

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

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 2024 р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
Валентин ПЕТРЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«  » лютого 2024 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: Електростатичне очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу

Виконав: здобувач 5 курсу, групи ТЕ-2-9М

БАЧУРСЬКИЙ ВАДИМ ІГОРОВИЧ  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник професор, докт. техн. наук ВОЛЬЧИН Ігор Альбінович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Я, як здобувач НУХТ, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи.

Здобувач Вадим БАЧУРСЬКИЙ  
(підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2024 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  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТЕХТ  
Валентин ПЕТРЕНКО  
“20” листопада 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

БАЧУРСЬКОГО Вадима Ігоревича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електростатичне очищення димових газів  
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 “20” 11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики та попередніх  
моїх курсових проектів

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

4.1. Система очищення димових газів від забруднюючих речовин вугільних  
котлів ТЕЦ цукрових заводів.

4.2. Технічна реалізація очищення димових газів вугільних котлів ТЕЦ  
окремого цукрового заводу

4.3. Екологічні та економічні аспекти

4.4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу

Графічно-презентаційна частина в середовищі PowerPoint – 17 слайдів

5.1. Автореферат

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 20.11.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк викон.	Прим.
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу (проекту)	20.11.23-24.11.23	вик.
2	Виконання розділів кваліфікаційної роботи (проекту)	24.11.23-29.01.24	вик.
3	Огляд літературних джерел, аналіз сучасних методик, формулювання напрямків дослідження	24.11.23-27.11.23	вик
4	Аналіз енергоефективності цукрового виробництва Обґрунтування виробництва електричної енергії на цукрових заводах	28.11.23-04.12.23	вик.
5	Вивчення систем очищення димових газів від забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів.	05.12.23-15.12.23	вик.
6	Аналіз технологій очищення димових газів вугільного котла електрофільтрами	16.12.23-25.01.24	вик.
7	Розроблення ефективності очищення димових газів вугільних котлів ТЕЦ окремого цукрового заводу	26.12.23-25.01.24	вик.
8	Формулювання рекомендацій та висновків	26-29.01.24	вик.
9	Отримання ПЗ, презентації, консультації з розділів	29.01.24-05.02.24	вик.
10	Оформлення роботи, презентації, автореферату	01-05.02.24	вик.
11	Подача роботи на перевірку тексту кваліфікаційної роботи, повірку на академічний плагіат	05.02.24-09.02.24	вик.

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Вадим БАЧУРСЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Ігор ВОЛЬЧИН

(прізвище та ініціали)

## Зміст

Інформаційний блок.....	6
Перелік умовних позначень і основних термінів.....	8
<b>ЧАСТИНА 1. Розрахунково-пояснювальна записка</b>	
Вступ.....	10
<b>РОЗДІЛ 1. Система очищення димових газів від забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів .....</b>	<b>14</b>
1.1. Аналіз впливу викиду забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ та продуктів виробництва цукрових заводів на стан здоров'я людини та довкілля.....	14
1.2. Порівняння фактичних концентрацій викидів та вимог Директиви 2010/75/EU для існуючих вугільних котлів ТЕС цукрових заводів.....	15
<b>РОЗДІЛ 2. Технічна реалізація очищення димових газів вугільних котлів ТЕЦ окремого цукрового заводу.....</b>	<b>16</b>
2.1. Аналіз технологій очищення димових газів вугільного котла електрофільтрами та короткий огляд конструктивних рішень основних вузлів електрофільтрів.....	16
2.1.1. Опис принципів очищення димових газів електростатичним полем.....	16
2.1.2. Технічні аспекти системи електростатичного очищення. Опис будови та функціонування електричних фільтрів.....	22
2.2. Підбір і розрахунок технологічних параметрів електрофільтрів.....	32
<b>РОЗДІЛ 3. Екологічні та економічні аспекти.....</b>	<b>38</b>
3.1. Вплив на рівень забруднення навколишнього середовища.....	38
3.2. Оцінка витрат та економічна доцільність впровадження технології... 38	38
<b>РОЗДІЛ 4. Охорона праці.....</b>	<b>43</b>
Висновки.....	55
Список використаних джерел.....	57
Додаток 1:.....	59
Додаток 2:.....	67
Додаток 3:.....	71
Додаток 4:.....	72
<b>Графічно – презентаційна частина роботи</b>	
Слайди:	
Слайд 1. Титульна сторінка	
Слайд 2. Актуальність теми	
Слайд 3. Економічна ситуація в Україні	
Слайд 4. Екологічна ситуація в Україні	
Слайд 5. Система очищення димових газів	
Слайд 6. Актуальні методи очищення	
Слайд 7. Принцип очищення електростатичним полем	
Слайд 8. Будова електричних фільтрів	
Слайд 9. Види електричних фільтрів	
Слайд 10. Підбір електричних фільтрів	

Слайд 11. Розрахунок електричних фільтрів

Слайд 12. Розрахінок електричних фільтрів

Слайд 13. Комбінований метод очистки

Слайд 14. Комбінований метод очистки

Слайд 15. Економічні аспекти

Слайд 16. Охорона праці

Слайд 17. Загальні висновки

### **ЧАСТИНА 3. Автореферат**

Титульна сторінка.....73

Загальна характеристика .....74

Основний зміст.....76

Загальні висновки.....82

Список опублікованих праць.....82

Анотація.....84

Анотація англійською.....86

## ІНФОРМАЦІЙ БЛОК

**Актуальність теми.** У багатьох країнах (в тому числі і Україні) ТЕЦ на вугіллі залишаються одними з основних джерел електроенергії. Очищення димових газів у таких установках є критично важливим для забезпечення відповідності стандартам екології та здоров'я. Максимальне зменшення викидів забруднюючих речовин у повітря має кардинальне значення для охорони довкілля. Очищення димових газів також впливає на енергетичну ефективність процесу. Очищення електростатичним полем є дуже ефективним методом, який доводить майже до 100% очищення викидів шкідливих викидів у повітря. Оптимізація систем електростатичного очищення може допомогти знизити енергетичні витрати та підвищити ефективність ТЕЦ. Розвиток нових технологій та методів системи електростатичного очищення може виявитися більш вигідним з екологічної та економічної точок зору і може призвести до нових рішень та підходів у цій сфері.

**Мета дослідження:** Вивчення, аналіз та оцінка ефективності системи електростатичного очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу з метою оптимізації процесу очищення та зменшення шкідливих викидів у повітря.

**Завдання дослідження:**

Огляд літератури та аналіз методів очищення димових газів на ТЕЦ цукрового заводу; моделювання та оптимізація роботи системи; економічний аналіз та вартість впровадження; формулювання рекомендацій.

**Предмет дослідження:** електростатичне очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу

**Об'єкт дослідження:** процес очищення димових газів від шкідливих викидів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу за допомогою електростатичної технології

**Новизна дослідження:** Дослідження спрямоване на використання електростатичного очищення димових газів у специфічному контексті - на ТЕЦ цукрового заводу, де відбувається спалення вугілля. Дослідження враховує особливості газів, що викидаються у процесі роботи цієї установки. Це дослідження не лише описує існуючі методи електростатичного очищення, але й має за мету покращення ефективності цієї системи для конкретного контексту. Оптимізація може включати розробку нових параметрів, методів очищення та підходів до використання технології. Використання математичного моделювання та імітаційних досліджень для аналізу та вдосконалення системи очищення може бути новим аспектом цієї роботи. Це дозволяє експериментувати з параметрами системи та досліджувати їх вплив на ефективність очищення без прямого втручання у реальний процес. Дослідження включає в себе не лише технічні аспекти, а й економічний аналіз ефективності системи. Це дозволяє зрозуміти не лише технічні можливості вдосконалення, але й його вартість та вигоди у контексті реального виробництва.

**Наукова новизна**

Наукова новизна результатів магістерського дослідження полягає у:

- подальшому розвитку теорії електростатичної фільтрації;

- розширенні діапазону експлуатаційних параметрів режиму фільтрації;

### **Практичне значення отриманих результатів**

Одержані результати становлять основу для формування технічного завдання та глибокого інженерно-технічного пророблення дослідженої системи електростатичної фільтрації.

### **Особистий внесок магістранта.**

Магістрант:

- здійснив аналітичний огляд літературних публікацій з проблеми електростатичного очищення дрібних фракцій забруднюючих речовин;
- виконав розрахунки параметрів сухих та мокрих електричних фільтрів;
- визначив на базі теплоенергетичних розрахунків системи ТЕЦ цукрового заводу експлуатаційні параметри всіх електростатичних фільтрів;
- визначив показники енергетичної та економічної ефективності електростатичної фільтрації.

### **Публікації.**

За матеріалами магістерського дослідження публікації автора роботи на момент її захисту – відсутні.

### **Структура магістерської кваліфікаційної роботи.**

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та п'яти додатків. Повний осяг роботи становить 72 стор. Робота містить 17 таблиці та 24 рисунків.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

### Основні терміни:

**Директива 2010/75/EU** – директива Європейського Союзу, що встановлює норматив викидів шкідливих викидів промисловими та іншими об'єктами в навколишнє середовище.

**Паливно-енергетичні ресурси (ПЕР)**– сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві.

**Вторинні енергетичні ресурси(ВЕР)**– енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється при виконанні технологічного процесу, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів).

**Труба Вентурі** –

**Осаджувальна камера** -

**Циклон, мікроциклон** -

**Скрубер** -

**Рукавний фільтр** -

**Електростатичний, електричний, електрофільтр** -

**Токсичні речовини:** NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO, CO

**Нетоксичні речовини** - CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O

**Трьохатомні** - NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O

### Скорочення

**ТЕЦ, ТЕС, КЕС** теплоелектроцентрально, теплова електростанція, конденсаційна електростанція.

**ТГ**- турбогенератор, **ПТ**- парова турбіна  
**ПГ, ГМ** – парогенератор, газомазутний  
**ТО, ТОА, ГТО, ВГТО** – теплообмінник, теплообмін. апарат, гориз., вертикаль.  
грунтовий теплообмінник.

**ОУ, РУ, РОУ, ШРОУ, РОУ-ВП** – редуційна охолоджувальна установка, швидкодіюча, власних потреб....

**ДА, ДВ,** - деаератор атмосф. тиску, високого тиску

**РДНТ** – розширник дренажів низьк. тиску

**РБП** – розширник безперервного продування парогенератора

**БЧД** – бак чистих дренажів

**ПСВ, ПСВ-У, ПХВ, ПГВП, ПВТ, ПНТ, ПМВ, ПМГ** – підігрівник сирої води, утилізатор, хімоочищеної води, гарячого водо постачання, високого, низького тиску, мережний вертикаль., горизонт.;

**НЖВ** – нагнітач живильної води

**ХВО** – станція хімічної очистки води

**БО** – бойлер опалення м/району

**ОП, ОВ, ОК, ОД,** - охолоджувач пари,

$i_0$  – лінійна швидкість потоку корони;

$\mathbf{u}$  - коефіцієнт взаємного розташування електродів;

$\mu_n$ – динамічна в'язкість компонентів газового потоку;

$\mu$  – динамічна в'язкість газу;

$\omega_n$ – швидкість переміщення частинок до осаджувального електрода;

$\eta$  – ступінь очищення газів;

$f$ – питома площа поверхні осаджування;

$\eta_{Фп}$  – фракційний ступінь очищення компонентів газового потоку;

$N$  – потужність;

### Індекси

**б, м** – більший, менший, **в** – вода, **п** – пара, **пов** – повітря, **вих., вх** – вихід, вхід,

**вп** – випарник; **вн, з** – внутрішній, зовнішні, **вт** - втрати доп – допустимий,

**сум** – сумарний; **др** – дренаж; **дод** – додатковий, **осн** – основний; **екв** – еквівалентний; **жив** – живильна вода; **забр**

– забруднення; **к, квп** – конденсат, випарника, **зв** – зв'язки; **кр** – корпус; **кип**

