крапель. В свою чергу, від площі залежить швидкість абсорбції та випаровування води. У більшості випадків виникає потреба змінити витрату води, що може призводити до зміни розміру крапель. Вплив розміру крапель зрошувальної води у діапазоні від 50мкм до 150мкм на ефективність роботи показано на рис.7.

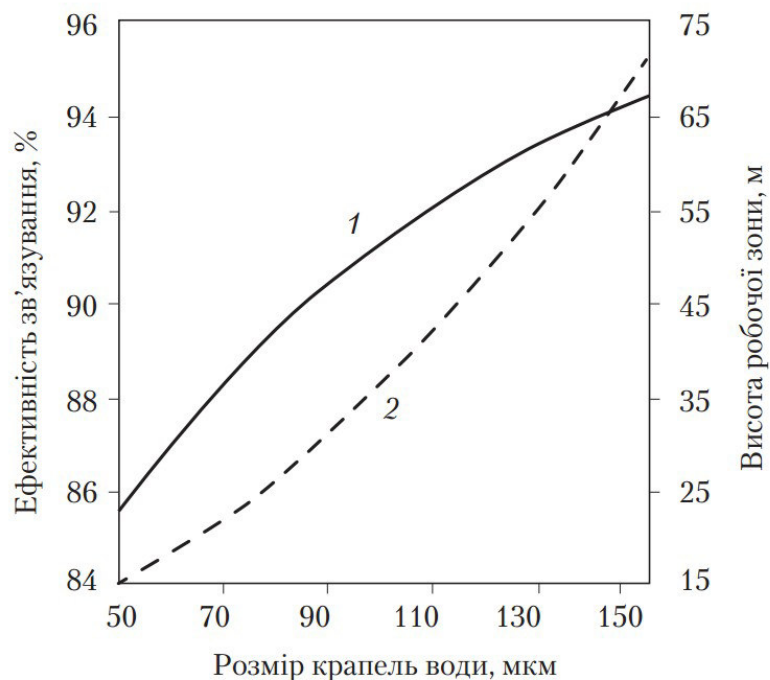


Рис. 7. Вплив розміру краплі води на ефективність зв'язування діоксиду сірки (1) та на висоту робочої зони (2)

Так, при збільшенні розміру крапель з 100мкм до 150мкм ефективність процесу зростає на 3% за рахунок довшого «життя» більших крапель у гарячому газовому потоці. Спостерігається також збільшення частки хімічного зв'язування діоксиду сірки в газовій фазі. При зменшенні розміру крапель з 100мкм до 50мкм ефективність процесу падає на 6%, оскільки краплі швидше випаровуються. Проте збільшення розміру крапель може призвести до значного збільшення необхідної висоти робочої зони хімічного реактора. Раніше проведені дослідження показали, що оптимальним розміром крапель є саме 100мкм.

#### Висновки.

Після проведення математичного дослідження роботи установки напівсухого амоніакового очищення димових газів від діоксиду сірки, які утворюються при спалюванні вугілля марки антрацит у двокорпусному котельному агрегаті ТПП-210А енергоблока потужністю 300 МВт, встановлено таке:

1. Для впровадження напівсухого сіркоочищення на енергоблоці потужністю 300 МВт доцільно спорудити два хімічні реактори з внутрішнім діаметром робочої зони 9м і висотою 40м. Враховуючи, що розмір крапель рідини є визначальним для вибору висоти хімічного реактора, оптимальний розмір крапель становить 100мкм. Витрата димових газів на один реактор приблизно 1 млн. м<sup>3</sup>/год за т-ри 150°C. Обидва реактори встановлюються по ходу газів після золотловлювачів (електрофільтрів). Для уловлення дрібнодисперсних частинок субпродукту після реакторів встановлюються рукавні фільтри
2. У кожному реакторі використано спосіб :схема «розчин-вода»(двопотокова подача рідини), як оптимального, коли у газовий потік на вході робочої зони впорскуються краплі 5%-го розчину амоніаку, а на відстані близько 8,3м впорскуються краплі зрошувальної води. На виході з хімічного реактора уся введена волога має

випаруватися, а утворені дрібні частинки сульфату амонію повинні уловлюватися в рукавному фільтрі.

3. Під час зміни пори року температура технічної води та димових газів змінюється. Температура технічної води у діапазоні 10-30°C майже не впливає на ефективність очисної установки. Але зміна температури димових газів у діапазоні 130-170°C потребує регулювання витрати зрошувальної води відповідно розрахункам, наведеним у таблиці 1.

4. Відповідно до навантаження реактора підбираємо розчин і зрошувальну воду для підтримки максимальної ефективності зв'язування діоксиду сірки. Інформацію про витрату рідини залежно від навантаження сіркоочисної установки подано у таблиці 2.

5. При номінальному режимі витрата 5%-го розчину амоніаку в одному хімічному реакторі становить 5,8 кг/с, а зрошувальної води - 3,8 кг/с. Загальна витрата води на реактор становить не більше 33,6 т/год. Регулювання температурних режимів очищених газів на виході з реактора здійснюється шляхом зміни витрати зрошувальної води. Регулювання витрати розчину амоніаку здійснюється за рівнем концентрації діоксиду сірки у димових газах на виході з рукавного фільтра. При зміні навантаження енергоблоку витрату рідини можна зменшувати шляхом відключення частини форсунок, що впорскують розчин реагенту й зрошувальну воду у робочу зону хімічного реактора. Для подавання рідини запропоновано використовувати пневматичні форсунки, які здатні забезпечувати потрібну дисперсність крапель рідини.

6. Розрахунки довели, що т-ра газів на виході з очисної буде становити не менше 60°C та перевищуватиме температуру водяної точки роси не менше, ніж на 15°C, що дозволяє уникнути хімічної корозії газоходів.

З урахуванням зв'язування діоксиду сірки у рукавному фільтрі, його концентрація не перевищуватиме 169мг/м<sup>3</sup>, а загальна ефективність процесу десульфуризації димових газів становитиме не менше 95%.

Важливо:

- 1) Технологія напівсухого амонійного сіркоочищення має високу ефективність поглинання діоксиду сірки. Субпродуктом процесу є білий порошок сульфату амонію, яке використовується, як мінеральне добриво.
- 2) В газовій фазі вміст водяної пари повинен перевищувати вміст амоніаку.
- 3) Амонійну воду краще вводити у реактор у вигляді концентрату.
- 4) Краплі амонійної води повинні бути мінімального розміру для забезпечення стовідсоткового випаровування введеної вологи.
- 5) Амонійна вода може вводитись в газовий потік до реактора сіркоочищення для проведення реакції газозного реагування.
- 6) Мольне відношення NH<sub>3</sub>/SO<sub>2</sub> не повинне перевищувати 2 для недопущення викиду амоніаку в повітря.

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОГЛИНАННЯ ДІОКСИДУ СІРКИ АМОНІЙНИМИ СОРБЕТАМИ НА ВУГІЛЬНОМУ КОТЛІ ТЕЦ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

### 2.1 Схема котла, підбір типу палива та прості розрахунки об'єму газу.

Підберем тип палива який використовує котел ТЕЦ цукрового заводу. В нашому випадку це газове вугілля. Розрахуємо обсяг газів отриманих при згорянні газового вугілля, втрати обсягів газу після котлеагрегату, та викиди забруднюючих частин в навколишнє середовище при згорянні газового вугілля.

Інформація отримана після розрахунків та дані про хімічний склад продукту, отриманий при згорянні газового вугілля будуть використані для дослідження поглинання сірчастого ангідриду амоніаком у газовій газі та на агрегаті напівсухого газоочищення.

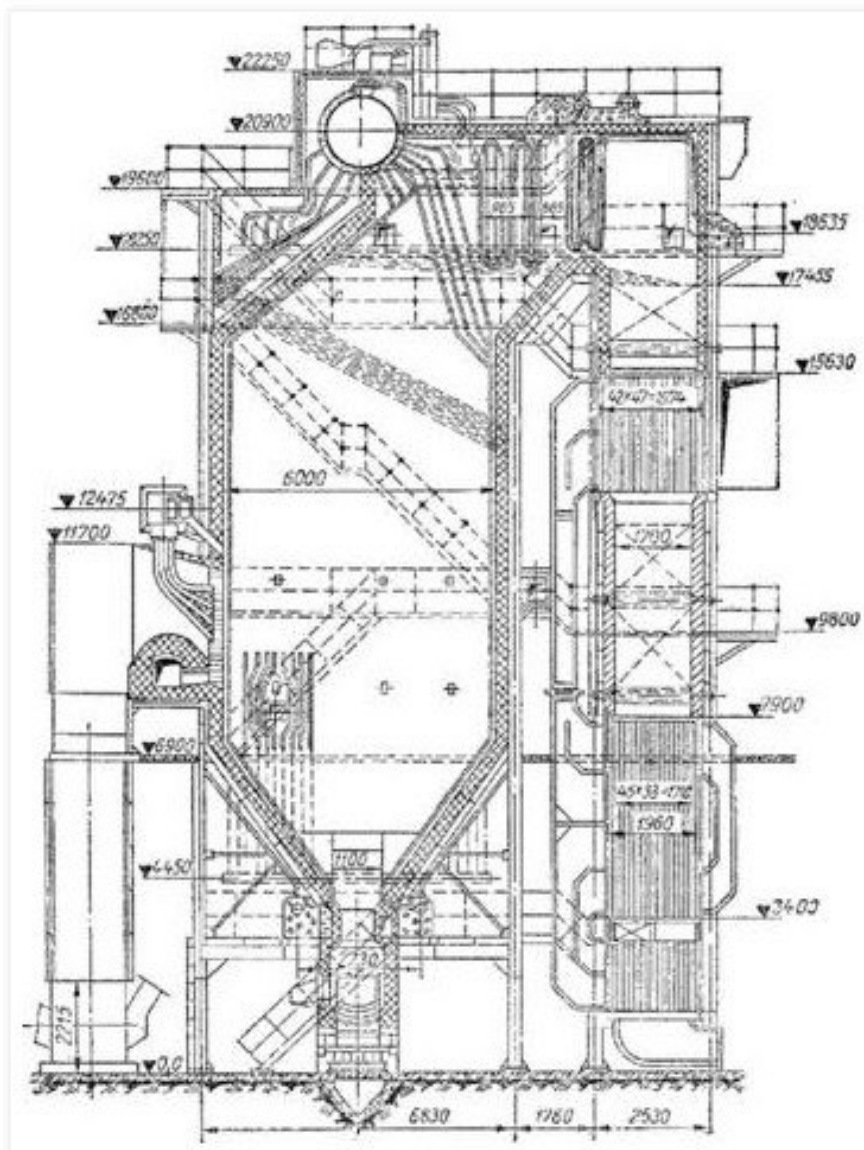
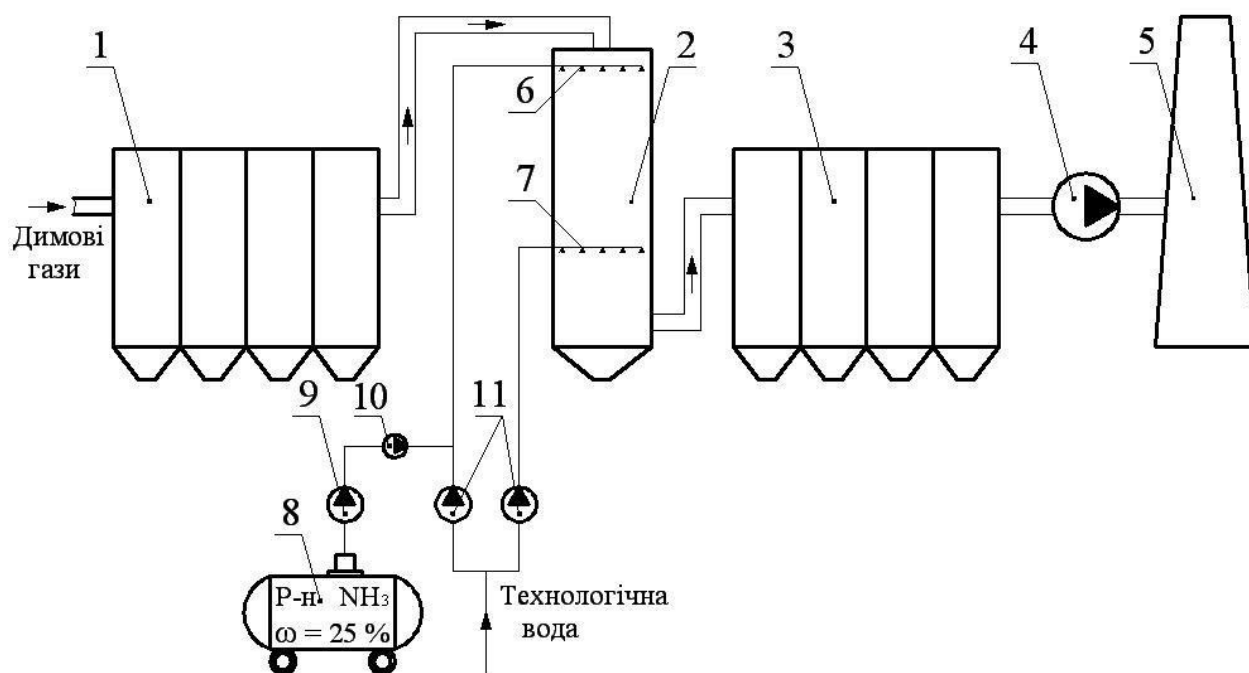


Рис. 8. Схема паливного котла ТЕЦ цукрового заводу.