– кипіння; **макс, мін** –максимальна, мінімальна **н** – насичення, **нав** –

наведений; **нак** – накип; **пл** – плівка; **прот**

<p>випару, конденсату, дренажу;–  <b>ТН, НП</b> - тепловий нагнітач, пари  <b>ЦО, СО</b> –централізов сист. опалення.  <b>ЦНС</b> – циркулюючий нагнітач  <b>ЗаСт</b> – загально станційні параметри,...  <b>ВнСт</b> – внутростанційні параметри,...  <b>НШ</b> - нахилена шнекова дифустановка  <b>КДА</b> - колонний дифапарат  <b>КДУ</b> - колонна дифустановка  <b>ЗБ, К</b>-відведення конденсатів,  відповідно, на збірники чи колонки  <b>БК</b>- барометричний конденсатор  <b>ПК</b> - пароструминний компресор  <b>МК</b> - механічний компресор  <b>ПЕР</b> - міжкорпусний перепуск пари,  первинний енергоресурс  <b>ВЕР</b>-вторинний енергоресурс  <b>ЖПВ</b>-жомопресова вода  <b>БВ</b> - барометрична вода  <b>Конд</b> - конденсат, з останніх корпусів  <b>ВУ</b>- випарна установка  <b>БЩ</b>-багатокртна природна циркул.  <b>ПТР</b>-підвищений температ. режим  <b>ЕСФ</b> - електростатичний фільтр;  <b>РУ</b> - рукавний фільтр;  <b>БЦУ–М</b> - сухий золотловлювач;  <b>РЕМ</b> – районна електромережа  <b>F</b> – площа поверхні нагріву;  <b>A</b> – коефіцієнт тепловіддачі;  <b>k</b> – коефіцієнт теплопередачі;  <b>t</b> – температура;  <b>A</b> – температурний множник;  <b>Re</b> – число Рейнольдса;  <b>Pr</b> – критерій Прандтля;  <b>v</b> – кінематична в'язкість;  <b>ω</b>– швидкість руху теплоносіїв;  <b>Д</b> – дигестія (вміст цукру в буряках)  <b>F</b> – площа перерізу електрофільтра;  <b>D<sub>1</sub></b>–діаметр корону вальних електродів;  <b>d<sub>1</sub></b>–відстань між ізолювальними  електродами;  <b>l</b> – довжина електродів;  <b>S</b> – площа робочої поверхні;  <b>V</b> – швидкість руху газового потоку;  <b>H</b> – відстань між осаджувальними та  іонізуфційними електродами;  <b>t</b> – температура газу;  <b>Φ</b> – фракційний склад пилової суміші;  <b>V</b> – відносна густина газового потоку;  <b>E<sub>0</sub></b> – критична напруженість електричного  поля;</p>	<p>– протиток; <b>p</b> – розрахунковий; <b>c</b> –  стислий; <b>сер</b> – середнє; <b>ст</b> – стінка; <b>т</b> –  трубка, <b>тд</b> – трубна дошка; <b>з</b>– зимовий; <b>л</b>–  літній, <b>г</b> – гарячий, <b>х</b> – холодний  <b>S, S<sub>x</sub></b> - величина, кількість дифузійного  соку, відкачки, відтоку соку, утфелю,  цукру між корпусами  <b>S<sub>відк</sub></b>відкачки,<b>S<sub>кл</sub></b>–клеровки, <b>S<sub>сир</sub></b>- сиропу  після ВУ, <b>S<sub>пву</sub></b>-перед ВУ, <b>S<sup>'c</sup><sub>пов</sub></b>-повернення,  <b>S<sup>кл</sup><sub>псат</sub></b> –II сатур на клерування, <b>S<sup>ноп</sup><sub>деф</sub></b>-  попередньої дефекації, <b>S<sup>евсн</sup><sub>пов</sub></b>- повер  суспенз. <b>S<sup>'сат</sup></b> –сатур на виході, <b>S<sub>сат</sub></b> –сатур  після відбору, <b>S<sup>'псат</sup></b> –перед II сатур, <b>S<sub>псат</sub></b>-  сік II сатурації, <b>S<sup>yt</sup><sub>1кр</sub></b> –утфель I кристал.,  <b>S<sup>відт1</sup><sub>ут1кр</sub></b> – 1 відтік утфелю I кристал.,  <b>S<sup>відт2</sup><sub>ут1кр</sub></b>- 2 відтік утфелю I кристал..  <b>S<sup>відт1</sup><sub>(ут1кр)аф</sub></b> –на афінацію цукру III крист.,  <b>S<sup>yt</sup><sub>пкр</sub></b> утфель II кристал., <b>S<sup>відт</sup><sub>пкр</sub></b> – відтік  утфелю II кристал., <b>S<sup>пкр</sup></b> цукор жовтий II  кристал., <b>S<sup>yt</sup><sub>пкр</sub></b> утфель III кристал., <b>S<sub>мел</sub></b> –  меляса, <b>S<sup>yt</sup><sub>аф</sub></b> утфель афінальний, <b>S<sup>відт</sup><sub>аф</sub></b>-  відток афінальний, <b>S<sup>п</sup><sub>аф</sub></b> цукор  афінальний, <b>S<sub>стр</sub></b>- стружки, <b>S<sub>ж</sub></b>- жому, <b>S<sub>ж.пр.</sub></b>-  жому перед пресув., <b>S<sub>п1</sub></b>- циркул. соку в  шахту, <b>S<sub>п2</sub></b>- циркулююч. соку в підігрівник.  <b>СР</b> – кількість сухих речовин у %; <b>СР<sub>пву</sub></b> -  с/р в сиропі II сатур перед ВУ, <b>СР<sub>сир</sub></b>- в  сиропі, <b>СР<sub>ж</sub></b> - в жомі до пресування, <b>СР<sub>ж.пр.</sub></b> -  в жомі перед пресуванням.  <b>t</b>- температура, <b>t<sub>стр</sub></b>- стружки,  <b>t<sup>жив</sup><sub>2</sub></b>-живильної води, <b>t<sup>жв.</sup><sub>2</sub></b>- жомопресової  води, що надходить в дифапарат,  <b>t<sub>п2</sub></b>-циркулюючого соку після підігрівника  <b>t<sup>жв.</sup><sub>1</sub></b>- жомопресової води після пресів  <b>c</b>- теплоємність <b>c<sub>стр</sub></b>- стружки, <b>c<sub>соку</sub></b>-соку, <b>c<sub>ж</sub></b>-  жому  <b>c<sub>жив</sub></b>-живильної води  <b>1,2... x</b> - кількість атомів, або інших  одиниць;  <b>параметри</b>  <b>о</b> – опалення; <b>оп</b> -опалювальних приладів;  <b>г</b> –гарячої води; <b>х</b> –холодної води; <b>p</b> –  розрахункова величина; <b>з</b> –зовнішнього  повітря; <b>вн</b> –внутрішнього повітря; <b>c</b> – біля  стінки та пристінного шару води;<b>н</b> –  нанітачів; <b>зл</b> –точки зламу;  <b>Значення:</b>  <b>ср</b> – середнє; <b>рік</b> – річне; <b>л</b> –літнього  періоду;<b>доб</b> – добове, <b>год</b> – годинне,</p>
---	--

$U_0$ – критична напруга коронувального електрода;	
--	--

## ЧАСТИНА 1. РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ВСТУП

Орієнтовні підрахунки показують, що щорічно в атмосферу Землі надходять десятки мільйонів тонн шкідливих газів і пилу від димових газів ТЕС, ТЕЦ, котельень, промислових підприємств та автотранспорту.

Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість, де переважають процеси, засновані на горінні, є головними джерелами локального, регіонального та глобального антропогенного забруднення навколишнього середовища. Крім того, внаслідок хімічної взаємодії канцерогенних вуглеводнів та оксидів азоту синтезуються сполуки, які є значно небезпечнішими для людини, діють на її генний фонд.

Повітряний басейн забруднений газовими та аерозольними викидами ( $\text{CO}_2$ , полі-циклічні ароматичні вуглеводні,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , аерозолі та ін.). Все це призводить до таких необоротних процесів, як руйнування озонового шару (існує на висоті 30 км та захищає поверхню Землі від згубного для життя жорсткого космічного випромінювання); виникнення парникового ефекту (селективне поглинання трьохатомними газами інфрачервоного випромінювання поверхні Землі в космічний простір); утворення «льодовикового» ефекту (накопичення в стратосфері дрібних твердих частинок, які відбивають сонячне випромінювання та викликають «недогрів» земної кулі).

Крім того, мають місце забруднення ландшафту (знищення лісів, рослинності, диких тварин, плодоносного шару та ін.), оптичне забруднення атмосфери в певні періоди року, забруднення ґрунтових вод стічними викидами ТЕЦ та інших промислових об'єктів, акустичне (шум), електромагнітне і електростатичне забруднення навколишнього середовища. Басейни ряду річок, що протікають у густонаселених районах, вийшли з природного стану і перетворилися на забруднені каналізаційні системи. [1]

Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є теплові електростанції. Схема взаємодії ТЕЦ з навколишнім середовищем представлена на рис. Д.3. Як видно, при роботі ТЕЦ мають місце різні негативні впливи на всі компоненти біосфери: атмосферу, гідросферу та літосферу.

У матеріальних балансах процесів горіння твердого та рідкого палива певну роль відіграють тверді продукти згоряння – зола. Приблизно 60% загальної кількості аерозолів, які потрапляють в атмосферне повітря з антропогенних джерел по всьому світу, представлені твердими частинками, що утворюються при згорянні вугілля. Очевидно, що проблема головним чином стосується золи, пилу, сажі та важких металів. Зараз концентрація твердих частинок на деяких ТЕЦ, які працюють на вугіллі, перевищує встановлені норми, досягаючи 800-2500 мг/нм<sup>3</sup>, замість визначених 50 мг/нм<sup>3</sup>, Європейська Директива 2010/75/EU встановлює стандарти для твердих частинок у викидних газах. Для існуючих котлів норматив складає 50 мг/нм<sup>3</sup>, а для нових котлів – 30 мг/нм<sup>3</sup>. Так, з

прогнозованим зростанням виробництва електроенергії, заснованого на спалюванні вугілля в ТЕС, Україна може стати перед проблемою невиконання міжнародних зобов'язань визначених Паризькою угодою 2015 р.

За останні роки в Україні та в світі спостерігається стійка тенденція до збільшення використання вугілля у теплоенергетиці. Теплоелектростанції в Україні, з загальною потужністю 36,4 млн. кВт (що становить 68,8% від усієї встановленої потужності електростанцій), мають 96 енергоблоків, які працюють на вугільному паливі. З урахуванням прогнозованих запасів вугілля в Україні (117,3 млрд. т) і зростаючих цін на природний газ, вугілля розглядається як основний первинний енергетичний ресурс в теплоенергетиці, як пріоритетній галузі. Проблема погіршення якості вугілля за останні роки призводить до суттєвого збільшення зольності твердого палива. Використання такого вугілля для енергетики, навіть з електрофільтрами, які мають ефективність золоуловлювання( $\eta$ ) 92-99%, 35% — мокрими золоуловлювачами ( $\eta=92-96\%$ ) і 3% — циклонами ( $\eta\leq 90\%$ ), може призводити до викидів пилу в атмосферу більше 500 тис. тонн щорічно.

Різноманітні викиди теплових електростанцій можна кваліфікувати залежно від розмірів частинок: **зола** – тверді частинки розміром більше 150 мкм; **пил** – тверді частинки розміром 1–150 мкм; **туман** – тверді або рідкі частинки розміром 0,2–1 мкм; **дим** – частинки розміром 0,001–0,1 мкм; **аерозолі** – в основному скупчення газоподібних молекул з розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів. Табл.Д.4.

**Газові викиди також можуть бути токсичними ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$  та ін.) і нетоксичними ( $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ).** Всі трьохатомні гази ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  та особливо  $\text{CO}_2$ ) належать до «парникових газів», оскільки вони характеризуються селективною поглинальною здатністю в інфрачервоній області теплового випромінювання та сприяють створенню парникового ефекту. Таблиця Д.2. Д.7.

Більш детально можна прочитати в п'ятій книзі науково-пізнавального зібрання величезної групи авторів під керівництвом С.Г.Плачкової та І.В.Плачкова «Енергетика: історія, сучасність і майбутнє» [1].

Досвід деяких теплоелектростанцій України показує, що навіть без реконструкції ТЕЦ, тільки за рахунок зміни паливної політики можна досягти значного скорочення викидів забруднюючих речовин. На одній із ТЕС України перехід на спалювання вугілля, яке надходило на ТЕС після попереднього збагачення, забезпечило зниження питомих викидів  $\text{SO}_2$  на 32-37% (в перерахунку на 1 кВт·год. електроенергії, що виробляється). При цьому питомих викидів твердих частинок знизився на 35-40%.

Спалювання палива в газопарових турбінах дозволяє отримати менший рівень забруднення навколишнього середовища порівняно з іншими тепловими двигунами і є одним із ефективних шляхів зниження забруднення. Для України впровадження нових комбінованих газопарових турбін з максимальним ККД, це перспективний напрямок, оскільки національні виробники ("Турбоатом", "Мотор-Січ" і НПП "Машпроект") такого устаткування відповідають сучасним вимогам. Українські ТЕС на жаль, не мають в експлуатації сучасних газових турбін, що становить значну необхідність. Використання сучасних газових

турбін дозволило б ефективніше використовувати газ та знижувати його споживання, особливо в умовах зростання цін на газ, що є актуальним завданням.

Аналіз ефективності очищення газових викидів від зважених частинок на різних золоочисних установках (табл. В.1.2.) показує, що **найбільш ефективними є електрофільтр і рукавний фільтр, зокрема з уловлювання дрібнодисперсних частинок.**

Таблиця В.1. 2 Ефективність очищення газових викидів від зважених частинок

Пристрій	Розмір частинок, мкм	Ефективність очищення, %
Осаджувальна камера	100	40-50
Циклон	30	50-60
Мультициклон	10-15	90-95
<b>Рукавний фільтр</b>	<b>0,5</b>	<b>до 99</b>
Скрубер	0,5	75-85
<b>Електрофільтр</b>	<b>0,1</b>	<b>95-99</b>

Електростатичні фільтри (ЕСФ), є широко використовуваними пилоочисними апаратами на вітчизняних ТЕС. Вони забезпечують ефективне очищення газів за певних умов, таких як низька швидкість газового потоку, розміри частинок пилу та оптимальні умови експлуатації, такі як питомий опір, режим струшування електродів та відсутність вторинного виносу і т.д. Навіть невеликі зміни в одному з параметрів процесу можуть призвести до зниження ефективності роботи електростатичних фільтрів (ЕСФ). Нерівномірність концентрації твердих частинок по перерізу фільтра також негативно впливає на коефіцієнт корисної дії (ККД) ЕСФ. Реальний ККД існуючих ЕСФ на ТЕС в Україні знаходиться в межах 90-98%, що, враховуючи реальну запиленість газів на вході пиловловлюючої установки, не відповідає європейським стандартам.

В закордонній практиці широко використовуються рукавні фільтри для очищення газів, які викидаються ТЕЦ рис.Д.5 і Д.6. Це пов'язано з високими техніко-економічними показниками їх роботи ( $\eta=99,9\%$ ), досягнутими ефективністю на рівні 99,9%. В Україні в останні роки рукавні фільтри нового покоління також знаходять застосування, зокрема в коксохімічній та металургійній промисловості. Протягом тривалого часу використання рукавних фільтрів в теплоенергетиці було обмежено відсутністю фільтрувальних тканин, які могли б витримувати високу температуру (від 150 до 280 °С), значну вологість та наявність агресивних компонентів у димових газах, таких як оксиди сірки і азоту, хлористий водень та інші.

Використання рукавних фільтрів нового покоління дозволяє ефективно очищати гази від дрібнодисперсної фракції легкої золи та оксидів сірки. Температурна та хімічна стійкість сучасних тканин, що широко використовуються в рукавних фільтрах в більшості європейських країн для очищення газів в теплоенергетиці, коливається від 100 до 280 °С і може зберігатися до 5 років.