Метод напівсухого амонійного пилосірководочищення димових газів з попереднім очищенням димових газів від пилу до концентрації твердих частинок 50-150мг/м<sup>3</sup>, очищення потоку димових газів від сірчастого ангідриду у реакційному обсязі шляхом додавання розчину амоніаку у вигляді дрібнодисперсних крапель, а також стовідсоткове випаровування рідкої фази та охолодження димових газів на виході з реакційного обсягу та подальше очищення димових газів від утворених твердих продуктів сірководочищення, який відрізняється тим, що очищення від сірчастого ангідриду відбувається у 2 стадії, спершу у реакційному об'ємі розбризкується у вигляді крапель розчину амоніаку масовою концентрацією 3-5%, вдругу черге додається у вигляді крапель технологічної води, щоб забезпечити температуру на виході димових газів з реакційного обсягу в межах 60-80°C.



Даний спосіб відбувається за наступним алгоритмом (Рис.3.3): вихідні гази від джерела постачання (котельний агрегат, агломераційна установка) йдуть до першого пилоуловлювача (1), де проходить очистка від твердих частин до вмісту їх у димових газах 50-150мг/м<sup>3</sup>. Потім вихідні гази потрапляють до реактора-абсорбера (2), де у процесі напівсухого сірководочищення поглинається сірчастий ангідрид та утворюються сухі продукти сірководочищення. Поглинання відбувається завдяки розпиленню 3-5% розчину амоніаку за допомогою форсунок (6). Витрата 3-5% розчину має бути такою, щоб забезпечити стехіометричне відношення  $NH_3/SO_2 = 1,5-2,0$ . Це все завдяки змішуванню 25% розчину амоніаку при транспортуванні у амоніаковозі (8) та завдяки насосу подачі 25% розчину амоніаку (9), насоса-дозатора 25% розчину амоніаку (10) з водою. При використанні даного методу частина амоніаку із розчину йде у вихідні гази, тому до реактора-абсорбера (2) за допомогою форсунок (7) розпилюється технологічна вода, яка абсорбує амоніак, що перевтілюється у газову фазу, та залишки сірчастого ангідриду. Сумарні витрати розчину та технологічної води повинні забезпечувати повне випаровування рідкої фази на виході з реактора-абсорбера. Після реактора-

абсорбера утворюється сухий субпродукт сіркоочищення, який уловлюється у другому пиловловлювачі (3), а очищені димові гази через димосос (4) виходять викидами у димову трубу (5).

Для розрахунку підберемо твердопаливний котел ТЕЦ цукрового заводу, який працює на газовому вугіллі.

#### Склад палива

C - 60,7%	N – 1,1%	S – 3,3%	
H – 4,0%	O – 5,8%	Ash – 18,1%	Water – 7%

Розрахуємо теоретичну кількість необхідного повітря для згорання 1 кг палива м<sup>3</sup>/кг:

$$V^0 = 60,4 * 0,8889 + 4 * 0,265 + 0,33 * (3,3 - 5,8) = 6,37$$

Теоретичний об'єм сухих газів отриманих від згорання 1 кг твердого палива:

$$V_{DFG}^0 = 0,0187 * (60,7 + 0,375 * 3,3) + 0,79 * 6,37 + 0,008 * 1,1 = 6,20$$

Повний об'єм сухих газів буде більше теоретичного на кількість надлишкового повітря, відповідно повний об'єм сухих димових газів:

$$V_{FGD} = 6,20 + (1,4 - 1) * 6,37 = 8,75$$

Повний теоретичний об'єм парів у димових газах від спалювання 1 кг палива

$$V_{H_2O} = 0,111 * 4 + 0,0161 * 6,37 * 14 + 0,0124 * 7 = 0,67 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Питомий об'єм димових газів, отриманих від згорання 1 кг твердого палива:

$$V_{DFG} = 8,75 + 0,67 = 9,43 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Твердопаливний котел ТЕЦ цукрового заводу споживає  $B = 10$  т/год палива.

Теоретичний об'єм сухих газів отриманих від згорання твердого палива для котла :

$$G_{DFG} = 10000 * 8,75 = 87500 \text{ Нм}^3/\text{год}$$

$$G_{DFG} = (273 + 15) / 273 * 87500 = 92307,69 \text{ м}^3/\text{год}$$

Фізична витрата димових газів після котлоагрегату:

$$V^{FG} = 10000 * 9,43 = 94300 \text{ Нм}^3/\text{год}$$

Практична витрата димових газів після котлоагрегату:

$$V^{FG} = 92307,69 / 8,75 = 10549,45 \text{ м}^3/\text{год}$$

### 2.1.1 Обчислювання шкідливих викидів та парникових газів в атмосферу при використанні різних видів вугілля.

Витрата вугілля за годину – В (т);

Нижча робоча теплота згорання вугілля –  $Q_{r i} = 20,47$  МДж/кг.

Показники емісії забруднюючих речовин:

$k_{NO_x} = 100,90$  г/ГДж;

$k_{CO} = 1871,5$  г/ГДж;

$k_{CO_2} = 93740,0$  г/ГДж;

$k_{N_2O} = 1,4$  г/ГДж;

$k_{CH_4} = 1,0$  г/ГДж;

$k_{НМЛОС} = 600,0$  г/ГДж;

$k_{сажі} = 2305,9$  г/ГДж;

$k_{SO_2} = 2506,0$  г/ГДж.

$10^{-6} = 0,000001$

Витрата кам'яного або бурого вугілля за рік при роботі печей складає:  $V = 10,0$  т

1. Валовий викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок (Сажа) (код 3004):  $E_{сажі} = 10^{-6} k_{сажі} Q_{r i} V = 10^{-6} * 2305,9 * 20,47 * 10,0 = 0,472$  т

2. Валовий викид оксиду азоту (у перерахунку на діоксид азоту) (код 4001):  $E_{NO_x} = 10^{-6} k_{NO_x} Q_{r i} V = 10^{-6} * 100,9 * 20,47 * 10,0 = 0,021$  т

3. Валовий викид азоту оксиду (код 4002):  $E_{N_2O} = 10^{-6} k_{N_2O} Q_{r i} V = 10^{-6} * 1,4 * 20,47 * 10,0 = 0,0003$  т 1.

4. Валовий викид сірки діоксиду (код 5001):  $E_{SO_2} = 10^{-6} k_{SO_2} Q_{r i} V = 10^{-6} * 2506,0 * 20,47 * 10,0 = 0,513$  т

5. Валовий викид оксиду вуглецю (код 6000):  $E_{CO} = 10^{-6} k_{CO} Q_{r i} V = 10^{-6} * 1871,5 * 20,47 * 10,0 = 0,383$  т 2.

6. Валовий викид неметанових летких органічних речовин (НМЛОС) 3. (код 11000):  $E_{НМЛОС} = 10^{-6} k_{НМЛОС} Q_{r i} V = 10^{-6} * 600,0 * 20,47 * 10,0 = 0,123$  т

7. Валовий викид метану (код 12000):  $= 10^{-6} k_{CH_4} Q_{r i} V = 10^{-6} * 1,0 * 20,47 * 10,0 = 0,0002$  т 4.

8. Валовий викид діоксиду вуглецю (код 7000):  $E_{CO_2} = 10^{-6} k_{CO_2} Q_{r i} V = 10^{-6} * 93740,0 * 20,47 * 10,0 = 19,188$  т

### 2.1.2. Обчислювання реактора, концентрації діоксиду сірки, втрат димових газів та амоніаку, порошок сульфату амонію, як вторинний продукт в результаті очистки газів та економічна складова.

#### *Обчислювання реактора.*

Проведемо розрахунки реактора для очищення газових викидів при спалюванні  $V = 10$  т/год газового вугілля.

Візьмемо за вихідні дані:

Кількість реакторів – 1 шт.

Питома витрата газів ( $q_r$ ) – 9,2 нм<sup>3</sup>/кг.,

Час перебування димових газів ( $t$ ) – 5с.,

Діаметр реактора ( $D_k$ ) – 4 м.,

Обчислимо витрату димових газів при 90 °С:

$$Q_{90C} = \frac{Q_g * 1000}{3600} * q * 273 + 90 = 37,38 \text{ м}^3/\text{с}$$

Знайдемо площу перерізу:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 12,57 \text{ м}^2$$

Звідки ми маємо можливість знайти лінійну швидкість газів:

$$V = Q_{90C} / S = 2,97 \text{ м/с}$$

та висоту реактора:

$$H = V * t = 14,87 \text{ м} = 15 \text{ м.}$$

*Обчислення концентрації сірки з котлу та ефективність зв'язування.*

Вміст сірки у газовому вугіллі становить –  $SO_2 = 3,3\%$

Показник емісії  $k_{SO_2} = 2506,0$  г/ГДж

Знайдем концентрацію діоксиду сірки після котла:

$$C = \frac{k_{so2}}{\frac{V_{d2}}{Q_i}} = 7000 \text{ мг/нм}^3$$

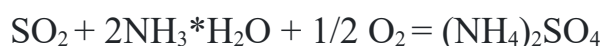
Концентрацію діоксиду сірки на трубах приймаємо -  $C_m = 175$  мг/нм

В результаті, ефективність зв'язування для подальшого визначення витрат:

$$\delta = \frac{C - C_m}{C} * 100 = 97 \%$$

***Обчислення виходу діоксиду сірки, витрати амонію та амонійної води.***

Встановлено, що  $M(SO_2)$  – молярна маса діоксиду сірки дорівнює 64,0638г/моль. Оскільки відсоткове відношення сірки ( S ) - 3,3% у паливі нашого котла, то маса сірки складає, 33г на 1кг вугілля.  $SO_2 = 66$ г.



$(NH_4)_2SO_4 = 132$  г/моль.  $NH_3 = 17,03052$  г/моль.

$H_2O = 18,01528$  г/моль.  $SO_2 = 64,0638$  г/моль.

$O_2 = 31,9988$  г/моль.

Вихід діоксиду сірки після котла:

$SO_2 * \delta = 64,35$  г/кг.

Обчислюємо масу  $2(NH_3)$  за рівнянням:

$$m2(NH_3) = \frac{m(SO_2) * M(NH_3)2}{m(SO_2)}$$

$NH_3 = 34,19$  г/кг.

Обчислюємо витрату амонійної води (25%):

$$m(NH_4OH) = NH_3 * 4 - NH_4OH = 136,74 \text{ г/кг.}$$

Обчислюємо масу сульфат амонію  $(NH_4)_2SO_4$  за рівнянням:

$$m(NH_4)_2SO_4 = \frac{m(SO_3) * M((NH_4)_2SO_4)}{M(SO_2)}$$

$(NH_4)_2SO_4 = 132,72$  г/кг.

Переводимо витрати в кг/год. (\* В/1000)

-  $SO_2 = 643,5$  кг/год

-  $NH_3 = 341,9$  кг/год

-  $NH_4OH = 1368$  кг/год.

-  $(NH_4)_2SO_4 = 1327$  кг/год

### **Обчислення витрат, економія, збут та підсумок (без операційних витрат)**

Відомо, що плата за викид діоксиду сірки становить 2574,4грн/т., вартість амонійної води (25%) – 5000грн/т., а сульфат амонію коштує 22000 грн/т.

Обчислюємо економію на платі за викид  $SO_2$ , витрати на амонійну воду (25%), а також збут порошку сульфата амонія.

-*економія на платі за викид діоксиду сірки -  $SO_2$ :*

$$(2574,43 * \delta * SO_2)/1000 = (2574,43 * 0,97 * 643,5)/1000 = 1606,95 \text{ грн.}$$

-*витрати на купівлю амонійної води -  $NH_4OH$  (25 %):*

$$(5000 * NH_4OH)/1000 = (5000 * 1368)/1000 = 6840 \text{ грн.}$$

-*збут порошку сульфата амонія -  $(NH_4)_2SO_4$ :*

$$(22000 * (NH_4)_2SO_4)/1000 = (22000 * 1327)/1000 = 29194 \text{ грн}$$

Занесемо всі розрахунки в таблицю 4 та підведемо підсумки.

Параметр	Одиниця	Година	Доба
Витрата вугілля	т	10,00	240,00
Питома витрата сухих димових газів	нм3/кг	9,20	9,20
Витрата димових газів при температурі 90 С	м3/с	37,38	897,08
Витрата димових газів при температурі 90 С	м3/год	134 562,64	3 229 503,30
Кількість реакторів	шт	1,00	1,00
Час перебування в реакторі	с	5,00	5,00
Діаметр реактора	м	4,00	4,00
Площа перерізу	м2	12,57	12,57
Лінійна швидкість газів	м/с	2,97	2,97
Висота реактора	м	14,87	14,87
Вміст сірки	%	3,30	3,30
Концентрація діоксиду сірки після котла	мг/нм <sup>3</sup>	7 000,00	7 000,00
Вихід діоксиду сірки після котла	кг	644,00	15 456,00
Концентрація діоксиду сірки на трубі	мг/нм <sup>3</sup>	175,00	175,00
Ефективність зв'язування	%	97,50	97,50
Витрата амоніаку	кг	333,57	8 005,73
Витрата амонійної води (25%)	кг	1 334,29	32 022,90
Вихід сульфату амонію	кг	1 295,04	31 081,05
Плата за викид діоксиду сірки	грн./т	2 574,43	2 574,43
Вартість амонійної води (25%)	грн./т	5 000,00	5 000,00
Вартість сульфату амонію	грн./т	22 000,00	22 000,00
Затрати на амонійну воду (25 %)	грн/год	6840	164160
Економія на платі за викид SO <sub>2</sub>	грн/год.	1606,95	38566,8
Продаж сульфату амонію	грн/год.	29194	700656
<b>Загальний виграш (без операційних затрат)</b>	<b>грн.</b>	<b>23960,95</b>	<b>575062,8</b>

Для зв'язування SO<sub>2</sub> з подальшим окисленням утворених субпродуктів використовується розчин амоніаку NH<sub>3</sub>×H<sub>2</sub>O.

Водний розчин амоніаку застосовується:

- 1) В сільському господарстві, амонійна вода вноситься при основному прийомі під зяблеву оранку, а весною під передпосівну культивуацію, а також для підживлення просапних культур.
- 2) В тваринництві – при виробництві кормів для їх амонізації.
- 3) В промисловості – амонійна вода використовується в хімічній промисловості для виробництва азотних добрив, азотної кислоти, полімерів, соди, вибухових речовин, при виробництві барвників, в електролітичному виробництві Mn, феросплавів. У холодильній техніці ця речовина застосовується в якості холодоагенту.
- 4) В будівництві – в якості проти антиморозної добавки. На відміну від інших добавок амонійна вода не тільки не визиває корозії арматури, також слугує

анодним інгібітором сталі зберігаючи від корозії в залізобетонних конструкціях.

- 5) В медицині - амонійна вода в 10%-ної концентрації відома під назвою нашатирний спирт.
- 6) При очищенні димових газів в якості вторинного продукту виробляється порошок сульфата амонія  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , який є мінеральним добривом.
- 7) Сульфат амонію, (сірчано-кіслий амоній) — ефективне азотне добриво. Воно забезпечує значний приріст врожаю чаю, жита, картоплі, бавовни, рису, вівсу, цукрового буряку. З успіхом конкурує з кращими азотними добривами. Крім азоту має в своєму складі сірку — необхідний елемент живлення сільськогосподарських культур. Містить 20,8-21% азоту в амонійній формі і до 24% сірки. Забезпечує значний приріст врожаю, характеризується пролонгованою дією та інсектицидними властивостями.
- 8) Це незалежна система від конкретних значень концентрації (3-5%) амоніаку, та знаковим є тільки відповідність концентрації амоніаку вище заданим співвідношенням. Амоніак у газовій фазі реагує з діоксидом сірки та водяною парою у газовій фазі з утворенням аерозолів.

#### ***Обчислювання допоміжного обладнання.***

Допоміжним обладнанням обираємо насос абсорбера  $\text{SO}_2$ .

Обираємо поршневий насос подвійної дії. Ступінь нерівномірності подачі (відношення миттєвої до середньої передбачуваної потужності)  $m = 1.5$ .

Вихідні дані:

Температура амонійної води =  $20^\circ\text{C}$ ;

Тиск =  $0,1 \text{ МПа}$ ;

Витрата амонійної води  $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

Геометрична висота підйому води  $4,5 \text{ м}$ ;

Приймаємо довжину трубопроводу на лінії всмоктування  $10 \text{ м}$ , на лінії нагнітання  $40 \text{ м}$ . На лінії нагнітання є два відведення під кутом  $120^\circ$  і десять відведень під кутом  $90^\circ$  з радіусом повороту, рівним шести діаметрам труби, і два нормальних вентиля. На всмоктувальній ділянці трубопроводу встановлено два прямоочних вентиля, є чотири відведення під кутом  $90^\circ$  з радіусом повороту, рівним шести діаметрам труби.

*а) вибір трубопроводу:*

Для всмоктувального і нагнітального трубопроводу обираємо однакову лінійну швидкість аміачної води  $\omega$ , що дорівнює  $2.9 \text{ м/с}$ . Тоді діаметр рівний:

$$d = \sqrt{4Q/(\pi\omega)} = \sqrt{4 * 1 / (3,14 * 2,9)} = 0,8 \text{ м}.$$

Приймаємо сталевий трубопровід зовнішнім діаметром 810мм і завтовшки стінки 10мм. Тоді внутрішній діаметр  $d = 0,8\text{м}$ . Знаходимо фактичну швидкість води в трубі:

$$\omega = 4Q/i$$

Так як трубопровід сталевий, відповідно корозія незначна.

*б) визначення втрат на тертя і місцеві опори.*

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{0,63 * 0,8 * 1109}{1,25 * 10^{-3}} = 247152,$$

де  $\mu$  - динамічна в'язкість води, Па·с.

Це значення критерію Рейнольдса вказує на турбулентний режим. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо рівною  $2 * 10^{-4}\text{м}$ . Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 * 10^{-4}}{0,8} = 0,0019.$$

Далі одержимо:

$$\frac{560 * 1}{e} = \frac{560 * 1}{0,0019} = 294736,84;$$

$$\frac{10 * 1}{e} = \frac{10 * 1}{0,0019} = 5263,16;$$

$$5263,16 < Re < 294736,84.$$

Таким чином в трубопроводі має місце змішане тертя (виконується умова  $10 \cdot 1/e < Re < 560 \cdot 1/e$ ) і розрахунок  $\lambda$  слід проводити по формулі

$$\lambda = 0,11 \left( e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 * \left( 0,0019 + \frac{68}{247152} \right)^{0,25} = 0,124.$$

При значеннях  $Re > 560 * 1/e$ :  $\lambda = 0,11 e^{0,25}$ .

Сума коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктувальної і нагнітальної ліній.

Для всмоктувальної лінії:

1) Вхід в трубу приймаємо з гострими краями:  $\xi_1 = 0,5$ .

2) Прямоточні вентиля: для  $d = 0,11\text{ м}$ ,  $\xi_\alpha = 0,5$ .

При множенні на поправочний коефіцієнт 0,945 одержуємо  $\xi_2 = 0,52$ .

3) Відведення: коефіцієнт  $A = 1$ , коефіцієнт  $B = 0,09$ ;  $\xi_3 = 0,09$ .

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії

$$\Sigma \xi = \xi_1 + 2 * \xi_2 + 4 * \xi_3 = 0,5 + 2 * 0,52 + 4 * 0,09 = 1,9.$$

$$h_{\Pi} = \frac{\left( \frac{\lambda l}{de} + \Sigma \xi_{m.c.} \right) \omega^2}{2g} = \frac{\left( \frac{0,124 * 10}{0,106} + 1,9 \right) * 0,63^2}{2 * 9,81} = 0,275 \text{ м.}$$

де  $l$ ,  $d_e$  – довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу, відповідно.

Для нагнітальної лінії:

1) Відводи під кутом  $120^\circ$ :  $A = 1,17$ ,  $B = 0,09$ ,

2) Відведення під кутом  $90^\circ$ :  $\xi_2 = 0,09$

3) Вентилі: для  $d = 0,106 \text{ м}$   $\xi_3 = 4,04$ .

4) Вихід з труби:  $\xi_4 = 1$ .

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в нагнітальній лінії

$$\Sigma \xi = 2 \xi_1 + 10 \xi_2 + 2 \xi_3 + \xi_4 = 2 * 0,105 + 10 * 0,09 + 2 * 4,04 + 1 = 10,19.$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії:

$$h_{n.наг} = \left( \frac{0,124 * 40}{0,8} + 10,19 \right) * \left( \frac{0,63^2}{2 * 9,81} \right) i = 0,275 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{втр} = h_{n.вс} + h_{n.наг} = 0,275 + 0,275 = 0,55 \text{ м.}$$

в) *вибір насоса:*

Напір насоса:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_z + h_{втр} = \frac{0,1 * 10^6}{1109 * 9,81} + 4,5 + 0,55 = 14,25 \text{ м. вод. ст.},$$

де  $p_1$  – тиск в апараті, з якого перекачується рідина,  $p_2$  – тиск в апараті, в який подається рідина, різниця тисків ( $p_2 - p_1$ ) дорівнює надмірному тиску, Па;  $H_z$  – геометрична висота підйому рідини.

Напір до 40м при заданій продуктивності забезпечується відцентровими насосами.

Корисна потужність:

$$N_n = \rho * g * Q * H = 1109 * 9,81 * 1 * 14,25 = 155 \text{ кВт.}$$

Приймаючи к.к.д. передачі  $\eta_{пер} = 1$  і  $\eta_H = 0,6$  (для відцентрового насоса середньої продуктивності), потужність на валу двигуна дорівнює:

$$N = \frac{N_n}{\eta_n * \eta_{nep}} = \frac{155}{0,6 * 1} = 258 \text{ кВт.}$$

За даним подачі і напору більше всього відповідає відцентровий насос 1Д 630-125а, для якого  $Q = 550 \text{ м}^3/\text{год.}$ ,  $H = 101 \text{ м}$ ,  $\eta_n = 0,6$ .

з) Технічна характеристика рукавного фільтра ФРІР-7700:

- Продуктивність по очищенню газу до 570 000 м<sup>3</sup>/год
- Питоме газове навантаження дол 1,23 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>\*хв.
- Площа поверхні фільтрації -7700 м<sup>2</sup>
- Концентрація пилу на вході у фільтр не більше 10 г/м<sup>3</sup>
- Концентрація пилу на виході з фільтру не більше 0,01 г/м<sup>3</sup>
- Гідравлічний опір фільтра не більше 3000 Па
- Витрата стисненого повітря не більше 6,3 нм<sup>3</sup>/хв.
- Тиск підведеного стисненого повітря 0,4 ÷ 0,6 МПа• Кількість фільтрувальних рукавів - 2880шт.
- Кількість фільтрувальних рукавів 2880 шт.
- Довжина фільтрувальних рукавів зовнішнім діаметром 139 мм довжина 6300 мм

Матеріал рукавів needlonaR PPS/PPS 554 glaze CS31

робоча температура плюс 190°C

максимальна температура плюс 200°C

## **2.2 Поглинання діоксиду сірки амоніаком у газовій фазі.**

### **2.2.1 Алгоритм проведення експерименту.**

Основна мета дослідження розглянути процес поглинання діоксиду сірки амоніаком газовій фазі в присутності водяної пари. Так як у напівсухих технологіях десульфуризації з використанням розчину амоніаку, як сорбенту, частково проходить процес десорбції амоніаку з крапель розчину у газову фазу. В дані роботі описані декілька експериментальних досліджень, завдяки яким був досліджений процес поглинання діоксиду сірки у газовому середовищі, що містить амоніаку та водяну пару.

## 2.2.2 Схема та опис експериментальної установки

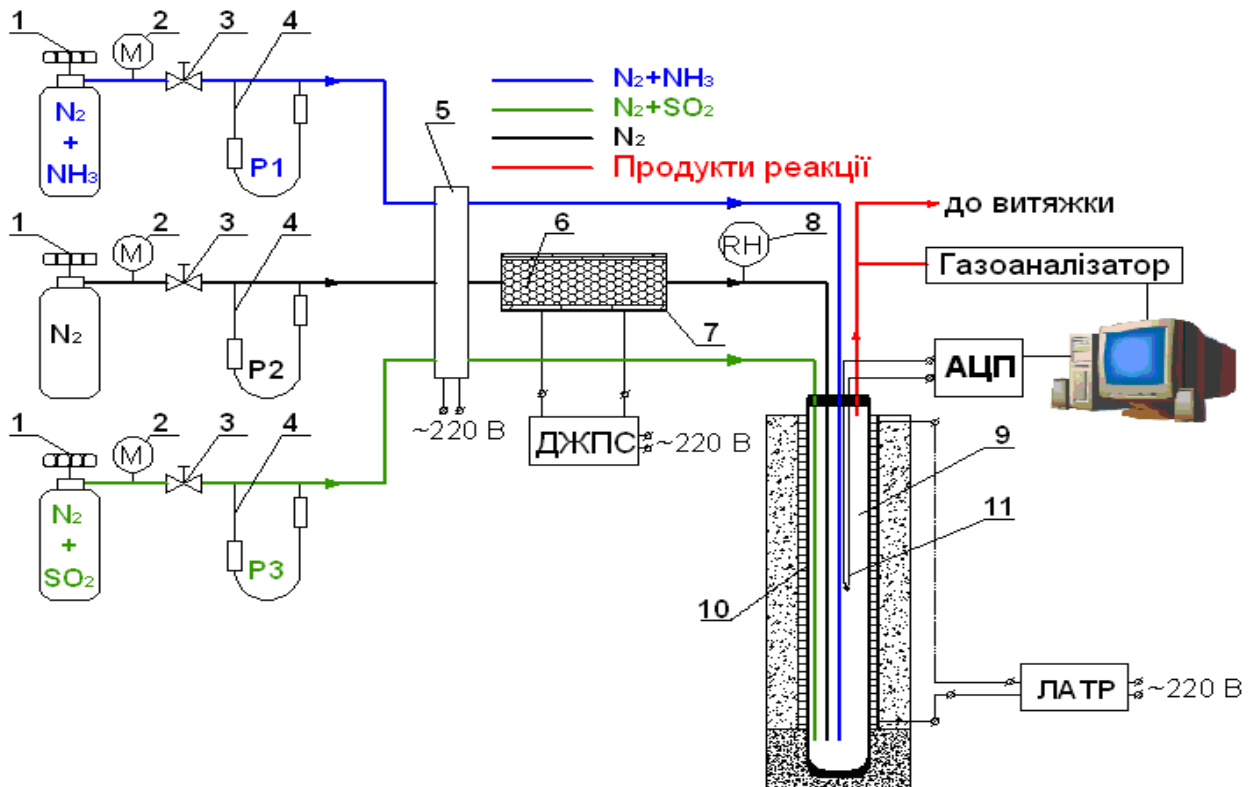


Рис. 9. Схема експериментальної установки

1 – балони з азотом та сумішами; 2 – редуктори; 3 - клапани тонкого регулювання; 4 - реометри; 5 – підігрівник газу; 6 – випарник; 7 – нагрівник випарника; 8 – вологомір; 9 - реактор; 10 – нагрівач реактора; 11 - термопара;

Для реалізації даного алгоритму була прийнята експериментальна установка, схема якої відображена на Рис 9. Основою установки є реактор (9), що уявляє собою скляний стакан з обмоткою ніхромовим дротом (10) для його підігріву та теплоізоляцією. Модельні гази азот з діоксидом сірки  $N_2 + SO_2$  та азот з амоніаком, а також чистий азот  $N_2$  з балонів 1 через редуктори (2) та крани 3 подаються на реометри (4), де вимірюється витрата кожного виду газу.