В 90-х роках відмовились від мокрому золовловленню та перейшли на сухі інерційні золовловлювачі типу БЦУ-М. Ці золовловлювачі мають середній коефіцієнт корисної дії (ККД) на рівні 82,6% (для великих фракцій - 95-97%,

для тонкодисперсної золи - значно нижчі, для фракцій до 1 мкм - 50%). Тепер 85-90% золи вловлювалося рідким шлаковидаленням, а решта 15-10% - в зололовлювачах з ККД 82,6%, і загальна ефективність вловлення золи склала 88-90%. Обраний варіант зололовлення залишився незмінним і ще діє. Основний недолік цього типу зололовлювачів полягає в низькому коефіцієнті корисної дії для тонкодисперсної фракції. В роботі [10] наведений аналіз функціонування Черкаської ТЕС, яка є одним із основних джерел забруднення міста. Виділено, що основне газопилеочисне обладнання станції не забезпечує високого ступеня очищення димових газів. Запропоновані заходи для зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

## **РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ТЕЦ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ**

### **1.1. Аналіз впливу викиду забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ та продуктів виробництва цукрових заводів на стан здоров'я людини та довкілля**

Основними елементами, які викидаються в атмосферу під час спалювання різних типів палива, є продукти окислення, що утворюються в процесах горіння. Під час окислення виникає нетоксичний двооксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) та водяна пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Однак, крім них, в атмосферу викидаються інші дуже шкідливі викиди, які містять значну кількість токсичних речовин. Серед них основні:

- діоксид та тріоксид сірки ( $\text{SO}_2$  та  $\text{SO}_3$ );
- оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), такі як  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$ ;
- продукти неповного згоряння, зокрема  $\text{CO}$ ;
- тверді частки (сажа, зола, пил);
- канцерогенні речовини, наприклад, бенз(а)пірен;
- вуглеводні, такі як  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  та ін.;
- сполуки ртуті, свинцю, кадмію, миш'яку, фтору та інші.

Під час спалювання твердого палива в котлах ТЕЦ, крім оксидів основних горючих елементів - вуглецю та водню, в атмосферу потрапляють тверді частинки, такі як сірчані та сірчисті ангідриди, оксиди азоту, певна кількість фторовмісних сполук, а також газоподібні продукти неповного згоряння палива

Під твердими частинками, які викидаються через димові труби, розуміють не лише золеві частинки, а й коксові частинки (неспалене паливо) та сажу. Склад твердих частинок залежить від типу палива. Під час спалювання твердого палива в шарі виникають частинки всіх трьох груп, причому основною є золева частка. У випадку неповного згоряння палива через неефективний процес горіння частка коксових і сажових частинок може збільшитися, досягаючи 40-50%.

Сірка є горючим компонентом палива, і важливо визначити приведену сірчистість. Сірка в паливі може бути органічною, колчеданною та сульфатною. Видалення сірки з твердого палива можливо перед, під час або після спалювання, залежно від етапу обробки палива чи продуктів згоряння. Вартість очищення залежить від стадії, на якій відбувається чищення від сірки або сірчанних сполук. Існують аналітичні методи визначення сірчанних сполук, які дозволяють передбачити вміст сірки або її сполук у продуктах згоряння. У продуктах згоряння головним чином утворюється діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), в той час як тріоксид сірки ( $\text{SO}_3$ ) становить всього приблизно 1% від загальної кількості сполук сірки.

В залежності від першоджерела утворення в топках котлів оксиди азоту можуть бути термічними, паливними і фронтальними (швидкими). Утворення термічних оксидів азоту відбувається за фронтом полум'я в зоні високих температур за ланцюговим механізмом, а вихід їх визначається максимальною температурою горіння та концентрацією азоту і кисню в зоні реагування. Тому

цю теорію названо термічною. Оксиди азоту можуть бути термічними, паливними і фронтальними (швидкими) залежно від першоджерела утворення в топках котлів. Термічне утворення оксидів азоту відбувається в зоні високих температур за ланцюговим механізмом, а їхній вихід визначається максимальною температурою горіння та концентрацією азоту і кисню в зоні реакції. Ця теорія відома як термічна. [26]

Для визначення кількості золи, що викидається в атмосферу з продуктами згорання на ТЕС, враховується тип вугілля (наприклад, донецьке вугілля), кількість енергоблоків (n), та їх потужність (N = 500 МВт) з котлоагрегатами П-57. Очищення продуктів згорання в даному випадку здійснюється за допомогою горизонтальних електрофільтрів типу УГ.

Питома витрата палива (брутто) на ТЕЦ  $b_{\text{пит}}$ , кг умов. палив./кВт.год.

Дані взяті мною з нульового варіанту задачі 1. Таблиці в додатку 3

Визначаємо витрату палива на ТЕЦ, В- кг/с,

$V = b_{\text{пит}} \cdot n \cdot N \frac{Q_{y.n}^p}{Q_n^p} = 0,29 \cdot 3 \cdot 500 \cdot \frac{29300}{22560} \approx 565 \text{ кг/с}$	1.1.1
--	-------

Де N потужність енергоблоку – 500 МВт;

$b_{\text{пит}} = 0,29$  кг умов. палив./кВт.год

n=3 шт.-кількість котлоагрегатів на ТЕЦ  $Q_p$

$Q_{y.n}^p = 29300$  кДж/кг – теплота згорання умовного палива;

$Q_n^p = 22560$  кДж/кг – теплота згорання палива, що спалюється на ТЕЦ, кДж/кг. Наступне визначаємо обсяг золи, що викидається разом із викидами згорання в атмосферу.

$M_z = 10 \cdot (A^p + q_4) \cdot V \cdot a_{\text{вин}} \cdot (1 - \eta_z) = 10 \cdot (22,9 + 6) \cdot 565 \cdot 0,95 \cdot (1 - 0,98) = 3102$	1.1.2
---	-------

де  $A^p$  – зольність палива на робочу масу, -22,9% (з таблиці Д.2.5);

$q_4$  – витрати теплоти від механічного недопалу -6-4 % (з таблиці Д.2.6.);

$a_{\text{вин}}$  – доля золи, яка викидається з продуктами згорання – 0,95 (з таблиці Д.2.5.);

$\eta_z$  – ефективність (ступінь) очищення газів у золовловлювачах. Ступінь очищення газів у горизонтальних електрофільтрах типу УГ.  $\eta_z = 0,98 - 0,986$ .

## 1.2. Порівняння фактичних концентрацій викидів та вимог Директиви 2010/75/EU для існуючих вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів

Порівняння фактичних концентрацій викидів та вимог Директиви 2010/75/EU для існуючих вугільних котлів ТЕС України:

Забруднюючаречовин а	Фактич. концентрація, мг/нм <sup>3</sup>	Директ.2010/75/EU, мг/ нм <sup>3</sup>
Пил(летказола)	300-1300	20
ДіоксидсіркиSO <sub>2</sub>	2500-7200	200
ОксидазотуNO <sub>2</sub>	600-1800	200

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВУГІЛЬНИХ КОТЛІВ ТЕЦ ОКРЕМОГО ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

### 2.1. Аналіз технологій очищення димових газів вугільного котла електрофільтрами та короткий огляд конструктивних рішень їх основних вузлів

Значення атмосферного повітря для життя людини та інших живих організмів невизначено, і найбільш глобальна екологічна проблема нашого часу пов'язана з антропогенним забрудненням атмосфери. У процесі функціонування технічних об'єктів підприємства створюються викиди, які містять пил та гази, що складаються з оксидів сірки, вуглецю, сірководню, фторидів, оксидів металів та інших компонентів.

Кількість і характер цих компонентів у викидах залежать від технології обробки сировини, виду використаного обладнання та інших факторів [4]. Для збереження атмосфери від негативного впливу антропогенного походження вживаються різноманітні заходи, такі як екологізація технологічних процесів, очищення газоподібних викидів від шкідливих домішок, диспергування викидів в атмосфері та встановлення санітарно-захисних зон.

Один із найефективніших заходів захисту повітря від забруднення - екологізація технологічних процесів. Це означає створення замкнених технологічних циклів, які унеможливають шкідливих викидів в атмосферу, використовуючи технології безвідходного та маловідходного виробництва. Пошук новітніх природоохоронних технологій є важливим завданням, оскільки для подолання екологічної та економічної кризи необхідна розробка та впровадження інновацій з відмінними екологічними та економічними показниками. Електрофільтри (електростатичні осаджувачі) широко використовуються в промисловості, оскільки вони універсальні і можуть забезпечити глибоке очищення при відносно низькому енергоспоживанні. [1].



Рис. 2.1.1. Одна з димових труб теплової електростанції у штаті Вікторія (Австралія) випускає коричневий дим, при зупиненому електростатичному фільтрі

**Електростатичний фільтр**, або **електрофільтр** (англ. *electrostatic precipitator, ESP*), — це технологічний пристрій, спроектований для збирання та видалення пилу, який знаходиться в газовому середовищі.

Електрофільтри призначені для уловлювання часток пилу, розмір яких може досягати 0,1 мкм, з повітря і газів різного хімічного складу, вологості та температури.

#### 2.1.1. Опис принципів очищення димових газів електростатичним полем.

Електроочищення газу - це процес видалення твердих частинок з газоподібного середовища під дією електричних сил.

Принципова відмінність процесу електростатичного осадження від механічних методів відділення частинок полягає в тому, що в цьому випадку імпульсні сили діють безпосередньо на частинки, а не опосередковано через їх вплив на загальний газовий потік. Таке пряме і надзвичайно ефективне використання сил пояснює помірне споживання енергії і низький опір газовому потоку, що характеризують електростатичний метод.

Навіть частинки розміром до субмікрометрів піддаються досить великій силі і таким чином ефективно уловлюються. Не існує принципової межі для ступеня очищення, а ефективність можна підвищити, збільшивши час перебування частинок на електрофільтрі.

Енергія, яку споживає електрофільтр, складається з енергії, яку споживає генератор високовольтного струму, та енергії, необхідної для подолання гідравлічного опору газу при проходженні через електрофільтр. Коли електрофільтр працює належним чином, гідравлічний опір не перевищує 100-150 Па, що значно нижче, ніж у більшості інших фільтрів.

Енергія, що подається в технологічний газ під час електроосадження, в основному витрачається на безпосередню дію на осаджені частинки. Це пояснює багато переваг процесу електростатичного осадження.

В електрофільтрах тверді та рідкі частинки видаляються з газу під дією електричних сил. Частинки отримують електричний заряд і під дією електричного поля осаджуються з газового потоку.

Загальний вигляд електрофільтру показано нижче рис. 2.1.2.

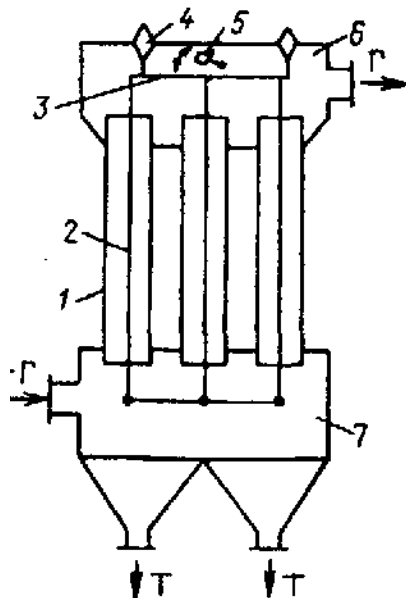


Рис. 2.1.2. Електрофільтр: 1 - осаджувальний електрод; 2 - коронуючий електрод; 3 - рама; 4 - високовольтний ізолятор; 5 - струшувач; 6 - верхня камера; 7 - збірник пилу.

Частинки пилу заряджаються електричним полем при проходженні через газовий потік, заряджені частинки рухаються до електродів протилежного знаку і осідають на них, а пил, що осів на електродах, видаляється.

Зарядження частинок є першим основним етапом процесу електростатичного осадження. Більшість частинок, що зустрічаються в промисловому очищенні газів, несуть в собі електричний заряд, набутий при їх утворенні, але цей заряд занадто малий, щоб забезпечити ефективне осадження. На практиці заряд частинок досягається шляхом пропускання частинок через корони постійного струму між електродами електрофільтру.

Може використовуватися як позитивна, так і негативна корони, хоча для очищення промислових газів перевага надається негативній короні через її більшу стабільність і можливість використання більш високих робочих напруг і значень струму, в той час як для очищення повітря використовується тільки позитивна корона, оскільки вона виробляє менше озону.

Основними елементами електрофільтру є коронуєчий і осаджувальний електроди. Перший електрод у найпростішому вигляді являє собою дріт, натягнутий в трубці або між пластинами, а другий електрод - це поверхня трубки або пластини, що оточує коронуєчий електрод (рис. 2.1.4. стор 53.).

На коронуєчі електроди подається постійний струм високої напруги від 30 до 60 кВ. Коронний електрод зазвичай має негативну полярність, а осаджувальний електрод заземлюється. Це пов'язано з тим, що при такій полярності корона більш стабільна, а рухливість негативних іонів вища, ніж позитивних. Остання ситуація пов'язана з прискоренням зарядки частинок пилу.

Після розподільчої системи газ, що підлягає обробці, потрапляє в прохід, утворений коронним і осаджувальним електродами, який називається між електродним простором.

Електрони, що спускаються з поверхні коронуєчого електрода, прискорюються електричним полем високої інтенсивності і отримують достатню енергію для іонізації молекул газу.

Молекули газу, які зіштовхуються з електронами, іонізуються і починають прискорено рухатися в напрямку електрода з протилежним зарядом, вражаючи при контакті нову частину електронів.

В результаті між електродами виникає електричний струм і при певній напрузі утворюється коронний розряд, який інтенсифікує процес іонізації газу.

Зважені частинки, які пройшли через зону іонізації і поглинули на своїй поверхні іони, з часом набувають позитивного або негативного заряду і під дією електричних сил починають рухатися до електрода протилежного знаку.

Частинки стають сильно зарядженими на перших 100-200 мм свого шляху і рухаються до заземлювача під впливом сильного електричного поля корони.

Цей процес, як правило, дуже швидкий і займає лише кілька секунд для повного розсіювання частинок. Якщо частинки накопичуються на електродах, вони або струшуються (для сухих електрофільтрів), або змиваються (для вологих електрофільтрів)

Коронні розряди характеризуються неоднорідними електричними полями. Для його створення в електрофільтрах використовуються такі системи електродів, як точкові (точкові)- площинні, лінійні (з гострим краєм, тонким дротом)- площинні та циліндричні.

В коронному полі електрофільтрів використовуються два різні механізми зарядки частинок.

Найважливішим є зарядження іонами, що рухаються назустріч частинкам під впливом зовнішнього електричного поля.

Процес вторинного зарядження настає за участі дифузії іонів, де швидкість цього явища визначається енергією теплового руху іонів, а не електричним полем. Для частинок діаметром понад 0,5 мкм переважає зарядження в електричному полі, тоді як для частинок діаметром 0,2 мкм і менше переважає дифузійне зарядження. У проміжному діапазоні (0,2–0,5 мкм) обидва механізми виявляють суттєвий вплив.