Після того, як ми визначемо витрати, гази подаються до підігрівника газу (5) у якому розділені потоки газів підігріваються. Далі модельні гази  $N_2 + SO_2$  та  $N_2 + NH_3$  направляються до реактора. Чистий азот проходить через камеру зволоження (6), де азот змішується з водяною парою.

Камера зволоження має підігрівник (7), який регулюється джерелом живлення постійного струму (ДЖПС) для інтенсифікації процесу та зменшення падіння температури газу. Вологість потоку азоту контролюється вологоміром (8). У реакторі відбувається процес поглинання діоксиду сірки амоніаком у вологих умовах. Температура у реакторі контролюється термопарою (11) та регулюється вольтметром (12) за величиною напруги на клеммах лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).

### 2.2.3 Основні параметри експериментів та система вимірювань.

Основні параметри експериментів:

**Модельні гази:**

– сертифікована робоча еталонна газова суміш  $SO_2 - N_2$ . Випускається згідно з ТУ У 24.1-02568182-001:2005 і є державним стандартним зразком газової суміші ДСЗУ 021.340-02 (аналог ГСО 4039-87).

– сертифікована робоча еталонна газова суміш  $NH_3 - N_2$ . Випускається згідно з ТУ У 24.1-02568182-001:2005 і відповідає вимогам ДСТУ 3214-2003.

– азот газоподібний технічний. Випускається згідно ГОСТ 9293-09.

**Об'ємна концентрація  $SO_2$  та  $NH_3$  в модельних газах:**

У балоні №38549 з робочою еталонною газовою сумішшю об'ємна концентрація  $SO_2$  становить 2008 ppm;

У балоні № 70600 з робочою еталонною газовою сумішшю об'ємна концентрація  $NH_3$  становить 4419 ppm

У процесі кожного дослідження вимірювалися такі параметри: витрати кожного з модельних газів, температура азоту у випарнику, температура точки роси та відносної вологості азоту після випарника, температура кожного з модельних газів перед реактором, концентрація  $SO_2$  на виході з реактора.

**Витрати модельних газів** вимірювалися сертифікованими приладами (реометрами) РДС-4 та РДС-6 ГОСТ 9932-75 з використанням заводського градування повітрям при 20°C і 760 мм рт. ст.

**Вимірювання концентрацій  $SO_2$**  відбувалось до проведення експерименту пропусканням через реактор тільки модельного газу з діоксидом сірки так і під час проведення експерименту один раз в секунду в масштабі поточного часу газоаналізатором Testo 350 з межами вимірювань  $SO_2 - 0-5000$  ppm. Дані вимірювань заносились в спеціальну програму Testo Easy Emission, яка дозволяє працювати в реальному часі та зберігає результати вимірювань для подальшої обробки.

**Вимірювання розподілу температур у реакторі** на запропонованій установці відбувається у автоматичному режимі завдяки хромель-алюмелевим термопарам (тип К) з окремо розташованим холодним спаєм, з діапазоном вимірювання температури від 0 до 1100°C. Термопари встановлені у тракт підводу газів до реактора, у нижній частині реактора та у центральній частині реактора. Сигнали з термопар подаються до аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і далі до комп'ютера. Вимірювальна система оснащена модулями дискретного та аналогового вводу-вивіду серії I-7000, які виробляє ICP DAS Inc. Серія I-7000 це сімейство мережних модулів для отримання даних та їх контролю. Вони забезпечують аналого-цифрове і цифро-аналогове перетворення, цифровий ввід-вивід та інші важливі функції. Модулі керуються он-лайн з будь-якого місця за допомогою портативного комп'ютера. Для передачі даних у комп'ютер через порт стандарту RS-232 (COM-порт) використовується конвертор шини. У даному випадку в якості АЦП використовується модуль I-7018, а в якості конвертора – модуль I-7520.

**Вимірювання температури точки роси та відносної вологості азоту після випарника** виконується за допомогою вимірювача вологості та температури ІІ2-ДВТ разом з цифровим датчиком ДВТ-001ц та перетворювачем інтерфейсу зв'язку USB В RS485. Вимірювальний елемент ДВТ-001ц складається з датчика вологості, датчика температури, блоку підсилення та перетворення сигналу у цифровий код. З робочими діапазонами від 0 до 100 % відносної вологості та від -35 до +120 °С для температури.

## **2.3 Проведення дослідів комплексної реакції між діоксидом сірки та амоніаком на прикладі установки напівсухого газоочищення.**

### **2.3.1 Алгоритм проведення експерименту.**

З метою отримання розвернутого результату поглинання амоніаком діоксиду сірки проведено низку дослідів, в яких у гарячий газовий потік, що містить діоксид сірки, за допомогою розпилючої форсунки додається розчин амоніаку. В результаті поглинання діоксиду сірки брали участь амоніак, що розчинений у краплях води, та і амоніак, який перейшов у газову фазу.

Досліджувальна установка очищення димових газів від діоксиду сірки (рис. 10), є вертикально розташований циліндричний реактор висотою 2600мм, внутрішнім діаметром 320мм. До вихідного патрубку реактора під'єднаний димосос, що створює рух повітря через реактор в вихідну трубу. Швидкість повітря в реакторі регулюється зміною прохідного перетину каналу. Забір повітря здійснюється безпосередньо з приміщення, де розташований реактор, викид - в тракт димососа і далі в вихідну трубу. Підігрів повітря відбувається за допомогою електропечі, яка представляє собою керамічну трубу, в якій розташовані нагрівники - з'єднані паралельно карбідо-кремнієвих стрижні, опором 2 Ом кожен. Реактор і тракт подачі гарячого повітря зовні теплоізолювані. Діоксид сірки подається до тракту повітря з балону після електропечі.

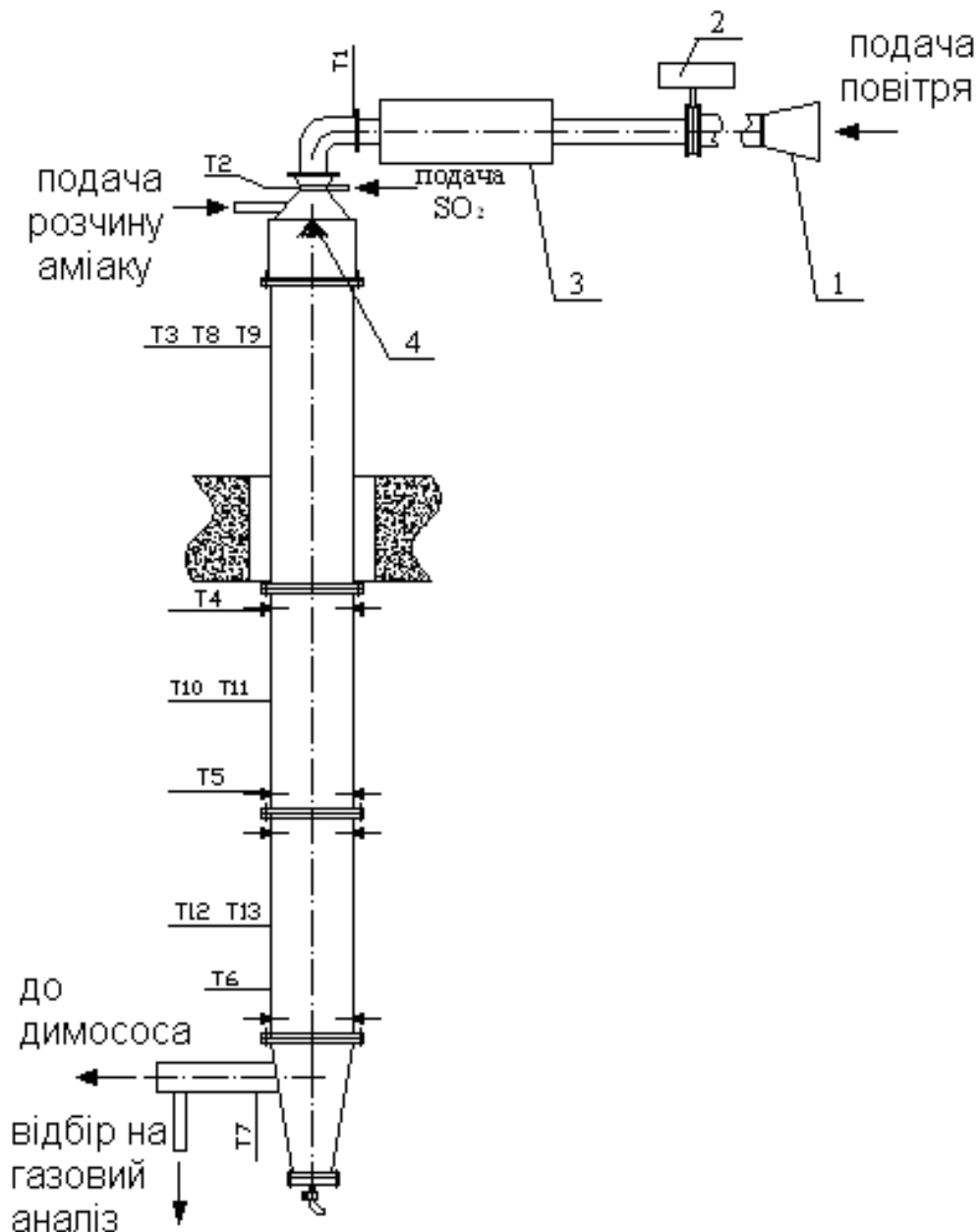


Рис. 10. Схема експериментальної установки напівсухого очищення  
 1 – регулятор витрати повітря, 2 – мікроманометр, 3 – електродіод для нагріву повітря, 4 – форсунка подачі розчину амоніаку, T1-T13 – термопари.

### 2.3.2 Основні параметри експериментів та система вимірювань

#### *Система вимірювань:*

При дослідженні вимірювалися наступні параметри: витрата повітря через реактор, температура газового потоку після електродіоди, температура після введення діоксиду сірки, температура у реакторі по ходу газового потоку, температура стінок реактора, температура теплоізоляції та вихідна температура з реактора, концентрація діоксиду сірки на виході з реактора.

#### *Діоксид сірки:*

– діоксид сірки ( $SO_2$ ) чистота у балоні 99,9% Випускається згідно з ГОСТ 2918-79.

**Витрата повітря** вимірювалася за допомогою вимірювальної діафрагми, встановленої на вхідному патрубку забору повітря.

Об'ємна витрата повітря через діафрагму залежно від перепаду тиску на ній становить:

$$V_{\text{повітря}}^{\partial} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot F_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_{\partial}}}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрати;

$\varepsilon$  – множник, що враховує розширення газу при проходженні його через звужуючий пристрій;

$F_0$  – площа отвору діафрагми, м<sup>2</sup>;

$\Delta p$  – перепад тиску на діафрагмі, Па;

$\rho_{\partial}$  – густина газу перед діафрагмою, кг/м<sup>3</sup>.

Величини  $\alpha$  і  $\varepsilon$ , а також різні поправочні коефіцієнти до них вибираються по діаметру прохідного перетину діафрагми.

В даній дослідній установці діафрагма встановлена на вхідному трубопроводі діаметром 100 мм, діаметр отвору діафрагми вибраний рівним 45 мм. В цьому випадку розрахункова залежність витрати від перепаду тиску рівна:

$$V_{\text{повітря}}^{\partial} = 0,001409 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_{\partial}}}$$

В результаті тарування діафрагми за допомогою ротаційного лічильника газу ця залежність уточнена:

$$V_{\text{повітря}}^{\partial} = 0,0015 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_{\partial}}}$$

Перепад тиску вимірюється мікроманометром типу ММН–240 з похилою трубкою згідно співвідношення:

$$\Delta p = 0,001 \cdot l \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \beta$$

де  $l$  – довжина стовпа рідини, відлічувана по шкалі приладу, мм;

$\rho$  – густина рівноважної рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/сек<sup>2</sup>;

$\beta$  – кут нахилу вимірювальної трубки мікроманометра.

**Витрата розчину амоніаку** визначалася по зменшенню маси речовини за певний час. Час подачі сорбенту фіксувався за допомогою годинника. Якщо сорбент не використано, маса залишку визначалася методом вимірювання залишкової маси.

**Витрата діоксиду сірки** вимірювалася реометром РДС-4 ГОСТ 9932-75 з можливістю градуювання повітрям при 20°C і 760 мм рт. ст.

**Вимірювання розподілу температур у реакторі** на дослідженій установці відбувається у автоматичному режимі. Установку оснащена термопарами мідь-константан (тип Т) з окремо розташованим холодним спаєм, які дозволяють міряти температуру у діапазоні від – 200 до +350°C. Сигнали з термопар подавалися до

аналого-цифрового перетворювача і далі до комп'ютера. У даному випадку в якості аналого-цифрового перетворювача використовується модуль I-7000 –ої серії.

**Вимірювання концентрації  $SO_2$** , відбувалося двома діями перед проведенням експерименту, а саме до початку введення розчину амоніаку так і під час проведення дослідження один раз в секунду в масштабі поточного часу газоаналізатором Testo 350 з межами вимірювань  $SO_2$  – 0-5000ppm. Дані вимірювань заносились в спеціальну програму Testo Easy Emission, яка дозволяє працювати в реальному часі та зберігає результати вимірювань для подальшої обробки.

## 2.4 Похибки при проведенні досліджень

### *Похибка концентрації газової компоненти у робочих еталонних газових сумішах*

Балон №38549 –  $SO_2$  2008 ppm абсолютна розширена невизначеність 90 ppm з коефіцієнтом охоплення згідно сертифікату на повірочну газову суміш №1382-44/15

Балон №72634 -  $SO_2$  1978 ppm абсолютна розширена невизначеність 80 ppm з коефіцієнтом охоплення 2 згідно сертифікату на повірочну газову суміш № 3011-44/15

Балон №70600 -  $NH_3$  4419 ppm абсолютна розширена невизначеність 220 ppm з коефіцієнтом охоплення 2 згідно сертифікату на повірочну газову суміш № 1383-44/15

Балон №70177 – діоксид сірки технічний за фізико-хімічними показниками повинен відповідати нормам згідно ГОСТ 2918-79;

### *Похибка вимірювання витрати модельного газу.*

Похибками вимірювання даної величини є:

- похибка реометра, де межа приведеної допустимої похибки реометра при градуюванні на середовищі, що зазначено на шкалі, на будь-який позначці шкали в діапазоні вимірювань від 30 до 100% верхньої межі вимірювання повинен бути не більше  $\pm 2\%$ .

- різниця між модельним газом ( $N_2$  -99,8%  $SO_2$  – 0,2 %) та повітрям ( $N_2$  -79%  $O_2$  – 21 %) (газом по якому проводилось градуювання). Беручи до уваги, що вміст діоксиду сірки є незначним для модельного газу динамічна в'язкість прийнята, як в'язкість чистого азоту, яка при температурі 20 °C та 760 мм рт. ст. становить  $17,66 \cdot 10^{-6}$  Па·с, а в'язкість повітря при тій же температурі  $18,22 \cdot 10^{-6}$  Па·с.

Витрату модельного газу становить:

$$V_{\text{реальна}} = V_{\text{реометра}} \cdot \frac{\eta_{N_2}}{\eta_{\text{повітря}}} = 1,2 \cdot \frac{17,66 \cdot 10^{-6}}{18,22 \cdot 10^{-6}} = 1,16 \text{ л/хв.}$$

З даного рівняння визначає відносну похибку, що становить

$$\delta = \frac{|V_{\text{реальна}} - V_{\text{реометра}}|}{V_{\text{реальна}}} \cdot 100\% = \frac{|1,16 - 1,2|}{1,16} \cdot 100\% = 3,45\%$$

***Похибки при визначенні початкового складу, кількості та концентрації сорбенту у розчині***

Похибки при визначенні даних величин першочергово залежать від мірних інструментів, чистоти 25 % розчину амоніаку, що використовуються для приготування робочих розчинів.

Допустима похибка від номінального вмісту для мірної колби 1000мл 2-го класу точності при 20°C становить не більше 0,8мл, а для мірного циліндру 100 мл, 1-го класу точності при 20°C становить не більше 0,5мл. Для піпетки 1мл 2-го класу точності при 20°C допустима похибка від номінального вмісту становить 0,01мл.

Чистота 25% розчину амоніаку марки «чда» повинна відповідати ГОСТ 3760-79.

***Похибка вимірювання відносної вологості та температури***

Датчик ДВТ-001ц має такі похибки вимірювання: для температури в діапазоні -20-80 °C ±1,5 та для відносної вологості в діапазонах : 0-10% ±5; 10-20% ±4; 20-80%±3,5; 80-90% ±4; 90-100% ±5.

## **РОЗДІЛ 3. ЗАХОДИ ЩОДО ВИКОНАННЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ПЛАНУ СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ, ЯК ШЛЯХ ДО ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ НИЗЬКОЕМІСІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.**

### **3.1. Національний план скорочення викидів.**

Україною, як членом Енергетичного Співтовариства з 1 лютого 2011 року, прийнято зобов'язання дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та додатків до нього. Згідно з Додатком II до Договору всі великі спалювальні установки після 31 грудня 2017 року мають відповідати вимогам Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин у повітря від великих спалювальних установок (далі - Директива 2001/80/ЄС).

Термін часу, що залишився до введення в дію вимог Директиви 2001/80/ЄС, поточний стан обладнання існуючих великих спалювальних установок в Україні, кількість яких перевищує 220, значний обсяг робіт та обмежені фінансові ресурси операторів, що обслуговують великі спалювальні установки, не дозволяють Україні вчасно виконати вимоги Директиви 2001/80/ЄС. Через недотримання вимог українського екологічного законодавства переважна більшість великих спалювальних установок має бути виведена з експлуатації, що призведе до зменшення наявних потужностей в національній енергетичній системі та зниження виробітку електричної і теплової енергії. Можливість для України тимчасового відступу від вимог Директиви 2001/80/ЄС (згідно зі статтею 4) шляхом впровадження Національного плану скорочення викидів має суттєве значення для енергетичної безпеки держави.

Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди (далі - Директива 2010/75/ЄС), що прийнята на зміну Директиви 2001/80/ЄС, внесено принципові зміни до чинного законодавства ЄС. Одна з найбільш важливих змін полягає у більш жорстких допустимих граничних значеннях викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та пилу від великих спалювальних установок. Ці вимоги набувають чинності в країнах ЄС для великих спалювальних установок з 1 січня 2016 року. При цьому країнам ЄС дозволяється застосування перехідного національного плану (стаття 32 Директиви 2010/75/ЄС) з пролонгацією строку досягнення деякими спалювальними установками вимог Директиви 2010/75/ЄС до 30 червня 2020 року. Згідно з рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 24 жовтня 2013 року вимоги Директиви 2010/75/ЄС набувають чинності в Енергетичному Співтоваристві для великих спалювальних установок після 31 грудня 2027 року.

### **3.2. Мета розробки Національного плану скорочення викидів.**

Метою НПСВ є поступове скорочення викидів SO<sub>2</sub>, оксидів азоту (далі - NO<sub>x</sub>) та речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за

складом, (далі - пил) від існуючих великих спалювальних установок, номінальна теплова потужність яких становить 50 МВт і більше, а перший дозвіл на викиди або дозвіл на проектування установки видано до 01 липня 1992 року. Після завершення терміну дії Національного плану скорочення викидів всі спалювальні установки мають відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС по викидах перелічених вище забруднюючих речовин.

Для операторів, які експлуатують спалювальні установки, Національний план скорочення викидів встановлює обмеження річних граничних обсягів викидів щонайменш по одній із таких забруднюючих речовин: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і пил.

Національний план скорочення викидів як документ представляє наміри України, як члена Енергетичного співтовариства, суттєво скоротити викиди від існуючих великих спалювальних установок. Відповідно до пункту 11 Висновків засідання Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 24 жовтня 2013 року - "на прохання України Рада Міністрів прагнучим розглянути рішення на основі статті 24 Договору про заснування Енергетичного Співтовариства і врахувати конкретну ситуацію цієї Договірної Сторони, що стосується здійснення *acquis communautaire* (спільного доробку) зі скорочення викидів від існуючих великих спалювальних установок". Національний план скорочення викидів визначає наміри України, як члена Енергетичного Співтовариства, суттєво скоротити викиди від існуючих великих спалювальних установок.

Національний план скорочення викидів поширюється на великі спалювальні установки, оператори яких добровільно прийняли рішення взяти участь у цьому механізмі відступу від негайного виконання вимог щодо граничних обсягів викидів, які визначено в Директиві 2010/75/ЄС.

Національний план скорочення викидів є базовим документом для міжнародних фінансових інституцій та потенціальних інвесторів, які планують інвестувати в енергетичний сектор України.

### **3.3. Дотримання фактичних показників шкідливих викидів в порівнянні з вимогами Директиви 2010/75/EU для працюючих вугільних агрегатів ТЕС України.**

Забруднююча речовина	Фактична концентрація, мг/н	Директива 2010/75/EU, мг/н
Пил(летка зола)	300-1300	20
Діоксид сірки S	2500-7200	200
Оксид азоту N	600-1800	200

### 3.4. Строк дії Національного плану скорочення викидів

Строк дії Національного плану скорочення викидів з 1 січня 2018 року по 31 грудня 2033 року. Цей строк:

базується на Енергетичній стратегії України на період до 2035 року "Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність", затвердженій розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 року N 605, та визначає плани повної реконструкції всієї енергетичної галузі;

ґрунтується на необхідності забезпечення збалансованості енергетичної мережі України: для забезпечення безперебійного надійного енергопостачання з 90 енергоблоків ТЕС України, які мають у своєму складі найбільші спалювальні установки, одночасно може виводитися щорічно з експлуатації для реконструкції чи заміни не більше 5 енергоблоків. При цьому також враховано, що Об'єднана енергетична система України не синхронізована з ENTSO-E, за виключенням Бурштинського енергетичного острова.

Строк дії Національного плану скорочення викидів (до 31 грудня 2033 року) розповсюджується на реалізацію заходів зі скорочення викидів NO<sub>x</sub> через значну складність і вартість їх впровадження. Для викидів пилу і SO<sub>2</sub> строк дії Національного плану скорочення викидів закінчується 31 грудня 2028 року. Продовження строків для України узгоджено в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства стосовно Договірних Сторін (один додатковий рік для викидів пилу і SO<sub>2</sub> та 6 додаткових років для викидів NO<sub>x</sub>), обумовлено необхідністю забезпечення збалансованості енергетичної мережі України і пояснюється високими витратами на впровадження заходів зі скорочення викидів забруднюючих речовин.

Протягом строку дії Національного плану скорочення викидів оператори мають забезпечити поступове скорочення граничного обсягу викидів від усіх спалювальних установок, які включені до Національного плану скорочення викидів, та досягти нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин та інших вимог, викладених у Директиві 2010/75/ЄС, - до 31 грудня 2028 року для пилу і SO<sub>2</sub> та до 31 грудня 2033 року для NO<sub>x</sub>. Після завершення строків дії Національного плану скорочення викидів оператори великих спалювальних установок мають дотримуватися граничних значень викидів відповідно до вимог Додатку V Директиви 2010/75/ЄС.

Існуючим спалювальним установкам, для яких експлуатуючими їх операторами на основі аналізу техніко-економічних характеристик обладнання встановлено обмежений час експлуатації (до 40000 годин, починаючи з 1 січня 2018 року), дозволяється дотримуватися нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин, встановлених дозволами, які є дійсними на 31 грудня 2017 року. По завершенню зазначеного обмеженого часу експлуатації спалювальні установки мають бути виведені з експлуатації або замінені на нові спалювальні установки, які мають відповідати вимогам Директиви 2010/75/ЄС.

### 3.5. Загальні дані.

На цей час в Україні працює 223 великі спалювальні установки (після групування на одне джерело викидів - димову трубу) загальною номінальною тепловою потужністю 115.89 ГВт.

При цьому:

90 великих спалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 64.814 ГВт включено до Національного плану скорочення викидів, на яких планується забезпечити скорочення викидів забруднюючих речовин шляхом впровадження відповідних заходів;

для 32 вугільних великих спалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 45.420 ГВт операторами надана інформація про заплановані заходи щодо зменшення викидів (вид заходу, термін впровадження);

на 3 існуючих великих спалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 1.785 ГВт планується виконання вимог Директиви 2010/75/ЄС після 1 січня 2018 року;

135 існуючих великих спалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 46.880 ГВт планується вивести з експлуатації до 31 грудня 2033 року, з них:

Сімнадцять існуючих вугільних великих спалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 15.118 ГВт планується вивести з експлуатації до 31 грудня 2033 року та замінити на нові вугільні спалювальні установки. Чотири вугільні великі спалювальні установки номінальною тепловою потужністю 3.694 ГВт будуть виведені з експлуатації до 31 грудня 2023 року, для них буде встановлено обмежений час роботи протягом 20000 годин. Для інших 13 великих спалювальних установок номінальною тепловою потужністю 11.424 ГВт встановлюється обмежений час експлуатації у 40000 годин до 31 грудня 2033 року;

13 газоспалювальних установок загальною номінальною тепловою потужністю 3.401 ГВт планується вивести з експлуатації до 31 грудня 2023 року і замінити на нові вугільні великі спалювальні установки. Для них буде встановлено обмежений час роботи протягом 20000 годин;

для 41 великої спалювальної установки номінальною тепловою потужністю 22.373 ГВт до 31 грудня 2033 року встановлюється обмежений час експлуатації - 40000 годин;

58 газотурбінних установок загальною номінальною тепловою потужністю 4.088 ГВт, які отримали дозвіл на викиди до 27 листопада 2002 року, не включено до додатку 4 Національного плану скорочення викидів (згідно статті 1 Директиви 2001/80/ЄС), але їх планується вивести з експлуатації до 31 грудня 2033 року після 40000 годин роботи, починаючи з 1 січня 2018 року.

Сукупні межі валових викидів установок в НПСВ, т/рік:

Дата	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Пил
31.12.2018	1017034.5	191300.3	205878.2
31.12.2019	920431.5	182133.1	185807.6
31.12.2020	823968.6	172965.8	165737.0
31.12.2021	727225.5	163798.5	145666.3
31.12.2022	630622.5	154631.3	125595.7
31.12.2023	534019.5	145464.0	105525.1
31.12.2024	437416.5	136296.7	85454.5
31.12.2025	340813.5	127129.5	65383.9
31.12.2026	244210.4	117962.2	45313.2
31.12.2027	147607.4	108794.9	25242.6
31.12.2028	51004.4	99627.7	5172.0
31.12.2029	51004.4	90460.4	5172.0
31.12.2030	51004.4	81293.1	5172.0
31.12.2031	51004.4	72125.9	5172.0
31.12.2032	51004.4	62958.6	5172.0
31.12.2033	51004.4	53791.3	5172.0

### **3.6. Установки, які включаються та не включаються до Національного плану скорочення викидів.**

До Національного плану скорочення викидів на основі письмової заяви оператора, яка подається до центрального органу виконавчої влади, що відповідає за діяльність в рамках Енергетичного Співтовариства, до 30 червня 2016 року, включено 90 існуючих великих спалювальних установок номінальною тепловою потужністю не менше 50 МВт, яким було надано перший дозвіл на викиди до 1 липня 1992 року і на яких планується досягти нормативів гранично допустимих викидів для NO<sub>x</sub> згідно з вимогами Директиви 2010/75/ЄС до 1 січня 2034 року та викидів пилу і SO<sub>2</sub> до 1 січня 2029 року.