Швидкість дрейфу (міграції) вагомих частинок збільшується зі зростанням напруги поля. Однак при певних значеннях напруги між електродами газовий проміжок руйнується, спричиняючи виникнення електричної дуги. Тому вважається оптимальним значення напруги між електродами, що максимально наближене до пробивної напруги.

У системах очищення газів у промисловості, що викидають гази, негативна корона відзначається вищою електричною міцністю газового проміжку порівняно з позитивною. Таким чином, для електродів корони використовується від'ємна напруга струму комутації. Варто відзначити, що утворення значної кількості озону в негативній короні може викликати реакції в атмосфері та призводити до додаткового забруднення.

Електрофільтри, що використовуються у системах вентиляції та кондиціонування, працюють виключно в режимі позитивної корони.

Ефективність очищення газу від дисперсних домішок електрофільтрами залежить від ряду факторів, включаючи параметри газу та зважених частинок, конструктивні особливості обладнання, режим роботи і інші аспекти.

Суттєвим показником є вплив питомого електричного опору (ПЕО) дисперсних частинок, і оптимальне значення цього параметра знаходиться в діапазоні від  $10^6$  до  $10^9$  Ом. Частинки з низьким опором легко заряджаються в електричному полі, але при наближенні до електрода протилежного знаку можуть перезаряджатися, викликаючи взаємодію сил відштовхування. Це може призводити до вторинної міграції таких частинок, які осідають на електродах. Важливим є також вплив високоомного пилу, який, осідаючи на електродах, формує нерівномірний електроізоляційний шар.

В ситуаціях найслабшої ізоляції місцевих областей, зокрема на електродах, найбільша напруженість електричного поля. Це може призводити до утворення "зворотної корони" - явища, яке негативно впливає на роботу електрофільтру.

Зауважимо, що процес вловлювання пилу в електрофільтрах великою мірою залежить від електричного опору самого пилу. Зважаючи на це, пил може бути розділений на три групи в залежності від його опору.

Пил із низьким питомим електричним опором ( $УЕС < 10^4$  Ом м) проявляє характеристики, що визначаються його здатністю миттєво втрачати заряд при зіткненні з осаджувальним електродом і набувати заряд, відповідно до знаку електрода. Цей процес породжує відштовхуючу силу, що направлена проти газового потоку. У разі, якщо ця сила виявиться достатньою для подолання

опору середовища, виникає вторинне відштовхування, зменшуючи ефективність уловлювання пилу в електрофільтрі.

Частинки пилу з питомим електричним опором в межах  $10^4$ - $10^{10}$  Ом осідають на електродах і видаляються без значних ускладнень.

Пил із значним питомим електричним опором ( $> 10^{10}$  Ом) стає складнішим у вловлюванні електрофільтрами. Внаслідок повільного розряду частинок, які осідають на електродах, виникає шар негативно заряджених частинок. Цей шар утруднює подальше осідання частинок, порушуючи ефективність електрофільтру. У таких умовах може виникнути явище зворотної корони, що призводить до зменшення напруги між електродами та значного зростання споживання струму. Пил даної групи часто формує міцний ізоляційний шар на електродах, що ускладнює його видалення. Серед таких частинок можна відзначити пил магнезиту, гіпсу, оксидів свинцю (PbO), цинку (ZnO), а також сульфід свинцю (PbS).

Для зниження питомого електричного опору пилу в газі використовують різні реагенти, такі як діоксид сірки, аміак, хлорид кальцію і хлорид натрію. Схожий ефект можна досягти шляхом додавання струмопровідних частинок сажі або коксу до газу.

Високий питомий опір пилових частинок можна зменшити, охолоджуючи потік пило-газів нижче  $130^{\circ}\text{C}$  або, навпаки, нагріваючи його вище  $350^{\circ}\text{C}$ .

Концентрація частинок і їхній дисперсний склад впливають на ступінь осадження частинок. Частинки можуть мати власний статичний заряд при вході в електрофільтр, і великий заряд, особливо при високій концентрації, може суттєво впливати на параметри осадження частинок і знижувати напругу поля в апараті до моменту замикання корони. Теоретично, мінімальний розмір частинок, які можуть бути уловлені електрофільтрами, не обмежений.

Проте не всі частинки можуть бути уловлені. Для вельми дисперсних частинок високої концентрації, зазвичай у субмікрометровому діапазоні, коронний струм пригнічується об'ємним зарядом, що призводить до низьких концентрацій іонів, необхідних для ефективного заряджання частинок.

Швидкість дрейфу частинок в електричному полі сильно залежить від їхнього розміру. Ця залежність ускладнюється різними механізмами міграції частинок різного розміру: для частинок розміром від 0,1 до менше ніж 0,3 мкм, очікується, що їхня швидкість в електричному полі зменшиться зі збільшенням розміру, в той час як для частинок розміром від 0,3 до 20 мкм ця швидкість спочатку збільшується, а потім знову зменшується.

Параметри газового потоку, такі як вологість та температура, виявляють значний вплив на процес осадження частинок. Зменшення температури призводить до зниження в'язкості газу та опору суспендованих частинок, переміщуючись до електрода. Зниження температури сприяє стабільності коронного розряду, що може призвести до збільшення напруженості поля.

Крім того, при охолодженні оброблюваного потоку збільшується його відносна вологість, що в свою чергу призводить до зниження Електричного Розрядного Струму (ЕРС) частинок через вологість.

Ще одним ключовим фактором, що впливає майже на всі аспекти електроосадження, є швидкість газового потоку. Цей параметр безпосередньо визначає час, протягом якого частинки перебувають в устаткуванні, а також їхні розміри.

Якщо потік газу слабкий, швидкість газу занадто висока або умови перебування погані, захоплені частинки можуть бути віднесені.

Частинки, віднесені від осаджувального електрода, позитивно заряджаються за рахунок емісії у випадку негативної корони. Ці частинки або не перезаряджаються, або перезаряджаються лише частково.

В будь-якому випадку, процес видалення частинок з електрофільтра супроводжується суттєвим падінням ефективності уловлювання. При швидкості потоку, яка перевищує (1. 1,5) м/с, спостерігається раптове зростання вторинного видалення пилу з електродів.

У цьому контексті критично важливо забезпечити рівномірний розподіл швидкості потоку по перерізу обладнання, з метою уникнення суттєвих локальних відмінностей швидкості в зазорах електродів від середньої швидкості.[23]

Електрофільтри є одними з найефективніших пиловловлювачів. Ефективність очищення досягає 99,9 % в широкому діапазоні концентрацій (від декількох міліграмів до 200 г/м<sup>3</sup>) і розмірів частинок (до часток мікрона), а енергоспоживання низьке (близько 0,1-0,5 кВт/год на 1000 м<sup>3</sup> газу). Електрофільтри здатні вловлювати пил з вологих агресивних газових середовищ з температурою до 500 °С.

Продуктивність електрофільтрів може досягати декількох сотень тисяч м<sup>3</sup>/год.

Серед інноваційних методів очищення промислових викидів виділяють електростатичну, каталітичну та звукову/ультразвукову коагуляцію. Електростатичне очищення газів вважається універсальним методом, застосовним до багатьох дисперсних систем з розмірами частинок від 0,01 мкм (віруси, сигаретний дим) до декількох десятків мікрон [3].

Електрофільтри використовуються для очищення газів та повітря в різних процесах металообробки в машинобудуванні, мікроелектроніці та фармацевтиці.

Метод заснований на іонізації та заряджанні аерозольних частинок при проходженні газу через високовольтне електростатичне поле, що генерується коронуючим електродом.

Частинки осаджуються на заземленому осаджувальному електроді. Промислові електрофільтри складаються з ряду заземлених пластин або трубок, через які проходить газ, що очищується.

Дротяні коронуючі електроди підвішені між осаджувальними електродами і живляться напругою 25-100 кВ [2].

### **Переваги електрофільтрів**

Електрофільтри вирізняються значними перевагами, які визначають їх високий ступінь ефективності у вирішенні завдань очищення газу. Зокрема, ці системи забезпечують вражаюче високий рівень очищення газу, досягаючи

значень до 99% і вище, виловлюючи частинки всіх розмірів. Низький газодинамічний опір, що коливається в межах 100-150 Па, підкреслює ефективність їх роботи та знижує витрати енергії.

Електрофільтри володіють також вражаючою універсальністю, можливістю працювати в агресивних середовищах та обробляти гарячі гази. Використання повної автоматизації, включаючи регулювання напруги, видалення уловлених частинок з електродів і вивантаження пилу, повністю механізоване і автоматизоване, що додає ефективності і зручності експлуатації.

Важливою перевагою електрофільтрів є їх здатність функціонувати в умовах підвищеної вологості повітря, дозволяючи їх використання в різноманітних кліматичних умовах. Застосовувати ці системи можна для очищення як твердих, так і рідких забруднень у повітрі, що підкреслює їх універсальність. Крім того, електрофільтри демонструють здатність ефективно видаляти шкідливі газові домішки, що робить їх невід'ємною частиною систем очищення повітря.

### **Недоліки електрофільтрів**

Однак існують і недоліки, такі як високі витрати на будівництво та обслуговування очисних споруд, які зростають зі зменшенням одиничної потужності, а також високе споживання електроенергії, необхідної для створення електростатичного поля.

Споживання електроенергії при електростатичному очищенні становить (0,1-0,5 кВт-год) на 1000 м<sup>3</sup> газу, що очищується.

Недоліками електрофільтрів є висока чутливість до підтримання параметрів очищення, висока металоємність, великі габарити, складність монтажу та обслуговування.

Електростатична фільтрація має ряд обмежень. Електрофільтри не можна використовувати для уловлювання пилу з дуже високим електричним опором. Викиди вибухонебезпечних газів, у тому числі тих, які можуть стати вибухонебезпечними під час обробки, не повинні бути спрямовані на електрофільтр.

Електрофільтри не слід застосовувати, якщо осадження зважених часток може супроводжуватися електрохімічними реакціями з виділенням токсичних продуктів, а в подальшому - додаванням таких (наприклад, SO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> і т.д.) для посилення процесу електрофільтрації.

Електрофільтри є більш складними і дорогими пристроями, які забезпечують тонке очищення повітря і тому зазвичай комбінуються з іншими пиловловлюючими пристроями, які встановлюються на початкових етапах очищення.

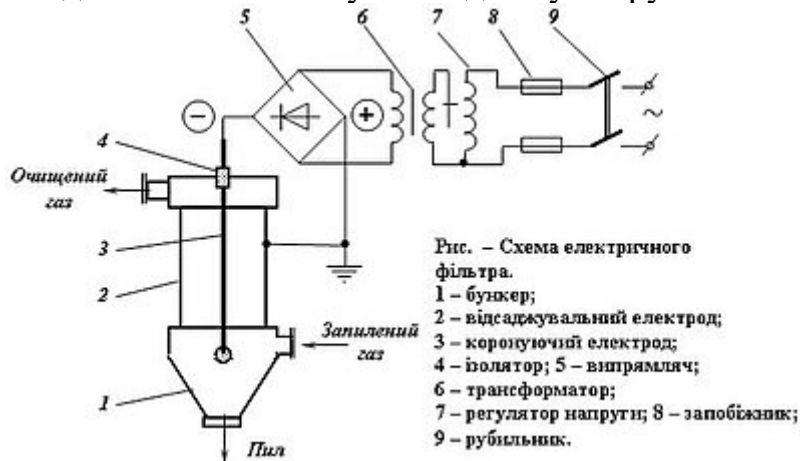
### **Висновок**

Як наслідок, незважаючи на деякі недоліки, електрофільтри є більш економічно вигідними у використанні та забезпечують більш повне очищення. [1].

**2.1.2. Технічні аспекти системи електростатичного очищення. Опис будови та функціонування електричних фільтрів.**

Пристрої для очищення газів електростатичним методом називають електрофільтрами. Основні компоненти електрофільтрів включають **газощільний корпус з коронуючими електродами**, до яких подається випрямлений струм високої напруги, і заземленими **осаджувальними електродами**. Також вони включають **ізолятори електродів, пристрій для рівномірного розподілу потоку по перетину електрофільтру, бункери для збору уловлених частинок, системи регенерації електродів і електроживлення**.

За конструкцією, електрофільтри аналогічні електричним сепараторам з коронувальними електродами. **Осаджувальні електроди** електрофільтрів виконуються у формі заземлених металевих вертикальних труб або пластин, а **коронувальні** мають **форму металевих стержнів**, що розміщуються **всередині труб або між пластинами**. Коронувальні та осаджувальні електроди розташовуються в **герметичних камерах**, через які проміжки між електродами проходить газопилова суміш від низу вгору.



### 2.1.3. Принципова електрична схема електростатичного фільтра

За методом регенерації осаджувальних та коронувальних електродів, **електрофільтри** поділяються на **сухі** та **мокрі**. У **сухих** електрофільтрах для видалення осадженого пилу використовують **вібраційні, магніто-імпульсні, ударно-молоткові та ударно-пружинні системи струшування**. У **мокрих** електрофільтрах для видалення пилу застосовують **промивання електродів необхідною кількістю рідини**.

Конструктивно електрофільтри можуть мати корпус прямокутної або циліндрової форми. У середині корпусів встановлені осаджувальні та коронувальні електроди, механізми струшування електродів, ізоляторні вузли та газорозподільні пристрої.

Частина електрофільтру, де **розміщені електроди**, називають **активною зоною** (рідше - активним об'ємом). В залежності від кількості активних зон існують електрофільтри **однотонні і двотонні**. У однотонних електрофільтрах коронні та **осаджувальні електроди** в просторовому відношенні не розділені конструктивно. В двотонних електрофільтрах відбувається **чітке розділення**. З метою санітарного очищення запиленних викидів використовують однотонні конструкції з розташуванням коронних і осаджувальних електродів в одному робочому об'ємі. **Двотонні** електрофільтри із роздільними зонами для іонізації і

осадження зважених частинок переважно використовуються **при очищенні припливного повітря**. Це пов'язано з тим, що в іонізаційній зоні відбувається **виділення озону**, приймання якого **неприпустиме для повітря**, що подається в приміщення при використанні фільтра для очищення повітря.

Згідно із напрямом руху газу, електрофільтри можуть бути **горизонтальними** або **вертикальними**. **Вертикальні** апарати, хоча й займають значно менше площі в плані, при рівних умовах **мають менші коефіцієнти очищення**. Активна довжина поля вертикального електрофільтру співпадає з активною висотою його електродів.