До Національного плану скорочення викидів не включаються нові спалювальні установки та існуючі спалювальні установки, оператори яких задекларували з 1 січня 2018 року дотримуватися нормативів гранично допустимих викидів для пилу, SO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> відповідно до вимог Додатку V Директиви 2010/75/ЄС.

До Національного плану скорочення викидів також не включаються існуючі спалювальні установки, оператори яких зобов'язалися в письмовій заяві, поданій до Міненерговугілля України, не пізніше 30 червня 2016 року експлуатувати такі установки загалом не більше 40000 годин у період з 1 січня 2018 року до 31 грудня 2033 року. По завершенню зазначеного обмеженого часу експлуатації спалювальні установки мають бути виведені з експлуатації.

### **3.7. Зміни до Національного плану скорочення викидів.**

У разі закриття спалювальної установки, яка включена до Національного плану скорочення викидів, або виключення такої установки з Національного плану скорочення викидів, відповідні значення обсягів викидів повинні бути відняті від величини національних граничних обсягів викидів і, в такому разі, повинні бути внесені необхідні зміни в перелік спалювальних установок України, а також поновлено дані щодо величини національних граничних обсягів викидів всіх забруднюючих речовин. У період дії Національного плану скорочення викидів спалювальна установка може бути виключена з Національного плану скорочення викидів за рішенням оператора. Виключення з Національного плану скорочення викидів установки повинно бути оформлено заявою оператора Міненерговугілля до 1 липня року, який передує року, з початку якого відповідна установка буде виключена з Національного плану скорочення викидів, і доведено до відома Мінприроди. Виключення з Національного плану скорочення викидів означає, що експлуатація спалювальної установки відбуватиметься відповідно до вимог Директиви 2010/75/ЄС і від такої установки вимагається дотримуватись нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин згідно з Додатком V Директиви 2010/75/ЄС.

Установка, яку було виключено із Національного плану скорочення викидів, не може повторно бути включена в Національний план скорочення викидів.

Дані про граничні обсяги викидів спалювальних установок, які включені до Національного плану скорочення викидів, а також дані про операторів спалювальних установок підлягають щорічним оновленням.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.**

### **Загальні правила поведінки працюючих на території підприємства, у виробничих та допоміжних приміщеннях.**

#### **4.1. Загальні правила поведінки працівників на території підприємства.**

Під час входження до приміщення обережно пересуватися сходами, не перебувати біля дверей з боку їх відчинення.

Бути обережними, проходячи біля прозорих стін, скляних перегородок, дверей, щоб запобігти контакту з ними та можливого травмуванню осколками.

Проходячи через двері або ворота, що обертаються, розсувні двері, двері або ворота, що відчиняються догори, бути уважними, щоб уникнути травмування.

На території підприємства ходити пішохідними доріжками.

Робочі місця, проходи, запасні виходи утримувати в чистоті та не загроможувати.

#### **4.2. Основні положення Законів України «Про охорону праці», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», Кодексу законів про працю України.**

##### **4.2.1. Трудовий договір.**

Трудовий договір — угода між працівником і роботодавцем, за якою працівник зобов'язується виконувати роботу, визначену цією угодою, підпорядковуватися внутрішньому трудовому розпорядку, а роботодавець — виплачувати працівнику заробітну плату та забезпечувати умови праці, передбачені законодавством про працю, колективним договором і угодою сторін. Цей договір укладають, як правило, у письмовій формі.

Контракт — особлива форма трудового договору, в якому строк його дії, права, обов'язки та відповідальність сторін, умови матеріального забезпечення й організації праці працівника, умови розірвання договору, зокрема дострокового, можна встановлювати угодою сторін.

Умови контракту, які погіршують становище працівника порівняно з чинним законодавством, угодами й колективним договором, вважають недійсними.

Роботодавець не має права вимагати від працівника виконувати роботу, не обумовлену трудовим договором.

Якщо працівник з'явився на роботі в нетверезому стані, стані наркотичного або токсичного сп'яніння, роботодавець має право звільнити його.

##### **4.2.2. Робочий час і час відпочинку.**

Нормальна тривалість робочого часу не може перевищувати 40 годин на тиждень.

Тривалість роботи напередодні святкових і неробочих днів скорочують на одну годину.

Нічним вважають час з 22 години вечора до 6 години ранку.

При роботі в нічний час установлену тривалість роботи (зміни) скорочують на одну годину.

Тривалість щотижневого безперервного відпочинку має бути не менше ніж 42 години.

Усім працівникам надають щорічні відпустки зі збереженням місця роботи та середнього заробітку. Тривалість щорічної відпустки не може бути менше ніж 24 календарні дні.

#### **4.2.3. Правила внутрішнього трудового розпорядку підприємства, відповідальність за їх порушення.**

Працівник зобов'язаний знати й виконувати вимоги інструкцій з охорони праці і посадових інструкцій; правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користування засобами індивідуального й колективного захисту.

Працівник повинен старанно ставитися до всіх видів навчання, які проводить роботодавець. Якщо він не знає вимог інструкцій, його не мають права залучати до роботи.

Під час роботи працівник повинен користуватися відповідним спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, проходити медичний огляд.

Працівник зобов'язаний співпрацювати з роботодавцем щодо організації безпечних і нешкідливих умов праці. Він має вживати необхідних заходів, щоб усунути будь-яку загрозову виробничу ситуацію, яка може спричинити аварію або нещасний випадок.

Працівник повинен виконувати тільки ту роботу, яку йому доручили; повідомляти своєму керівнику про всі виробничі ситуації, які можуть завдати шкоди життю і здоров'ю працівників, про кожний нещасний випадок, що стався з ним або іншим працівником.

Невиконання працівником його обов'язків є порушенням трудової дисципліни, за яке до нього можуть застосовувати заходи дисциплінарного впливу — догану або звільнення з роботи.

Роботодавець може звільнити працівника за прогул, зокрема за відсутність на роботі понад три години протягом робочого дня без поважних причин та за появу його на роботі в нетверезому стані, стані наркотичного або токсичного сп'яніння.

#### **4.2.4. Система управління охороною праці (СУОП).**

На підприємствах діє СУОП. Основний принцип її функціонування — зв'язок процесу виробництва із засобами та заходами щодо поліпшення безпеки, гігієни праці й виробничого середовища; дотримання виконавчої, трудової і технологічної дисципліни та економічна зацікавленість усіх суб'єктів виробничого процесу в підвищенні безпеки й поліпшенні умов праці.

Усі працівники повинні проходити, крім вступного, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі.

Первинний інструктаж проводять безпосередньо на робочому місці. Тільки після цього інструктажу та відповідного стажування адміністрація може допустити працівника до самостійної роботи.

Періодично працівникам проводять повторний інструктаж з охорони праці й інші види інструктажу.

Працівники, які виконують роботи підвищеної небезпеки, зобов'язані раз на рік проходити навчання та перевірку знань із питань охорони праці в комісії підприємства.

Законодавство передбачає право працівника на захист власного життя та здоров'я.

Закон зобов'язує роботодавця власним коштом організувати медичний огляд (під час прийняття на роботу) та лікарський контроль за станом здоров'я працівників (протягом трудової діяльності).

Обов'язковим медичним оглядам — попередньому та періодичним — підлягають працівники, зайняті на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі, та працівники всіх професій віком до 21 року.

Відповідно до законодавства:

за працівником на час проходження медогляду зберігають місце роботи та середній заробіток;

працівника, який ухиляється від обов'язкового медогляду, роботодавець має право притягнути до дисциплінарної відповідальності та відсторонити його від роботи без збереження заробітної плати.

Працівник зобов'язаний проходити в установленому порядку й терміни медичні огляди та виконувати медичні рекомендації. Він несе відповідальність за несвоєчасне проходження медоглядів та невиконання медичних рекомендацій.

#### **4.2.5. Відшкодування шкоди працівникам у разі ушкодження їхнього здоров'я.**

Відповідно до Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» уся матеріальна відповідальність перед потерпілими за наслідки нещасних випадків на виробництві та профзахворювань перекладена з роботодавця на Фонд соціального страхування України (далі – Фонд).

Якщо настав страховий випадок, Фонд зобов'язаний своєчасно та в повному обсязі відшкодувати шкоду, заподіяну працівнику внаслідок ушкодження його здоров'я або в разі його смерті. Він повинен виплатити потерпілому або особам, яких той утримував:

допомогу у зв'язку з тимчасовою непрацездатністю до відновлення працездатності або встановлення інвалідності в розмірі 100% середнього заробітку

(оподатковованого доходу). При цьому перші п'ять днів тимчасової непрацездатності оплачує власник або уповноважений ним орган коштами підприємства;

одноразову допомогу в разі стійкої втрати професійної працездатності, розмір якої визначають відповідно до ступеня втрати працездатності. При цьому враховують 17 розмірів прожиткового мінімуму для працездатних осіб, встановленого законом на день, коли потерпілий отримав право на страхову виплату. Якщо комісія з розслідування нещасного випадку встановила, що ушкодження здоров'я настало не лише з вини роботодавця, а й внаслідок порушення потерпілим нормативних актів з охорони праці, розмір одноразової допомоги зменшують на підставі висновку цієї комісії, але не більше ніж на 50%;

одноразову допомогу в разі смерті потерпілого його сім'ї у сумі, що дорівнює 100 розмірам прожиткового мінімуму для працездатних осіб, та одноразову допомогу кожній особі, яку утримував потерпілий, а також на його дитину, яка народилася протягом не більше ніж 10-місячного строку після смерті потерпілого, у сумі, що дорівнює 20 розмірам прожиткового мінімуму для працездатних осіб;

щомісячну грошову суму в разі часткової чи повної втрати працездатності, що компенсує відповідну частину втраченого заробітку потерпілого. Суму щомісячної страхової виплати встановлюють відповідно до ступеня втрати професійної працездатності та середньомісячного заробітку, що потерпілий мав до ушкодження здоров'я.

Максимальний розмір щомісячної страхової виплати не має перевищувати 10 розмірів прожиткового мінімуму, встановленого для працездатних осіб.

У разі смерті потерпілого від нещасного випадку або професійного захворювання витрати на його поховання несе Фонд.

#### **4.2.6. Державний нагляд за охороною праці на підприємстві.**

В Україні діє система державного нагляду за охороною праці. До держорганів, які можуть перевіряти малі підприємства, належать:

центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони та гігієни праці, — Державна служба України з питань праці;

центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику з питань нагляду та контролю за додержанням законодавства у сферах пожежної і техногенної безпеки, — Державна служба України з надзвичайних ситуацій;

центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони здоров'я та епідеміологічного нагляду (спостереження), — Міністерство охорони здоров'я України.

Кожний із зазначених органів виконує функції в межах своєї компетенції, яку визначають положення про ці органи.

Посадові особи органів державного нагляду за охороною праці мають право:

безперешкодно у будь-який час відвідувати підконтрольні підприємства, щоб перевірити, чи дотримуються вони законодавства про охорону праці; отримувати від роботодавця необхідні пояснення, матеріали та інформацію з цих питань;

надавати керівникам підприємств обов'язкові для виконання розпорядження/приписи про усунення порушень і недоліків у галузі охорони праці;

зупиняти експлуатацію підприємств, окремих виробництв, цехів, дільниць, робочих місць і обладнання до усунення порушень вимог охорони праці, які загрожують життю або здоров'ю працівників;

притягати до адміністративної відповідальності працівників, винних у порушенні законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці;

надсилати роботодавцям, керівникам підприємств подання про невідповідність окремих посадових осіб займаним посадам, передавати в необхідних випадках матеріали органам прокуратури для притягнення їх до кримінальної відповідальності.

Органи державного нагляду за охороною праці встановлюють, як роботодавцям опрацьовувати й затверджувати положення, інструкції та інші акти з охорони праці, що діють на підприємствах; розробляють типові документи з цих питань.

Контроль з боку Фонду здійснюють страхові експерти з охорони праці. Вони мають право перевіряти стан профілактичної роботи й охорони праці на підприємствах, отримувати від роботодавця пояснення та інформацію про стан охорони праці, вносити подання про порушення відповідного законодавства, виходити з пропозицією про переведення підприємства до більш високого класу професійного ризику виробництва в разі систематичного порушення нормативних актів з охорони праці. Громадський контроль за станом безпеки та гігієни праці здійснює уповноважена найманими працівниками особа з питань охорони праці.

### **4.3. Основні небезпечні й шкідливі виробничі чинники та засоби захисту від них.**

#### **4.3.1. Основні небезпечні та шкідливі виробничі чинники.**

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація» небезпечні та шкідливі виробничі чинники за природою дії поділяють на чотири групи:

фізичні;

хімічні;

біологічні;

психофізіологічні.

### **4.3.2. Характеристика основних шкідливих виробничих чинників.**

До основних чинників, які шкідливо впливають на здоров'я людини протягом трудової діяльності, належать фізичні — пил, газ, теплове й іонізуюче випромінювання, електромагнітні поля, ультразвук, шум, вібрація тощо — та хімічні шкідливі речовини — токсичні й задушливі.

#### **4.3.2.1. Виробничий пил.**

За походженням буває органічного (тваринного або рослинного), неорганічного (металевого або мінерального) походження та змішаний.

Що меншу дисперсію має пил, то більш небезпечним він є, адже спричиняє різні захворювання. Наприклад, коли пил діоксиду кремнію потрапляє в легені, виникають серйозні захворювання — пневмоконіоз, силікоз.