Електроди на електрофільтрах **періодично очищають від пилу**, використовуючи **струшування або промивку**, для утримання оптимальної ефективності пиловловлювання та уникнення зниження ефективності в результаті осадження пилу. Згідно із цим, електрофільтри бувають на **сухі і мокрі**.

До вологих відносять апарати, які збирають рідкі або значно вологі тверді частинки, а також електрофільтри, електроди яких очищаються самопливом (конденсатом уловленого рідкого аерозолю) або за допомогою змиву частинок, які осіли рідиною. До сухих відносять електрофільтри, які захоплюють сухі тверді частинки і видаляють їх з електродів шляхом струшування через певний інтервал часу.

**Усі вологі електрофільтри**, що отримали застосування в промисловості, мають **вертикальну компоновку**. **Сухі** пристрої можуть бути як вертикальними, так і **горизонтальними**. **Основне** використання серед **сухих** електрофільтрів мають апарати із **горизонтальним напрямком руху газу**, що є горизонтальними **багатопольярними** апаратами, де очищений газ проходить **послідовно через кілька електричних полів**.

Залежно від форми осаджувальних електродів, відомі **трубчасті і пластинчасті** електрофільтри (рис. 2.1.4). Трубчасті електрофільтри складаються з численних елементів із круглим або шестикутним (сотоподібним) перетином. Коронний електрод розташований по осі кожного трубчастого елементу. У пластинчастому електрофільтрі велика кількість паралельних пластин має натягнуті коронні електроди між ними.

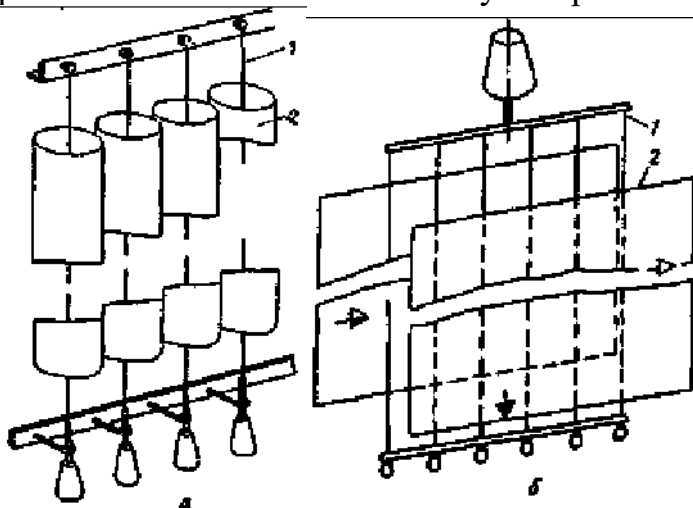


Рис. 2.1.4. Конструктивна схема електродів: а - електрофільтр с трубчастими електродами; б - електрофільтр с пластинчастими електродами;

1 - коронні електроди; 2 - осаджувальні електроди.

### Трубчастий електрофільтр

Конструкція трубчастого електрофільтра передбачає **вертикальну камеру**, в якій встановлені **пакети осаджувальних електродів** у формі **круглих або шестигранних труб**. **Коронувальні електроди**, які використовуються, є **провідниками, натягнутими вздовж осі осаджувальних труб**. **Верхні частини** коронувальних електродів **прикріплені до рами**, що **підвішена на електричних ізоляторах**, а **нижні частини з'єднані зі спільною рамою**.

Запилений газ проникає у фільтр через **нижній вхідний газовідсмоктувач**. Для однорідного розподілу газу по трубах використовується **газорозподільна решітка**, розташована на шляху газу перед виходом у труби. Очищений газ виводиться через **верхній газовідсмоктувач**, а пил збирається в нижній частині електрофільтра і періодично видаляється через отвір у днищі.

У окремих варіантах конструкції трубчастих електрофільтрів, решітка та осаджувальні електроди **періодично відшаровуються або струшуються**.

### Пластинчастий електрофільтр

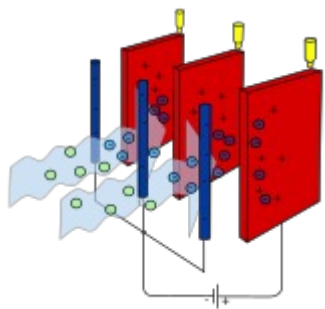


Рис. 2.1.5. Принципова схема пластинчастого електростатичного фільтра

В електрофільтрі з пластинчастою конструкцією **осаджувальні електроди** представлені **паралельними гладкими металевими листами** або **натягнутими на рамі сітками**. Між цими електродами **підвішені коронуючі електроди** у формі **ніхромових** або **фехралевих** дротів. Для очищення **гарячих газів** використовують **осаджувальні електроди** у вигляді **хвилястих листів** або **прутків** для уникнення **жолоблення**.

Існують **вертикальні пластинчасті** електрофільтри з рухом газів знизу вгору та **горизонтальні** із горизонтальним напрямком газів. Для поліпшення очищення газів використовують **багатосекційні** електрофільтри із **послідовним з'єднанням секцій**.

Для улавлювання **вугільного** та іншого **вибухонебезпечного пилу** застосовують **вертикальні пластинчасті електрофільтри типу ДВП** (димові вертикальні пластинчаті). Особливістю цих **пристроїв** є **наявність відкритої у атмосферу шахти**, що дозволяє **уникнути пошкодження корпусу при вибухах пилу**.

Електрофільтри поділяють на **однозонні**, де зарядка і осадження частинок пилу відбувається в одній зоні, і **двозонні**, де зарядка і осадження відбувається в двох різних зонах: **в першій – іонізація** частинок здійснюється за допомогою

встановлених коронуючих електродів, в другій – частинки осаджуються за допомогою встановлених осаджувальних електродів.

Очищення газів від волого тонко дисперсного пилу та туману виконується за допомогою мокрих трубчастих або пластинчастих електрофільтрів. Мокрі електрофільтри використовують для очищення газів, де можлива конденсація вологи при їх охолодженні до точки роси. Труби мокрих електрофільтрів можуть бути виготовлені із свинцю (фільтри для уловлювання сірчаноокислотного туману) або з графіту або феросиліду (фільтри для очищення газів, утворених при випарюванні сірчаної кислоти). Коронуючі електроди виготовляються із свинцевого дроту, який має круглий або зіркоподібний переріз. Вологий пил, який осідає на електродах, періодично змивається з них.

**Кожна з конструкцій фільтрів має свої переваги і недоліки.** Так, трубчаста конструкція може забезпечити:

- вище напруження електричного поля і відповідно більшу допустиму швидкість газу;

- краще уловлювання неелектропровідного пилу при помірній вологості.

Однак для трубчастої конструкції є характерними:

- складність видалення осілого пилу;

- громіздкість та висока металомісткість;

- складність монтажу;

- енергоємність при роботі. [24]

**Форми осаджувальних і коронних електродів можуть бути найрізноманітнішими.** Коронні електроди можуть набиратися з тонких круглих або товстих шестигранних стрижнів, сталевих пилкоподібних смуг, профільованих стрічок з голчатою штамповкою. Іноді застосовуються і інші форми. Осаджувальні електроди сухих фільтрів виготовляють у формі профільованих пластин, жолобів, рідше - коробок із круглими або складними вирізами для кращого утримання обложеного пилу та запобігання вторинного віднесення. У мокрих електрофільтрах проблема вторинного віднесення менш важлива, тому електроди виготовляють у вигляді наборів прутків і гладких пластин, сприяючи легкому змиванню осаду.

Електроди сухих фільтрів струшують зіткненням або за допомогою спеціальних ударно-молоткових механізмів. Зіткнення використовують головним чином для струшування коробкових електродів. Решта типів коронних і осаджувальних електродів змивають ударами молоткових механізмів, що обертаються, по ковадлах, прикріплених до цих електродів.

Промивка електродів в мокрих електрофільтрах може проводитися періодично або безперервно. Для періодичної очистки електродів подають значну кількість води чи іншої промивальної рідини (на активну зону) при відключенні напруги. Протягом процесу промивки припиняють подачу газу в секції.

Перетікання неочищеного газу поза активною зоною, навіть в невеликій кількості, може помітно погіршити ефективність очищення. У горизонтальних фільтрах неактивні зони розташовані над і під електродною системою

(включаючи бункери), а також в проміжках між крайніми осаджувальними електродами і корпусом. У вертикальних пластинчастих фільтрах є неактивні проміжки між осаджувальними електродами і корпусом. У вертикальних трубчастих апаратах неактивні зони можна усунути повністю. У пластинчастих конструкціях проміжки необхідні для струшування електродів і дотримання пробійних проміжків. Тому в таких електрофільтрах передбачають клапани (щитки), які створюють лабіринтове ущільнення і зменшують перетікання газу.

Швидкість потоку газу, який проходить очищення, у активній зоні, є однією з ключових характеристик електрофільтра. Максимальне значення електричного заряду частинок розміром до 1 мкм отримують за близько 1 секунду в електростатичному полі. Швидкість визначається конструкцією електрофільтра. Так, у сухих електрофільтрах її значення зазвичай лежить в межах 0,8... 1,7 м/с. Повинен бути забезпечений рівномірний розподіл швидкості газу, який проходить очищення, по перетину апарату. Для вирівнювання швидкісного поля в електрофільтрі встановлюють ґрати, що направляють лопатки, перфоровані пластини.

Широке поширення в промисловості отримали **електрофільтри типу УГ, ЕГА і інші**. Ці пристрої використовують на **теплових електростанціях**, в чорній і кольоровій металургії, хімічній промисловості та на підприємствах будівельних матеріалів.

Електрофільтри загального призначення, такі як ЕГА, ЕГТ (горизонтальний сухий тип), УВ і ЕВВ (вертикальний сухий тип), а також деякі спеціальні типи електрофільтрів можуть бути рекомендовані для промислового очищення газів. Електрофільтри серії **ЕГА** використовують для знепилювання **неагресивних невибухонебезпечних** газових викидів з температурою до **330°C**. Корпус пристрою виготовлений зі сталі і має прямокутну форму. Термоізований сталевий корпус пристрою розрахований на вакуум до 4 кПа і має прямокутну форму. Обладнання має **три електростатичних поля**, розташованих **послідовно** в напрямку потоку газу. Осаджувальні електроди являють собою плоскі сітки, а коронні електроди - дріт (діаметр дроту 2,2 мм), натягнутий з вантажами між осаджувальними електродами; одна активна зона має довжину 2,5 м, ширину 5,97 м (ширина корпусу 6,0 м) і висоту 7,74 м, з відстанню між сусідніми осаджувальними електродами 260 мм. Зібраний пил видаляється з електродів механічним постукуванням по ковадлах коронируючих електродів і рамах за допомогою шейкера. Установки ОGP мають ефективну висоту 4,5 м, довжину 1,5 м, ширину зони 2,17 м (ОГП-4-8) і 3,98 м (ОГП-4-16) і ширину рами 2,20 м і 4,0 м. Випускаються у вигляді колонних установок. Допустиме розрідження всередині установки - 1,5 кПа.

Електрофільтри серії ЕГТ (рис. 2.1.6.) служать для очищення, неагресивних газів, нагрітих до 450°C.

Основною відмінністю від попередньої версії апарату є конструкція осаджувальних електродів, яка аналогічна конструкції електрофільтрів серії ЕГА. Висота коронируючого електрода 8040 мм; корпус розрахований на вакуум до 4 кПа; маркування електрофільтрів серії ЕГТ: горизонтальний високотемпературний електрофільтр; перша цифра після літери - номер

розмірного ряду (типорозміру); друга - кількість полів; третя - довжина поля в м; четверта - активна площа поперечного перерізу м<sup>2</sup>.

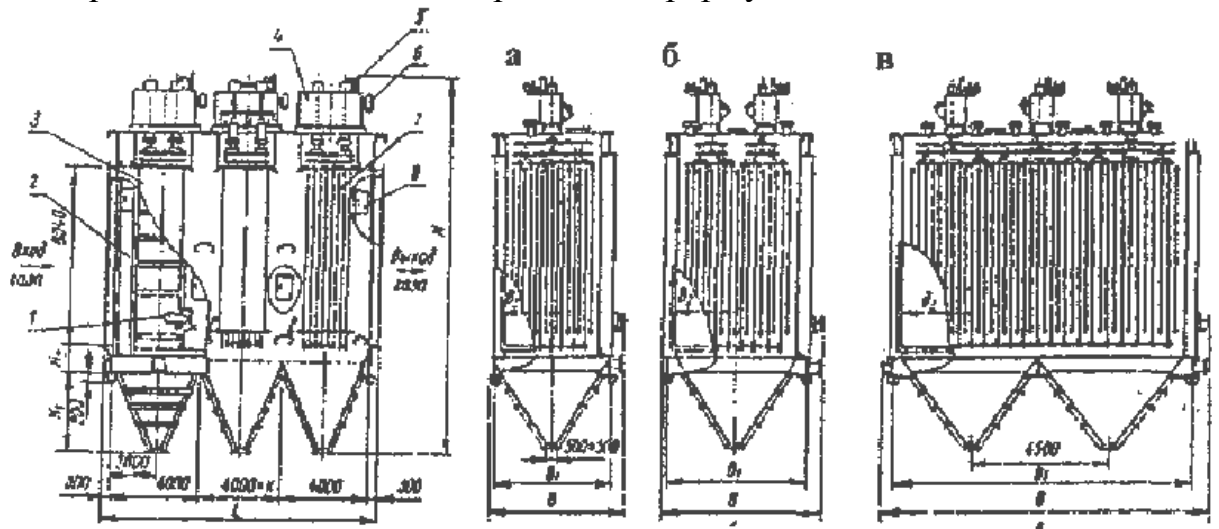


Рис. 2.1.6. Електрофільтр типу ЕГТ: а - електрофільтри ЕГТ 2-3-2,5-20 і ЕГТ 2-4-2,5-20; б - електрофільтри ЕГТ 2 - 3-2,5-30, ЕГТ 2 - 4-2,5-30, ЕГТ 2 - 3-2,5-40 і ЕГТ 2 -4-2,5-40; в - електрофільтри ЕГТ 2 - 3-2,5-60 і ЕГТ 2 - 4-2,5-60; 1 - механізм струшування осаджувальних електродів; 2 - корпус; 3 - осаджувальний електрод; 4 - ізоляторна коробка; 5 - механізм струшування коронних електродів; 6 - захисна коробка для підведення струму; 7 - коронний електрод; 8 - люк обслуговування.