Деякі види пилу, що потрапляють на шкіру чи слизову оболонку очей, спричиняють подразливий або запальний процеси — кон'юнктивіти, дерматити. Особливо це стосується пилу, який має сполуки, що утворюють на вологій поверхні очей або на вологій шкірі розчини кислот чи лугів. Такими подразливими або запальними процесами є, наприклад, дерматити від дії вапна, гострі запалення шкіри при контакті з пилом, пеком, при дії світла тощо.

#### **4.3.2.2. Шум, вібрація.**

Багато виробничих процесів — клепання, штампування, кування, зачищення, робота виробничого обладнання — супроводжуються значним рівнем шуму або вібрації. Вони спричиняють негативну дію не тільки на органи слуху, а й на нервову систему. Людина спроможна відчувати звуки з частотою коливань у межах від 16 до 20 000 Гц. Допустимий рівень шуму в механічних цехах не має перевищувати 80 дБА. Коливання більш низької частоти (менше ніж 16 Гц — інфразвук) та більш високої (понад 20 000 Гц — ультразвук) людина сприймає не як звук, а як вібрацію. Безпосередня дія вібрації наявна при роботі як з ручним інструментом, так і механічним обладнанням ударної дії.

#### **4.3.2.3. Токсичні речовини.**

У звичайних умовах хімічні речовини не небезпечні. Водночас усі вони несуть потенційну небезпеку для здоров'я у разі їх високої концентрації та порушення правил застосування і зберігання.

Будь-яка речовина, яка може шкідливо впливати на біосистему та спричинити серйозні пошкодження або смерть, коли її концентрація досягає в організмі критичної межі, належить до токсичної.

Шляхи проникнення хімічних речовин до організму:

Інгаляція — найпоширеніша форма проникнення, спричиняє понад 90% усіх промислових отруєнь. Коли людина дихає, деякі токсичні речовини потрапляють у легені та розчиняються в крові. Кров'ю вони розносяться по всьому тілу. Токсини можуть впливати на один конкретний орган, наприклад порушувати нормальне функціонування мозку, або ж на весь організм.

Всмоктування через шкіру — другий найбільш значний шлях проникнення токсину у разі, коли він не ізольований. Деякі рідкі та тверді речовини можуть всмоктуватися за безпосереднього контакту з пошкодженою або непошкодженою шкірою. А деякі пари та гази спроможні проникати крізь непошкоджену шкіру так само легко, як при інгаляції через легені.

Проникнення через шлунок — найчастіший спосіб проникнення, коли не дотримуються особистої гігієни під час їжі, куріння. Рідше — коли через порушення зберігання та відсутність маркування токсичні речовини помилково вживають замість солі, цукру, води, спиртних напоїв тощо.

Ін'єкції — найрідкісніша форма отруєння. Може статися за наявності гострих предметів, на поверхні яких є токсини, які внаслідок поранення спроможні проникнути в кров.

#### **4.3.2.4. Задущливі речовини.**

Ці речовини заважають постачанню кисню до організму. З ними пов'язують термін «ядуха» — нестача кисню в тканинах організму. Людина може не здогадуватися, що її організму не вистачає кисню, поки не відчує гострого приступу ядухи. Цей приступ може настати за нестачі концентрації атмосферного кисню (проста ядуха) або хімічного порушення кисневого тракту чи органів дихання (хімічна ядуха). Спричинити хімічну ядуху можуть сірководень, вуглекислий газ.

#### **4.3.3. Засоби колективного захисту від небезпечних і шкідливих виробничих чинників.**

Щоб убезпечити працівників від небезпечних виробничих чинників, застосовують засоби колективного захисту. Вони повністю або частково закривають доступ до зони, де діють небезпечні чинники, та унеможливають їх дію в разі проникнення людини у простір, де вони виникають.

За ДСТУ 7238:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація» засоби колективного захисту поділяють на такі класи:

засоби нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць;

засоби нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць;

засоби захисту:

від іонізуючого, інфрачервоного, ультрафіолетового та електромагнітного випромінювань;

магнітних і електричних нулів;

випромінювання лазерів;

шуму, вібрації та ультразвуку;

ураження електричним струмом;

статичної електрики;  
високих і низьких температур навколишнього середовища;  
впливу механічних, хімічних і біологічних чинників;  
падіння з висоти.

До класу «засоби захисту» входять засоби захисту від шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

#### **4.3.3.1. Засоби нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць.**

До них належать різні види місцевої, загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції, кондиціонери, шафи й інші пристрої для локалізації шкідливих чинників, різні системи підігріву, дезодорації повітря, засоби автоматичного контролю та сигналізації стану повітряного середовища.

#### **4.3.3.2. Засоби нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць.**

До них відносять газорозрядні лампи — люмінесцентні, ртутні дугові, металогалогенні, натрієві, ксенонові — та лампи розжарення, різні види світильників, скляні прорізи стін, стель, покрівель, світлозахисні пристрої і світлофільтри.

#### **4.3.3.3. Основні засоби захисту від шкідливих виробничих чинників.**

Захист від шкідливих виробничих чинників забезпечує насамперед відповідна конструкція засобів виробництва та засоби колективного захисту. Якщо ці засоби не дають змоги знизити їх рівень до допустимих параметрів, застосовують засоби індивідуального захисту.

Захист від шкідливих хімічних речовин, пилу, газу забезпечують засоби нормалізації повітряного середовища.

Для захисту від дії високих температур застосовують щити, ширми, огорожі, теплоізолювальні матеріали, робототехніку, світлофільтри.

Усі ці засоби дають змогу забезпечити температуру поверхні обладнання, огорож на робочих місцях, що не перевищує 45 °С, та температуру повітря на робочому місці, що не перевищує 32 °С у приміщеннях із незначними надлишками явного тепла та 33 °С у приміщеннях зі значними надлишками явного тепла. При цьому вологість повітря має бути не більше ніж 55%.

Для захисту від іонізуючих випромінювань використовують бокси, сейфи, витяжні шафи, металеві кожухи, ширми, щити, фартухи, маніпулятори тощо.

#### **4.3.3.4. Основні засоби захисту від небезпечних виробничих чинників.**

До них належать захисні та запобіжні пристрої, сигналізація безпеки, розриви й габарити безпеки, дистанційне керування.

Захисні пристрої застосовують для ізоляції частин машин і механізмів, що рухаються; місць, де відлітають частки оброблюваного матеріалу; небезпечних

щодо ураження електричним струмом частин обладнання, зон та ділянок, де наявна постійна небезпека шкідливого впливу на людину температур, випромінювань тощо.

Канали, ями, колодязі, люки, різні прорізи, робочі місця, розташовані на висоті, огорожують.

Огорожі бувають:

тимчасові (переносні) — для позначення небезпеки у зв'язку з проведенням будь-яких робіт: ремонт шляхів, роботи у колодязях, очищення покрівель, будівель тощо;

постійні (нерухомі) — ті, які знімають тільки під час ремонту, та ті, що періодично відкривають протягом роботи, щоб установити чи зняти деталь.

Щоб запобігти випадковому проникненню людини в небезпечну зону, захисні пристрої блокують із пусковим механізмом обладнання.

В електричних пристроях при відкриванні чи знятті огорожі із струмовідних частин з них автоматично знімається напруга.

Запобіжні пристрої застосовують для обмеження виходу заданих небезпечних параметрів обладнання за межі допустимих. Цими параметрами можуть бути статичні та динамічні навантаження, довжина пересування механізму, рівень рідини, швидкість пересування, тиск пари, газу, води, температура, сила електричного струму тощо. Запобіжні пристрої спрацьовують автоматично, вимикаючи джерело параметра, що контролюється, або створюють умови для ослаблення його впливу.

До них належать:

плавкі запобіжники й автомати відключення — для захисту електричних пристроїв у разі виникнення струмів перевантаження короткого замикання, які можуть призвести до порушення ізоляції і пожежі. Якщо сила струму перевищує допустиме значення, у запобіжнику плавиться спеціальна вставка, автомат розриває ланцюг і відключає електричний струм;

запобіжні клапани та мембрани — для автоматичного випуску надлишку рідини, газу та пари із систем підвищеного тиску до систем низького тиску або в атмосферу. Запобіжні клапани автоматично відновлюються, а запобіжні мембрани руйнуються і потребують заміни;

обмежувачі — мікрометричні, багатопозиційні й інші опори, що обмежують робочі параметри, щоб забезпечити безпечну межу руху механізму або його окремих елементів, а також, щоб запобігти аваріям і поломкам;

блокувальні пристрої — для відключення або запобігання можливості включення джерела небезпеки, якщо відсутній захисний пристрій. За принципом дії їх поділяють на механічні, електронні, пневматичні й комбіновані та застосовують разом із захисними пристроями.

Сигналізація безпеки — це засіб попередження, а не ліквідації небезпеки. До неї належать світлові, звукові й кольорові сигнали та різні прилади для вимірювання температури, тиску, рівня рідини тощо.

Основними елементами таких приладів є різні датчики — механічні, фотоелектричні, теплові. Вони реагують на пересування предметів, зміну об'ємів, наявність відповідних концентрацій шкідливих речовин та випромінювань.

Знаки безпеки та сигнальні кольори. Вимоги до них установлює Технічний регламент знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затверджений постановою КМУ від 25.11.2009 № 1262 (далі — Технічний регламент).

Знаки безпеки поділяють:

на знаки заборони — забороняють виконувати певні дії;

зобов'язувальні знаки — зобов'язують виконувати певні дії;

інформаційні знаки — дають інформацію, додаткову до тієї, яку містять знаки заборони, попереджувальні знаки;

попереджувальні знаки — попереджають про наявність ризику або небезпеки;

рятувальні знаки — вказують напрямок до шляхів евакуації і/або аварійного виходу, пункту (засобів) першої допомоги чи рятувальних засобів;

малюнок або піктограма — графічний символ, який означає певну ситуацію або зобов'язує вчинити певні дії;

колір безпеки — колір для позначення безпеки.

Технічний регламент передбачає чотири сигнальні кольори: червоний, жовтий або оранжевий, синій і зелений.

Червоний сигнальний колір застосовують як заборонний. Він вказує на безпосередню небезпеку та на засоби пожежогасіння. Його застосовують для нанесення заборонних написів та символів на знаках пожежної безпеки; фарбування внутрішніх частин кожухів і корпусів, що відкриваються, тощо.

Місце, де наявна небезпека падіння, наптовхування на перешкоду, потрапляння під падаючий предмет, позначають похилими чорними та жовтими або червоними й білими смугами однакової ширини, що чергуються.

#### **4.3.3.5. Засоби захисту від дії електричного струму.**

Ступінь небезпечного впливу на людину електричного струму залежить від виду й величини напруги та струму, частоти електричного струму, шляху його проходження через тіло, тривалості впливу на організм і умов навколишнього середовища.

Найбільша кількість електротравм виникає під час експлуатації електроустановок та мереж напругою до 1000 В. Основні причини ураження електричним струмом: безпосередній контакт з відкритими струмовідними частинами обладнання; зіткнення з ізольованими струмовідними частинами

обладнання, які втратили свої ізоляційні властивості, та вплив електроструму через електричну дугу на пристроях відключення.

Дія електроструму на організм проявляється у складних та різноманітних формах. Усі ураження, спричинені дією електричного струму, поділяють на внутрішні та зовнішні. Відповідно до цього в практичних умовах розрізняють електричні удари, які спричиняють ураження усього організму, електротравму, що являє собою зовнішнє місцеве ураження, яке може бути тепловим (опік), механічним (розрив тканин) або хімічним (електроліз).

Найбільша величина змінного струму промислової частоти, за якої людина може самостійно відірватися від електропроводу, дорівнює в середньому 15–20 мА, для постійного струму — 60–79 мА.

Безпечними вважають змінний струм (частота 50 Гц) силою до 0,01–0,02 А та постійний струм — до 0,05–0,06 А. Струм 0,1 А і вище є смертельним для людини. Опір тіла складається з опору шкіри та внутрішніх органів. Середній опір внутрішніх органів можна прийняти рівним 1000 Ом. Шкіра є ізоляційною оболонкою, яка захищає деякою мірою людину від ураження струмом. Її опір залежить від різних чинників — вологості, пошкоджень — і може коливатися: для сухої шкіри — від 40 000 до 100 000 Ом, для вологої — може знизитися до 1000 Ом.

#### **4.4. Основні вимоги гігієни праці.**

Гігієна праці розглядає питання впливу основних виробничих чинників на стан здоров'я працівників. Це такі чинники, як мікроклімат, випромінювання, освітлення, шум, вібрація, забруднення виробничого повітря тощо.

##### **4.4.1. Мікроклімат.**

Оптимальні параметри мікроклімату мають бути:

температура у виробничих приміщеннях, залежно від категорії робіт, — від 16 до 24 °С у холодний період та від 18 до 25 °С у теплий період;

відносна вологість повітря, залежно від температури, — 40—75%;

швидкість руху повітря — 0,1—0,5 м/с;

інтенсивність теплового опромінювання працівників — 35—100 Вт/м<sup>2</sup>, залежно від величини поверхні тіла, яке опромінюється.

При цьому об'єм виробничого приміщення на одного працівника має бути не менше ніж 15 м<sup>3</sup>, а площа — не менше ніж 4,5 м<sup>2</sup>.

##### **4.4.2. Вентиляція.**

Оскільки стан виробничого повітря значною мірою залежить від ефективності його обміну, велику увагу приділяють вентиляції приміщення. За принципом дії її поділяють на природну (аерація) та штучну (механічну).

Природна вентиляція — такий обмін повітря в приміщенні, що виникає за рахунок різниці температури повітря зовні та у приміщенні або під впливом вітру.

При механічній вентиляції приміщення обмін повітря здійснюється за допомогою спеціальних механізмів — вентиляторів, ежекторів.

Щоб унеможливити протяги, окрім витяжної вентиляції, має бути також і припливна. Повітря, що подається за допомогою припливної вентиляції, не має містити шкідливих речовин. Для цього на припливних вентиляційних системах встановлюють фільтри.

#### **4.4.3. Освітлення.**

Воно є одним із найважливіших чинників умов та безпеки праці. Його недостатність або нераціональність у використанні можуть призвести до професійного захворювання або нещасного випадку.

Освітлення поділяють на природне, штучне та комбіноване.

Природне освітлення забезпечують сонячні промені, які проникають через дахові ліхтарі, вікна.

Штучне освітлення забезпечують джерела світла, які побудовані на принципах теплового випромінювання або люмінесценції. Штучні світильники можуть забезпечувати загальне чи місцеве освітлення або їх можна використовувати разом.

Розрізняють два види штучного освітлення: робоче й аварійне.

Робоче освітлення має відповідати вимогам до освітлення робочої поверхні та у допоміжних приміщеннях. Мінімальні величини освітлення для кожного виробничого процесу обирають на підставі основних даних: точності зорової роботи; коефіцієнта відображення від робочої поверхні; величини контрасту деталі та фону.

Аварійне освітлення має забезпечити необхідний рівень освітлення для продовження роботи або евакуації людей із приміщення.

#### **4.5. Пожежна безпека.**

Пожежі завдають значної шкоди як майну людей, так і їхньому здоров'ю. Зазвичай пожежі спричиняє необережне поводження з вогнем.

Основні причини пожеж на виробництві:

необережне поводження з вогнем — куріння в недозволених місцях, виконання вогневих робіт (50—55%);

порушення правил монтажу та експлуатації електроустаткування, електроприладів (20—25%);

порушення правил монтажу та експлуатації опалювальних приладів (10—11%);

порушення режимів технологічних процесів (7—8%).

##### **4.5.1. Протипожежний режим.**

Відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні на підприємстві з урахуванням його пожежної небезпеки встановлюють відповідний протипожежний режим.

Працівники повинні:

виконувати пожежонебезпечні роботи відповідно до встановленого порядку;  
зберігати легкозаймисті та займисті речовини у спеціальній тарі;  
дотримуватися встановленого порядку прибирання та зберігання горючого пилю, відходів, шмаття;  
курити лише у спеціально відведених місцях;  
проходити навчання та інструктаж із пожежної безпеки.

Заборонено прибирати приміщення і прати одяг із застосуванням бензину, гасу та інших легкозаймистих і горючих речовин; розкидати й залишати неприбраними промаслені обтиральні матеріали — їх необхідно прибирати в металеві ящики.

Евакуаційні шляхи та виходи утримувати вільними, нічим не зашарашувати. Двері на шляхах евакуації мають відчинятися в напрямку виходу з приміщення. Сходові клітки, сходи, коридори, проходи й інші шляхи евакуації необхідно забезпечити евакуаційним освітленням.

Багато випадків пожеж пов'язані із застосуванням електроприладів. Правила пожежної безпеки забороняють:

експлуатувати кабелі та проводи з пошкодженою або такою, що під час експлуатації втратила захисні властивості, ізоляцією;  
застосовувати саморобні електричні подовжувачі;  
підвішувати світильники безпосередньо на струмопровідні проводи, обгортати електролампи та світильники папером, тканиною або іншими горючими матеріалами;  
складувати горючі матеріали на відстані менше ніж 1 м від електроустаткування;  
використовувати побутові електронагрівальні прилади без негорючих підставок та в місцях, де їх застосування не передбачає технологічний процес.

Пожежу гасять такими способами:

сильне охолодження матеріалів, що горять, за допомогою речовин, які мають велику теплоємність;  
ізолювання матеріалів, що горять, від атмосферного повітря;  
ізолювання матеріалів, що горять, від променистого тепла та безпосереднього впливу вогню за допомогою водяних завіс, вуглекислого снігу тощо.

Для гасіння пожежі можна застосовувати воду, водяну пару, піну, вуглекислий та інертні гази, спецпорошок, пісок і покривала. Щоб забезпечити більшу ефективність, під час гасіння пожежі застосовують різні засоби пожежогасіння. До них належать:

прості засоби — відра та гідропульти для води, ящики з піском і лопати, різні покривала — азбестові, брезентові тощо;

хімічні засоби — вогнегасники;

технічні засоби — спеціальні пожежні машини.

## Список використаних джерел

### Розділ 1.

1. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України: монографія / Вольчин І.А. та ін. Київ: ГНОЗІС, 2013. 308 с.
2. Покровский В.А. Гигиена: учебник. Москва: Медицина, 1979. 496 с.
3. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) (ДСП-201-97): Наказ від 09.07.97 № 201 // База даних «Законодавство України» / Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223> (дата звернення: 29.01.2019).
4. Tiwary A. Colls J. Air Pollution measurement, modelling and mitigation: 3 rd edition. Abingdon: Routledge, 2010. 501 p.
5. Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. Кислотные дожди и окружающая среда. Москва: Химия, 1991. 144 с.
6. Council Decision of 29 May 2006 on the conclusion by the European Community of the Energy Community Treaty. / Official Journal of the European Union. L 198. 20.07.2006. P. 18-37. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2006:198:FULL&from=EN> (дата звернення: 05.02.2019).
7. Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants. / Official Journal of the European Communities. L 309. 27.11.2001. P. 1-21. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001L0080&qid=1549359344413&from=EN> (дата звернення: 05.02.2019).
8. Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт: Наказ від 22.10.2008 № 541 // База даних «Законодавство України» / Мінприроди України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z1110-08> (дата звернення: 29.01.2019).
9. Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: Розпорядження від 08.11.2017 № 796-р. // База даних «Законодавство України» / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80> (дата звернення: 29.01.2019).
10. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). / Official Journal of the European Communities. L 334. 17.12.2010, :P. 17-119 URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2010:334:FULL&from=EN> (дата звернення: 05.02.2019).

11. Про внесення змін до наказу Мінприроди від 22 жовтня 2008 року № 541: Наказ від 16.02.2018 № 62 // База даних «Законодавство України» / Мінприроди України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/z0290-18> (дата звернення: 29.01.2019).
12. Повышение экологической безопасности ТЭС: учеб. пособие. / Абрамов А.И. и др. Москва: МЭИ, 2001. 378 с.
13. Мадоян А.А., Базаянц Г.В. Сероулавливание на ТЭС. Київ: Техніка, 1992. 160 с.
14. Zevenhoven R., Kilpinen P. Control of pollutants in flue gases and fuel gases. Espoo, Turku, 2004. 292 p.
15. Integrated pollution prevention and control Reference document on best available techniques for large combustion plants Seville, 2006. 618 p. URL: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp\\_bref\\_0706.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf) (дата звернення: 05.02.2019).
16. Siagi, Z.O., Mbrawa. M. An overview of SO<sub>2</sub> emissions reduction techniques *R&D Journal of the South African Institution of Mechanical Engineering*. 2008. Vol. 24, Iss. 1. P. 26–33.
17. Andreas Poullikkas Review of Design, Operating, and Financial Considerations in Flue Gas Desulfurization Systems. *Energy Technology & Policy*, 2015. №2. P. 92-103. DOI: 10.1080/23317000.2015.1064794
18. Lisnic R., Sorin Ion Jinga Study on current state and future trends of flue gas desulphurization technologies: a review *Romanian Journal of Materials*. 2018, Vol. 48. №1. P. 83–90 URL: [https://www.researchgate.net/publication/324442137\\_Study\\_on\\_current\\_state\\_and\\_future\\_trends\\_of\\_flue\\_gas\\_desulphurization\\_tehnologies\\_A\\_review/download](https://www.researchgate.net/publication/324442137_Study_on_current_state_and_future_trends_of_flue_gas_desulphurization_tehnologies_A_review/download) (дата звернення: 05.02.2019).
19. Вольчин И.А., Георгиев А.В., Ясинецкий А.А. Термодинамическая оценка методов сухой десульфуризации дымовых газов. *Энергетика: економіка, технології, екологія*. 2010. №2. С.85–92.

## Розділ 2.

- 20.** Вольчин І., Борисов М., Рудюк М., Червінські К. Технологія десульфуризації димових газів DEEMIS *Енергетика та електрифікація*. 2007. № 3. С. 25-28.
- 21.** Vance J.L., Peters L.K. Aerosol formation resulting from the reaction of ammonia and sulfur dioxide. *The Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. 1976. Vol. 15, № 3. P. 202-206. DOI: 10.1021/i160059a009.
- 22.** Hartley E.M., Matleson M.J. Sulfur dioxide reactions with ammonia in humid air *The Journal of Industrial & Engineering Chemistry*. 1975. Vol. 14, Iss. 1. P. 67-78.
- 23.** Jingjing Liu, Sheng Fang, Wei Liu, Meiyang Wang, Fu-Ming Tao, Jing-yao Liu Mechanism of the Gaseous Hydrolysis Reaction of SO<sub>2</sub>: Effects of NH<sub>3</sub> versus

- H<sub>2</sub>O. *The Journal of Physical Chemistry A*. 2015. Vol. 119, № 1. P. 102–111. DOI: 10.1021/jp5086075.
- 24.** Klaus Hjuler and Kim Dam-Johansen. Mechanism and kinetics of the reaction between sulfur dioxide and ammonia in flue gas. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1992. Vol. 31, № 9. P. 2110-2118. DOI: 10.1021/ie00009a007.
  - 25.** Ubeyde Ipek, Mehtap Ekinci, E. Isil Arslan, Yakup Cuci, Halil Hasar. Simultaneous SO<sub>2</sub> removal by wastewater with NH<sub>3</sub>. *Water Air and Soil Pollution*. 2009. Vol. 196, №1. P. 245–250. DOI: 10.1007/s11270-008-9772-2.
  - 26.** Hsunling Bai, Pratim Biswas, Tim C. Keener. Particle formation by NH<sub>3</sub>-SO<sub>2</sub> reactions at trace water conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1992. Vol. 31, № 1. P. 88-94.
  - 27.** Hsunling Bai, Pratim Biswas, Tim C. Keener. SO<sub>2</sub> removal by NH<sub>3</sub> gas injection: effects of temperature and moisture content // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1994. Vol. 33, №5. P. 1231-1236.
  - 28.** Вольчин І.А. Про використання карбаміду в схемах напівсухого сіркоочищення *Енергетика та електрифікація*. 2011. №9. С. 3-7.
  - 29.** Вольчин И.А., Мезин С.В., Руденко Л.Н., Ясинецкий А.А. Исследование поглощения диоксида серы в растворе карбамида *Энергетик*. 2015. №6. С.24–26.
  - 30.** Feifei Zhu, Jie Gao, Xin Chen, Ming Tong, Yanbo Zhou, Jun Lu. Hydrolysis of Urea for Ammonia-Based Wet Flue Gas Desulfurization // *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2015. Vol. 54. P. 9072–9080. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b02041.
  - 31.** Гумницький Я.М., Дерейко К.О. Теоретический анализ процесса хемисорбционного поглощения газов в трехфазной системе. *Теоретические основы химической технологии*. 2007. Т. 41, №4. С. 365-370.
  - 32.** Скуг Д., Уэст Д. Основы аналитической химии / под редакцией Ю.А. Золотова. Москва: Мир, 1979. Т.1. 480 с.
  - 33.** Мурин Г.А. Теплотехнические измерения. Москва: Энергия, 1979. 424 с.
  - 34.** Лабораторный практикум по технологии основного органического синтеза / под общ. редакцией В.О. Рейхсвельда. Москва: Химия, 1966. 320 с.
  - 35.** ГОСТ 9932-75 Реометры стеклянные лабораторные. Технические условия.
  - 36.** ГОСТ 1770-74 Посуда мерная лабораторная стеклянная Цилиндры., мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия

37. ГОСТ 29227-91 Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные. Часть 1. Общие требования
38. Вольчин И.А., Мезин С.В., Ясинецкий А.А. Экспериментальные исследования связывания диоксида серы раствором аммиака. Збірка наукових праць 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Вугільна теплоенергетика: Шляхи реконструкції та розвитку». Київ, 2016. С.126–128.
39. Справочник серноокислотчика / под. редакцией К.М. Малина. Москва: Химия, 1971. 744 с.
40. Вольчин І.А., Мезін С.В., Ясинецький А.О. Дослідження поглинання діоксиду сірки амоніаком у газовій фазі. *Екологічні науки*. 2018. №1. С. 104–109.
41. Sander Rolf. Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry. 1999. Ver. URL: <https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Lei%20de%20Henry.pdf> (дата звернення: 06.02.2019).
42. Вольчин И.А., Воловик А.В., Мезин С.В., Руденко Л.Н., Ясинецкий А.А. Экспериментальные исследования полусухой аммиачной сероочистки. Збірка наукових праць 10-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Вугільна теплоенергетика: Шляхи реконструкції та розвитку». Київ, 2014. С 82-84.
43. Мельников Б.П. Кудрявцева И.А. Производство мочевины. Москва: Химия, 1965. 165 с.
44. Volchyn I., Karatsuba A., Rudenko L. Features of Use of Limestone and Lime in Wet Desulphurisation Technology. *Research Journal of Engineering Sciences*. 2014. Vol. 3, Iss. 8. P. 1-8.
45. Вольчин І.А., Коломієць О.М., Ясинецький А.О. Числове дослідження процесу сіркоочищення за напівсухим амонійним методом. *Енерготехнології і ресурсосбереження*. 2015. №3. С.60–68.

### Розділ 3.

46. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок із змінами і доповненнями, внесеними розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24 вересня 2019 року N 597-р.