Електрофільтр **ЕГ 2-2-4-37 СРК** (рис. 2.1.7) призначений для очищення газу в котлоагрегатах з регенерацією соди. Електрофільтр одноступінчатий, **два електростатичних поля** генеруються послідовно вздовж потоку газу. Коронуючий електрод являє собою трубчасту раму з закріпленими коронуючими елементами, а осаджувальний електрод виконаний у вигляді плоскої сітки, зібраної з пластинчастих елементів спеціальної форми. Відстань між сусідніми осаджувальними електродами становить 300 мм, висота електродів - 7200 мм, ширина поля - 6000 мм.

Символ електрофільтру означає горизонтальний електрофільтр, **перше число** вказує на **розмір(и) осаджувальних електродів**, **друге** - на **кількість зон**, **третє** - на **ефективну довжину зони (м)** і **четверте** - на **ефективну площу** поперечного перерізу (м<sup>2</sup>). Гідравлічний опір фільтра становить 200 Па, розрідження електрофільтра - 3000 Па, витрата газу зі швидкістю 1 м/с - 37 м<sup>3</sup>/с, температура газу, що очищується - 130..... 250°С, приблизна чистота газу на виході з содового котла регенерації - 98%.

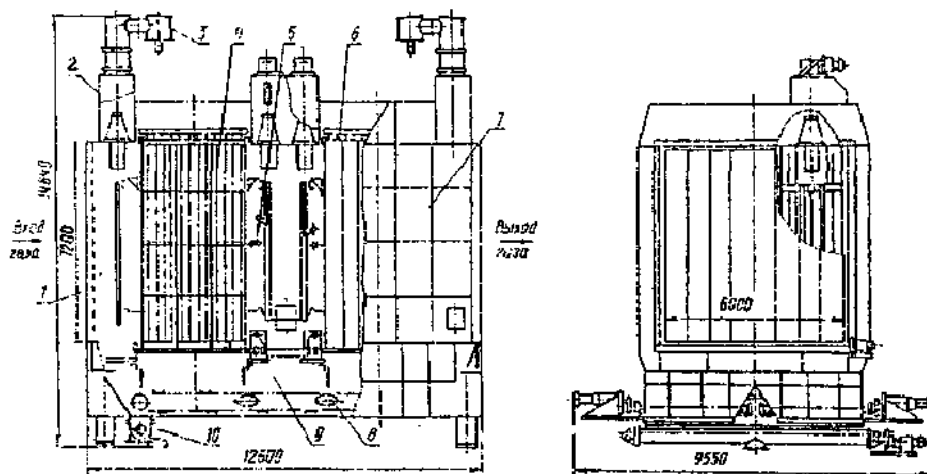


Рис. 2.1.7. Электрофильтр ЕГ 2 - 2 - 4 - 37 СРК: 1 - газорозподільні решітки; 2 - ізоляторна коробка; 3 - захисна коробка для підведення струму; 4 - коронуючий електрод; 5 - механізм струшування коронуючих електродів; 6 - осаджувальний електрод; 7 - корпус; 8 - скребковий конвеєр; 9 - механізм струшування осаджувальних електродів; 10 - шнековий конвеєр.

Электрофильтр УГМ (рис. 2.1.8) застосовується для очищення від пилу неагресивних і невибухонебезпечних технологічних газів з температурою до 250°C. Апарат односекційний і має два електричних поля вздовж траєкторії руху газу. Корпус електрофільтру прямокутний, теплоізольований і розрахований на вакуум до 4 кПа. Електроди колектора являють собою плоскі сітки, зібрані з пластинчастих елементів спеціальної форми. Відстань між сусідніми електродами становить 275 мм. Коронні електроди складаються зі стрічкових голчастих елементів, натягнутих на трубчастий каркас. Висота електрода - 3000 мм, ширина корпусу - 1500 мм (УГМ-2-3,5) і 3000 мм (УГМ-2-7). Пил видаляється з електродів механічним струшуванням. Электрофильтр маркується комбінованим горизонтальним малим розміром, де **перше число - кількість зон**, а **друге - ефективна площа** поперечного перерізу в м<sup>2</sup>. [23]

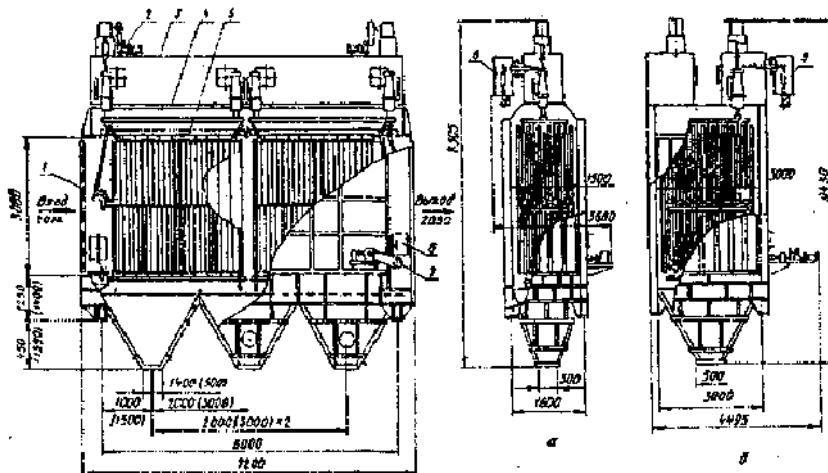


Рис. 2.1.8. Электрофильтры типа УГМ (выполнения корпуса - П): а - электрофильтр УГМ-2 - 3,5; б - электрофильтр УГМ-2 - 7; 1 - газорозподільні решітки; 2 - механізм струшування коронуючих електродів; 3 - корпус; 4 - осаджувальний електрод; 5 - коронуючий електрод; 6 - люк обслуговування; 7 -

механізм струшування осаджувальних електродів; 8 - захисна коробка для підведення струму.

Електрофільтр **ЕГ-КЕН** застосовують для знепилювання газів, що містять високоомні дисперсні частинки з питомим електричним опором в межах 10-10 Ом. Електрофільтр **ЕГ-2-3,8-17-0,4** випускається в двох типорозмірах, що позначаються як **КЕН** і **ЕГ-2-4-2,5-77-05 UNITED**. Це стосується горизонтальних електрофільтрів, де **перша цифра** після літери означає номер типорозміру, **друга** - кількість зон, **третья** - довжину активної зони в м, **четверта** - активну площу поперечного перерізу в м<sup>2</sup> і **п'ята** - модифікацію. Висота і ширина електродів складають 6000 і 7150 мм, 3200 і 11810 мм відповідно, пропускна здатність при швидкості газу 1 м/с -16,7 г/сек і 77,8 г/сек, а допустима температура - 330°С і 250°С. Стійкість електрофільтру до тиску води становить 200 Па, а максимально допустимий вакуум - 5 кПа. Відстань між сусідніми електродами становить 300 мм. Коронируючі електроди змонтовані з профільованої стрічки і генерують електричне поле зі складною схемою зміни напруги. Пил, що вловлюється, видаляється механічним струшуванням електродів.

Ряд конструктивних характеристик горизонтальних електрофільтрів, призначених для сухого очищення газів від пилу, приведений в табл. 2.1.9

Таблиця 2.1.9. Конструктивні характеристики горизонтальних електрофільтрів.

Марка і типорозмір електрофільтра	Площа активного сечіння, м <sup>2</sup>	Загальна площа осаження, м <sup>2</sup>	Габарити, м			
			довжина	ширина	висота	
ЕГА1-10-4-4-2	11	430 645 967	9,26	4,84	10,41	
ЕГА1-10-4-6-2			11,82		11,41	
ЕГА1-10-4-6-3			17,28		11,41	
ЕГА1-10-6-4-2	16,5	635 952 952 1430	9,26	4,89	12,41	
ЕГА1-10-6-4-3			13,44			13,41
ЕГА1-10-6-6-2			11,82			
ЕГА1-10-6-6-3			17,28			
ЕГА1-14-7,5-4-3	28,7	1656 2210 1656 2485	13,44	6,15	13,91	
ЕГА1-14-7,5-4-4			17,62			
ЕГА1-14-7,5-6-2			11,82			14,91
ЕГА1-14-7,5-6-3			17,28			
ЕГА1-20-7,5-4-3	41	2366 3157 2366 3550	13,44	7,95	15,41	
ЕГА1-20-7,5-4-4			17,62			
ЕГА1-20-7,5-6-2			11,82			
ЕГА1-20-7,5-6-3			17,28			
ЕГА1-20-9-6-2	49	2827 4243 5660	11,82		16,91	
ЕГА1-20-9-6-3			17,28			
ЕГА1-20-9-6-4			22,74			

Вертикальний сухий електрофільтр УВ (рис. 2.1.10.) може використовуватися для очищення від пилу неагресивних і

невибухонебезпечних технологічних газів з температурою до 250°C. Електрофільтри одностулкового типу використовуються при низькому вмісті пилу (до 30 г/м<sup>3</sup>) в межах оптимального значення питомого опору. Зокрема, вони використовуються для очищення припливного повітря в електролізерах на алюмінієвих заводах.

Електрофільтри бувають одно-, дво- або триступеневі. Корпус прямокутної форми, теплоізольований. Секції установки розділені суцільними перегородками: УВ 2х24 і УВ 3х24 мають ширину секції 6,1 м, а УВ 3х24 - 4,25 м. Потік газу в кожній секції організований знизу вгору. Вакуум в установці становить до 3,5 кПа. Осаджувальні електроди мають пластинчасту форму. Відстань між сусідніми електродами - 275 мм. Коронний електрод являє собою циліндричну раму, на яку натягнутий ремінь із зубчастих елементів. Ефективна довжина поля (висота електродів) становить 7,5 м. Пил видаляється з електродів струшуванням. Маркування електрофільтрів означає: комбінований вертикальний; перша цифра після літери - кількість секцій, друга цифра - ефективна площа поперечного перерізу м<sup>2</sup> однієї секції.

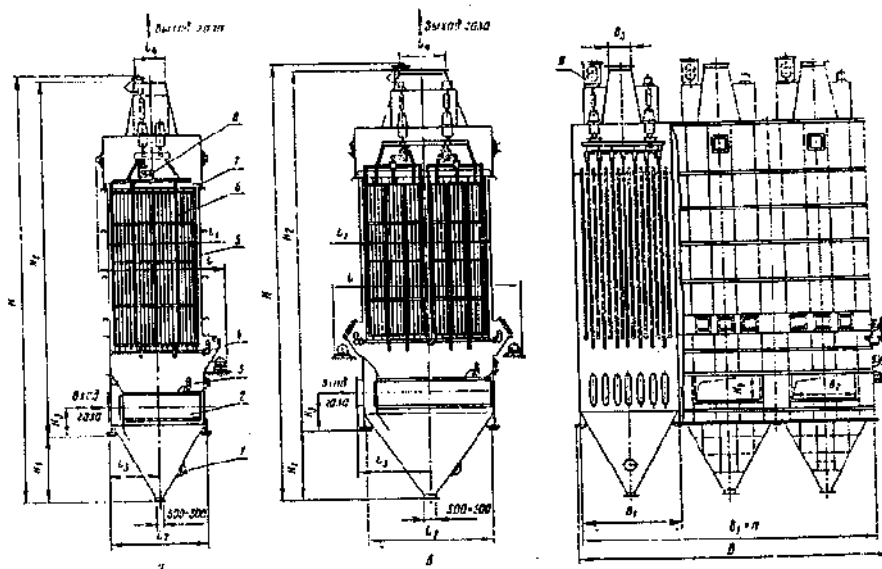


Рис. 2.1.10. Електрофільтри типу УВ: а - електрофільтри УВ 2х10, УВ 1х16 і УВ 2х16; б - електрофільтри УВ 2х21, УВ 3х21; 1 - люк обслуговування; 2 - газорозподільник; 3 - механізм струшування газорозподільника; 4 - механізм струшування осаджувальних електродів; 5 - корпус; 6 - коронуючий електрод; 7 - осаджувальний електрод; 8 - механізм струшування коронуючих електродів; 9 - захисна коробка для підведення струму.

Деякі конструктивні характеристики сухих вертикальних електрофільтрів приведені в таблиці 2.1.11.

Таблиця 2.1.11. Конструктивні характеристики сухих вертикальних електрофільтрів

Марка електрофільтра	Площа активного сечення, м <sup>2</sup>	Загальна площа осадів, м <sup>2</sup>	Габарити, м		
			Довжина	Ширина	Висота
УВ2х21,6	1200	5,75	6,69	20,15	



Найбільш ефективним комбінованим методом очищення є, наприклад, використання скрубера Вентурі і електрофільтра після очищення в батареїному циклоні [3].

Також використовується пристрій, що складається з трьох фільтрів - фільтр грубої очистки, електростатичний фільтр і хімічний фільтр. Повітряний потік проходить через попередній фільтр (фільтр грубої очистки), де затримуються більші частинки. Потім повітря потрапляє в іонізатор, де частинки заряджаються між дротяним коронуючим електродом і пластинчастим заземлювачем під високою напругою (12-13 кВ).

Заряджені частинки притягуються до заземлювача і осідають на ньому. Хімічний фільтр очищає, наприклад, повітря від шкідливих газових домішок. Очищене повітря повертається в приміщення, заощаджуючи тепло та електроенергію, або викидається в атмосферу [2].

F, м <sup>2</sup>	D <sub>1</sub> 10 <sup>3</sup> , м	d <sub>1</sub> , м	l 10 <sup>-3</sup> , м	S, м <sup>2</sup>	V, м/с	H, м	t, °C	P <sub>r</sub> , Н/м <sup>2</sup>	U 10 <sup>-3</sup> , В
7	2,0	0,24	3,0	600	0,5	0,16	150	2100	40

Фракційний склад матеріалу	Фракційний склад пилової суміші							
10% CO <sub>2</sub> , 5% O <sub>2</sub>	r <sub>i</sub> , мкм	0.5	2.5	5	10	15	20	25
10% H <sub>2</sub> O 72% SO <sub>2</sub>	Φ <sub>i</sub> , %	5	10.0	10	15	20	20	20

### Розрахунок геометричних параметрів

Теоретичні положення:

Відносна густина газового потоку:

$$\beta = \frac{(1.03 \cdot 10^5 - P_r)}{1.03 \cdot 10^5} \cdot \frac{293}{(t_r + 273)}$$
2.2.1

Критична напруженість електричного поля, В/м:

$$E_0 = 3.04 \cdot \left( \beta + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{D_1}} \cdot 10^6 \right)$$
2.2.2

Критична напруга коронувального електрода, В:

$$U_0 = E_0 \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot H}{d_1} - \ln \frac{\pi \cdot D_1}{d_1} \right)$$
2.2.3

Лінійна швидкість потоку корони, А /м:

$$i_0 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K_0 \cdot v}{9 \cdot 10^9 \cdot d_1^2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot H}{d_1} - \ln \frac{\pi \cdot D_1}{d_1} \right)} \cdot U \cdot (U - U_0)$$
2.2.4

де  $v$  – коефіцієнт взаємного розташування електродів;  $K_0$  – рухливість іонів, м<sup>2</sup>/(В·с) [6].

Для розрахунку використана методика [6]: Відносна густина газового потоку.:

$\beta = \frac{(1.03 \cdot 10^5 - P_r)}{1.03 \cdot 10^5} \cdot \frac{293}{(t_r + 273)} = \frac{1.03 \cdot 10^5 - 2100}{1.03 \cdot 10^5} \cdot \frac{293}{150 + 273} = 0.679$	2.2.5
--	-------

Критична напруженість електричного поля за 3.1.2.:

$E_0 = 3.04 \cdot \left( \beta + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{D_1}} \right) \cdot 10^6 = 3.04 \cdot \left( 0.679 + 0.0311 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0.679}{2 \cdot 10^{-3}}} \right) \cdot 10^6 = 4.526 \times 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$	2.2.6
---	-------

Критична напруга коронувального електрода за 3.1.3.:

$U_0 = E_0 \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \left( \frac{\pi \cdot H}{d_1} - \ln \left( \frac{\pi \cdot D_1}{d_1} \right) \right) = 4.526 \times 10^6 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \left( \frac{3.14 \cdot 0.16}{0.24} - \ln \left( \frac{3.14 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0.24} \right) \right) =$ $= 2.596 \times 10^4 \text{ В}$	2.2.7
--	-------

Лінійна швидкість потоку корони:

$v_0 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K_0 \cdot v}{9 \cdot 10^9 \cdot d_1^2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot H}{d_1} - \ln \left( \frac{\pi \cdot D_1}{d_1} \right) \right)} \cdot U \cdot (U - U_0) = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-4} \cdot 7 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9 \cdot 0.24^2 \cdot \left( \frac{3.14 \cdot 0.16}{0.24} - \ln \left( \frac{3.14 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0.24} \right) \right)} \cdot$ $\cdot 46 \cdot 10^3 \cdot (46 \cdot 10^3 - 2.596 \times 10^4) = 1.797 \times 10^{-4} \frac{\text{А}}{\text{м}}$	2.2.8
---	-------

де  $v$  – коефіцієнт взаємного розташування електродів,  $v = 7 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_0$  – рухливість іонів,  $K_0 = 2.1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  [6].

### Розрахунок потужності споживаної електрофільтром

Теоретичні положення:

Динамічна в'язкість компонентів газового потоку, кг/(м·с):

$\mu_{\Pi} = \mu_{0\Pi} \cdot \frac{273 + C_{\Pi}}{(t_r + 273) + C_{\Pi}} \cdot \left( \frac{t_r + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}},$	2.2.9
--	-------

де  $\mu_{0\Pi}$ ,  $C_{\Pi}$  – в'язкість компонентів газу за стандартних умов і газова стала, які визначаються за [6].

Динамічна в'язкість газу, кг/(м·с):

$\mu = \frac{a_1 M_1 + a_2 M_2 + \dots + a_n M_n}{\frac{a_1 M_1}{\mu_1} + \frac{a_2 M_2}{\mu_2} + \dots + \frac{a_n M_n}{\mu_n}}$	2.2.10
---	--------

Швидкість переміщення частинок доосаджувального електрода, м/с:

$\omega_{\Pi} = \frac{0,118 \cdot 10^{-11} E_0 g r_i}{\mu}$	2.2.11
---	--------

Ступінь очищення газів:

$\eta = 1 - e^{-\omega_{\text{п}} f},$	2.2.12
--	--------

Де  $f$  – питома площа поверхні осадження,  $f = \frac{S}{v \cdot F}$ , м<sup>2</sup>/(м<sup>3</sup>·с). Фракційний ступінь очищення компонентів газового потоку:

$\eta_{\text{Фп}} = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п}} f}{2}}.$	2.2.13
--	--------

Загальний ступінь очищення газів:

$\eta = \frac{\eta_{\text{Ф1}} \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\text{Ф2}} \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\text{Фn}} \Phi_n}{100}.$	2.2.14
---	--------

Потужність споживана електрофільтром, кВт:

$N = \frac{U_0 I_{\text{сер}} R_{\text{ф}} \cos \varphi}{1,41 \eta_e} + N_{\text{стр}},$	2.2.15
--	--------

де  $I_{\text{сер}}$  – середнє значення сили струму, споживаної електрофільтром,  $I_{\text{сер}} = i_0 \cdot l$ , А;  $R_{\text{ф}}$  – коефіцієнт форми кривої струму,  $R_{\text{ф}} = 1.2 \dots 1.5$ ;  $\cos \varphi = 0.70 \dots 0.75$ ;  $\eta_e = 0.8$ ;  $N_{\text{стр}}$  – потужність, споживана механізмом струшування,  $N_{\text{стр}} = 0.8 \dots 1.5$  кВт.

Для розрахунку використана методика [6]: Динамічна в'язкість компонентів газового потоку:

$\mu_{\text{CO}_2} = \mu_{0\text{п.1}} \cdot \frac{273 + C_{\text{п.1}}}{(t_{\text{г}} + 273) + C_{\text{п.1}}} \cdot \left( \frac{t_{\text{г}} + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 13.7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 254}{150 + 273 + 254} \cdot \left( \frac{150 + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 2.057 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$	$\frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$
$\mu_{\text{O}_2} = \mu_{0\text{п.2}} \cdot \frac{273 + C_{\text{п.2}}}{(t_{\text{г}} + 273) + C_{\text{п.2}}} \cdot \left( \frac{t_{\text{г}} + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 20.3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 131}{150 + 273 + 131} \cdot \left( \frac{150 + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 2.855 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$	$\frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$
$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \mu_{0\text{п.3}} \cdot \frac{273 + C_{\text{п.3}}}{(t_{\text{г}} + 273) + C_{\text{п.3}}} \cdot \left( \frac{t_{\text{г}} + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 673}{150 + 273 + 673} \cdot \left( \frac{150 + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 1.498 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$	$\frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$
$\mu_{\text{SO}_2} = \mu_{0\text{п.4}} \cdot \frac{273 + C_{\text{п.4}}}{(t_{\text{г}} + 273) + C_{\text{п.4}}} \cdot \left( \frac{t_{\text{г}} + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 11.7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 396}{150 + 273 + 396} \cdot \left( \frac{150 + 273}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 1.843 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$	$\frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$

де  $\mu_{0\text{п}}$ ,  $C_{\text{п}}$  – в'язкість компонентів газу за стандартних умов і газова стала, які визначаються.

Динамічна в'язкість газу.:

$$\mu = \frac{a_1 \cdot M_1 + a_2 \cdot M_2 + a_3 \cdot M_3 + a_4 \cdot M_4}{\frac{a_1 \cdot M_1}{\mu_{\text{CO}_2}} + \frac{a_2 \cdot M_2}{\mu_{\text{O}_2}} + \frac{a_3 \cdot M_3}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} + \frac{a_4 \cdot M_4}{\mu_{\text{SO}_2}}} = \frac{0.13 \cdot 44 + 0.65 \cdot 32 + 0.085 \cdot 18 + 0.72 \cdot 64}{\frac{0.13 \cdot 44}{2.057 \times 10^{-5}} + \frac{0.65 \cdot 32}{2.855 \times 10^{-5}} + \frac{0.085 \cdot 18}{1.498 \times 10^{-5}} + \frac{0.72 \cdot 64}{1.843 \times 10^{-5}}} = 2.054 \times 10^{-5} \frac{\text{кг}}{(\text{м} \cdot \text{с})}$$

Швидкість переміщення частинок доосаджувального електрода за

$\omega_{\text{п.1}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_1}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 0.5}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.013 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.2}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_2}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 2.5}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.064 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.3}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_3}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 5}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.127 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.4}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_4}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 10}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.255 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.5}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_5}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 15}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.382 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.6}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_6}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 20}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\omega_{\text{п.7}} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot E_0 \cdot g \cdot r_7}{\mu} = \frac{0.118 \cdot 10^{-11} \cdot 4.526 \times 10^6 \cdot 0.01 \cdot 9.8 \cdot 25}{2.054 \times 10^{-5}} = 0.637 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Питома площа поверхні осадження.

$$f = \frac{S}{v \cdot F} = \frac{600}{0.5 \cdot 7} = 171.429 \frac{\text{м}^2}{(\text{м}^3 \cdot \text{с})}$$

Фактична швидкість переміщення частинок в електричному полі вдвічі менша, ніж теоретична, тому одержані значення швидкостей зменшуються вдвічі. Фракційний ступінь очищення компонентів газового потоку.:

$\eta_1 = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п.1}} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.013 \cdot 171.429}{2}} = 0.664$
$\eta_2 = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п.2}} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.064 \cdot 171.429}{2}} = 0.996$
$\eta_3 = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п.3}} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.127 \cdot 171.429}{2}} = 1$
$\eta_4 = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п.4}} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.255 \cdot 171.429}{2}} = 1$
$\eta_5 = 1 - e^{-\frac{\omega_{\text{п.5}} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.382 \cdot 171.429}{2}} = 1$

$$\eta_6 = 1 - e^{-\frac{\omega_{п.6} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.50951 \cdot 171.42857}{2}} = 1$$

$$\eta_7 = 1 - e^{-\frac{\omega_{п.7} \cdot f}{2}} = 1 - e^{-\frac{0.637 \cdot 171.429}{2}} = 1$$

Загальний ступінь очищення газів.:

$$\eta = \frac{\eta_1 \cdot \Phi_1}{100} + \frac{\eta_2 \cdot \Phi_2}{100} + \frac{\eta_3 \cdot \Phi_3}{100} + \frac{\eta_4 \cdot \Phi_4}{100} + \frac{\eta_5 \cdot \Phi_5}{100} + \frac{\eta_6 \cdot \Phi_6}{100} + \frac{\eta_7 \cdot \Phi_7}{100} = \frac{0.664 \cdot 5}{100} + \frac{0.996 \cdot 10}{100} + \frac{1 \cdot 10}{100} + \frac{1 \cdot 15}{100} + \frac{1 \cdot 20}{100} + \frac{20}{100} + \frac{20}{100} = 0.983 \%$$

Потужність споживана електрофільтром.:

$$N = \frac{U_0 \cdot I_{сер} \cdot R_{\phi} \cdot \cos \varphi}{1.41 \cdot \eta_e} + N_{стр} = \frac{2.596 \times 10^4 \cdot 0.539 \cdot 1.5 \cdot 0.75}{1.41 \cdot 0.8} + 1.2 = 1.396 \times 10^4 \text{ Вт}$$

Де  $I_{сер}$  – середнє значення сили струму, споживаної електрофільтром,  
 $I_{сер} = i_0 \cdot l = 1,797 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^3 = 0.539$ , А;  $R_{\phi}$  – коефіцієнт форми кривої струму,  $R_{\phi} = 1.2 \dots 1.5$ ;  $\cos \varphi = 0.70 \dots 0.75$ ;  $\eta_e = 0.8$ ;  $N_{стр}$  – потужність, споживана механізмом струшування,  $N_{стр} = 0.8 \dots 1.5$  кВт.

## РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ

### 3.1. Вплив на рівень забруднення навколишнього середовища.

Рівень забруднення повітря визначається концентрацією забруднення в приземному шарі повітря і залежить від технічних факторів (наприклад, швидкості потоку газоповітряної суміші, температури, концентрації забруднення у викидах, висоти джерела викидів, діаметру труби та ін.).

Метеорологічні фактори включають розташування джерела викидів, напрямок переважаючих вітрів, швидкість вітру, температуру, вологість, наявність інверсій, туману, опадів тощо. Взаємодія вищезазначених факторів створює мікрокліматичні умови, характерні для місцевості, де розташований великий промисловий об'єкт.

При спалюванні твердого палива в атмосферу з відпрацьованими газами потрапляють зола, діоксид сірки, оксид вуглецю, важкі метали та парникові гази.

Розсіювання шкідливих викидів таб. 3.1.1., забруднюючих речовин не перевищують ГДК, крім кислоти масляної, пилу антрациту, карбонату кальцію.

Таблиця 3.1.1. Максимальні приземні концентрації шкідливих викидів на межі СЗЗ з врахуванням фонового забруднення

Найменування речовини	Фон, мг/м	мг/м <sup>3</sup>	ГДК, частка
Гідроксид кальцію	0	0,004	0,02
Діоксид азоту	0,006	0,01	0,12
Аміак	0	0,002	0,01
Саж	0,012	0,0195	0,13
Сірчистий ангідрид	0,02	0,375	0,75
Оксид вуглецю	0,39	1,39	0,28
Кислота масляна	0	0,194	12,9
Кислота оцтова	0	0,2	1
Пил неорганічний (SiO <sub>2</sub> 70-20%)	0,031	0,037	0,12
Пил жому	0	0,0564	0,94
Пил деревини	0,0072	0,0162	0,162
Пил цукру	0	0,001	0,01
Пил антрациту	0	0,76	6,91
Карбонат кальцію	0	0,983	6,55
Група сумації №3	0	0,02ГДК	0,02

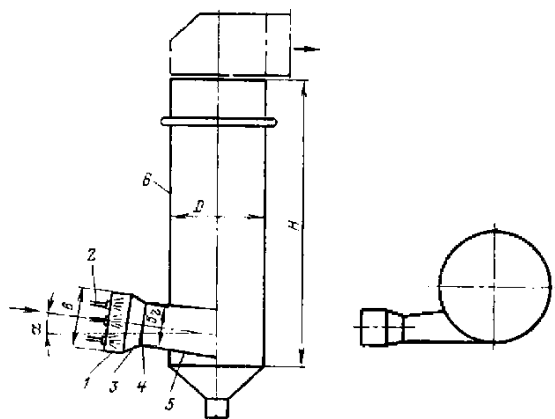
### 3.2. Оцінка витрат та економічна доцільність впровадження технології.

Розглянемо технології очищення димових газів від забруднюючих речовин.

#### Пиловидалення на ТЕЦ.

На теплових електростанціях України використовуються мокрі золоуловлювачі (ТЕС, блоки 150 і 200 МВт) та електрофільтри (блоки 300 МВт).

Рис. 3.2.1 Мокрий золоуловлювач-скруббер з коагулятором Вентурі [3]: 1 – вхідний патрубок запиленого газу; 2 – подача води через зрошувальні сопла; 3, 4, 5 – конфузур, горловина та дифузур коагулятора Вентурі; 6 – скруббер-краплевловлювач



**Скруббер.** Вода впорскується в потік газу перед трубами Вентурі через форсунки. Потік прискорюється в конфузурі (50-70 м/с), краплі дробляться в горловині, а частинки золи стикаються з краплями в дифузурі, зменшуючи швидкість потоку. Потім потік вводиться в скруббер в тангенціальному напрямку, його стінки зрошуються водою, а флокульовані частинки видаляються у відстійник (ефективність 75-85%).

**Електрофільтр** - очищає газ від твердих частинок під дією електричних сил (ефективність - до 99%). Частинки золи заряджаються в полі коронного розряду і осідають на електродах. Частинки здуваються ударним механізмом і потрапляють в бункер.

#### **Очистка вихідних газів від оксидів сірки.**

Діоксид сірки  $SO_2$  формується внаслідок присутності сірки у паливі.

Для блоків  $\leq 200$  МВт – спалювання низько-сірчаного вугілля, сухі та напівсухі методи очищення.

Для блоків  $\geq 300$  МВт – вологе сіркоочищення.

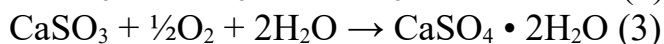
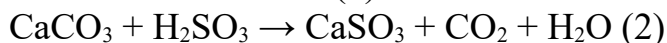
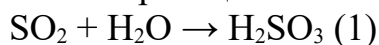
**Вологий скруббер** - основна технологія (80% ринку для енергетичних котлів). Висока ефективність та надійність видалення  $SO_2$ .

Вапняк ( $CaCO_3$ ) доступний та дешевший за інші сорбенти. Вихідний продукт - гіпс ( $CaSO_4$ ) може бути проданий.

Вихідні гази направляються до абсорбера, де  $SO_2$  видаляється у процесі прямого контакту із краплями суспензії приготованої з вапняку.

Продукти реакції зневоджуються та переробляються.

Хімічні реакції:



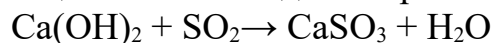
Найчастіше застосовується баштовий абсорбер

Волога сіркоочистка вимагає значного місця, що може стати проблемою при модернізації існуючих ТЕС.

Напіввологий процес - друге місце за розповсюдженням

Зазвичай використовується для малих та середніх котлів та вугілля з вмістом сірки до 1,5 %, а також при модернізації існуючого обладнання та для пікового устаткування.

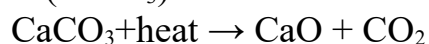
Вапно (CaO) змішується з водою для отримання вапневого молока (гашене вапно Ca(OH)<sub>2</sub>). Вапневе молоко розпилюється в абсорбері, вступає в реакцію з SO<sub>2</sub> та вода випарюється за високої температури газів.



Для блоку 100-150 МВт(ел) розміри установки: циліндр діаметром 14-15м та висотою 11-12м.

Вихідними продуктами є сульфід кальцію, зола та вапно, яке не зреагувало. Відходи важко використати, їх заховують.

Сухий метод - сорбент подається напряму у топку (рис. 4.2.7). Зазвичай сорбент: розпилені вапняк (CaCO<sub>3</sub>) та доломіт (CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>). У топці при нагріванні утворюються частки вапна - CaO. Вапно реагує з SO<sub>2</sub> та утворює гіпс (CaSO<sub>3</sub>).



або  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{heat} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$   $\text{CaO} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3 + \text{heat}$   
Ефективність - 70–80% SO<sub>2</sub>.

Процес простий, витрати низькі.

Продукти реакції повинні додатково оброблятися перед захороненням або використанням у будівництві. Очищення продуктів спалювання від NO<sub>x</sub>.

NO<sub>x</sub> утворюються за рахунок високотемпературного окиснення атмосферного азоту та азоту палива.

Зі зростанням температури від 1500 до 2200 К вихід NO<sub>x</sub> зростає в 10 разів. Збільшення концентрації O<sub>2</sub> у 5 разів підвищує вихід NO<sub>x</sub> лише в 2 рази.

Первинні методи - зміна режимів роботи та конструкції котла для зменшення утворення NO<sub>x</sub> або розщеплення вже утвореного NO<sub>x</sub>.

Зменшує надлишко повітря (менше O<sub>2</sub> доступного для спалювання). Ефективна для старих ТЕС обмежує утворення NO<sub>x</sub>, не вимагає споживання е/е та не знижує надійність, погіршує спалювання вугілля та може призвести до зниження температури гострої пари, може призвести до зростання викидів CO<sub>4</sub> Ступенева подача повітря (рис.3.2.9.). Створює дві зони спалювання, у первинній зоні – нестача O<sub>2</sub>, у вторинній – достатня кількість O<sub>2</sub> для до спалювання палива.

Також NO<sub>x</sub> знижується внаслідок зниження пікової температури. Вартість для котла 250 МВт (тепло) - 1 млн. євро.

Рециркуляція вихідних газів

Вихідні гази (20–30% з температурою 350–400оС) після повітро-підігрівника повертаються до топки.

Зменшується доступний O<sub>2</sub> у зоні спалювання та температура факела. Для реалізації схеми необхідні спеціальні пальники.

Зменшення нагріву первинного повітря призводить до зниження температури полум'я, зниження ефективності спалювання вугілля та збільшення втрат через неохоложені відпрацьовані газы. Підходить для газових та мазутних котлів.

Ступенева подача палива (reburning). Утворюються зони спалювання (як при ступеневій подачі повітря).

1 зона - 80-85 % палива спалюється в умовах нестачі  $O_2$  для недопущення формування значної кількості  $NO_x$  перед 2-ю зоною.

2 зона (перепалювання) - подається вторинне паливо при нестачі  $O_2$ . Виникають сполуки C та H, що реагують з  $NO_x$  утвореним у 1 зоні;

3 зона - завершується спалення шляхом додавання кінцевої кількості повітря. Менш ефективно ніж низько-емісійні пальники.

Капітальні витрати для котла 250 МВт (тепло) - 2,5 млн. євро.

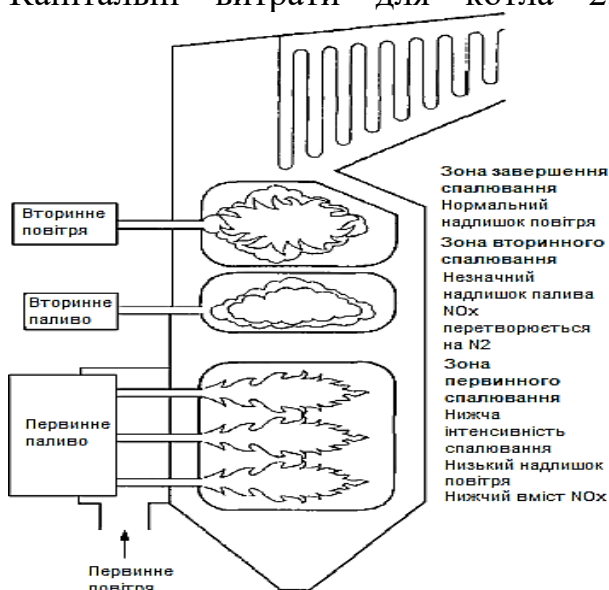


Рис. 3.2.2. Схема ступеневої подачі палива [12].

Низько-емісійні пальники.

Звичайні пальники - паливо і повітря подаються одночасно. Пальник складається з гарячої первинної зони (біля основи пальника) і холодної вторинної зони (на кінчику).

Первинна зона генерує більшість  $NO_x$ , внесок вторинної - малий.

Низько-емісійні пальники завдяки ступеневій подачі повітря (рис. 3.2.12) або палива (рис.3.2.13 дод 3.) створюють окремі зони спалювання, завдяки яким:

забезпечується швидке запалювання.

забезпечується стабільність факелу.

знижується пікова температура факелу.

обмежується утворення  $NO_x$  у первинній зоні та забезпечується розщеплення утвореного  $NO_x$  у наступних зонах.

Нове покоління низькоемісійних пальників використовують комбінацію ступеневої подачі повітря, ступеневої подачі палива, рециркуляції продуктів спалювання.

Капітальні витрати: вугільний котел 250 МВт (тепло) – 1,7 млн. євро.

Рис. 3.2.3. Пальник звичайний та зі ступеневою подачею повітря [12].



## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ Й НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Служба охорони праці на підприємстві організовує і контролює роботу в галузі охорони праці.

Основні обов'язки служби охорони праці:

- проведення інструктажу для вступаючих на підприємство;
- перевірка правильності обслуговування і виконання робіт підвищеної небезпеки;
- перевірка умов праці на всіх робочих місцях;
- розробка заходів по покращенню умов праці на робочих місцях;
- забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту, правильність їх зберігання та догляду за ними. Служба охорони праці приймає участь в розслідуванні нещасних випадків, складає річні звіти про потерпілих. Для здійснення цих обов'язків службі з охорони праці надані наступні права:

- перевіряти стан умов та охорони праці в виробничих підрозділах і службах, видавати їх керівникам обов'язкові для виконання вказівки, щодо усунення виявлених недоліків, порушень правил безпеки і виробничої санітарії;

- усувати від роботи окремих осіб, які не виконують вказані правила;
- оцінювати стан охорони праці в підрозділах і службах, приймати участь в розгляді результатів роботи з охорони праці в підрозділах і службах;
- вимагати від керівників виробничих ділянок своєчасного розслідування і правильної постановки обліку нещасних випадків, забезпечення працюючих інструкціями з охорони праці, наявності на робочих місцях написів, плакатів;
- перевіряти знання у робітників на робочих місцях, надання пропозицій по усуненню з роботи осіб, що не мають необхідних знань в цій області.

### **Склад повітря робочої зони**

У сокоочисному відділенні в результаті технологічного процесу в повітря робочої зони можуть потрапляти такі речовини:

- NH<sub>3</sub> і сірководень (внаслідок проходження реакцій розкладу на випарній установці);
- H<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> та HCl (при виварюванні випарки);
- CO і CO<sub>2</sub> (на станції дефекосатурації);
- SO<sub>2</sub> (при сульфитації соку та сиропу);
- Cl<sub>2</sub> (при дезинфекції);
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (при регенерації іонообмінних смол);
- формалін (в ДУ, в ємкостях для зберігання сиропу).

Вміст шкідливих викидів в повітрі робочої зони не повинно перевищувати ГДК для цих речовин згідно ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ.

ГДК, клас небезпеки та агрегатний стан шкідливих викидів в повітрі робочої зони

У повітря робочої зони може потрапляти вапняковий пил, пил активованого вугілля та сірка. ГДК для цих речовин згідно ГОСТ 12.005-76

Контроль забрудненості повітря здійснюється службою охорони праці та органами санітарного нагляду. Природне та штучне освітлення Одним з

найважливіших елементів умов праці є освітлення. Вірно виконана система освітлення відіграє суттєву роль у зниженні виробничого травматизму, зменшує потенціальну небезпеку багатьох виробничих чинників, створює нормальні умови роботи, підвищує загальну працездатність. Небезпечні фактори:

- підвищена температура повітря робочої зони;
- шум та вібрація;
- рівень освітленості робочої зони;
- наявність обладнання працюючого під тиском;
- запыленість виробничого приміщення.
- електро - та пожежонебезпека;
- наявність рухомих механізмів та пристроїв.

### **Мікроклімат**

Для виробничого приміщення метеорологічні умови повинні знаходитись в межах вказаних у ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” та наведені в Таблиці 4.1. дод. 4.

### **Правила безпеки під час виконання окремих видів робіт в електроустановках спеціального призначення**

Електродні котли. Електрофільтри

- Кожух електродного котла напругою до 1000В з ізольованим корпусом слід замкнути на замок. Відмикати кожух допускається тільки після зняття напруги з котла.

- Забороняється на трубопроводах ввімкнених електродних котлів виконувати роботи, що порушують захисне заземлення трубопроводів.

- У випадку роз'єднання трубопроводів необхідно заздалегідь забезпечити електрозварюванням надійний металевий контакт між частинами, що роз'єднуються. За наявності байпасного обводу місця розриву, виконання такого контакту не вимагається.

- Забороняється під час експлуатації електрофільтрів:

- вмикати механізми струшування під час перебування людей в електрофільтрі, крім випадків, зазначених в наряді за особливою вказівкою керівника робіт;

- одночасно провадити ремонтні роботи в їх бункерах і секціях;

- подавати напругу на електрофільтри і кабелі, що їх живлять, в разі несправності блокування агрегатів живлення, відсутності і несправності запорів лючків і отворів секцій електрофільтрів, ізоляторних коробок тощо.

- В разі проведення робіт в будь-якій секції (електричному полі) електрофільтра, на резервній шині, на будь-якому із кабелів живлення секції (електричного поля) слід вимкнути і заземлити всі агрегати живлення і кабелі всіх секцій (електричних полів).

- Перед допуском людей до роботи в секції електрофільтрів останні мають бути провентильовані і з бункерів має бути видалений попіл. Температура має бути не вище 33 0С.

- Після вимкнення електрофільтра з нього і з кабелів живлення слід зняти статичний заряд заземленням електроагрегатів.

Забороняється доторкатися до незаземлених частин електрофільтра до зняття заряду.

- На підприємствах необхідно скласти інструкцію з обслуговування електрофільтрів, що враховує особливості даної золоуловлювальної установки. В інструкції слід регламентувати порядок видачі нарядів і допуску до робіт на електрофільтрах залежно від розподілу зон обслуговування між цехами. Під час складання інструкції мають бути враховані вимоги цих Правил.

Чищення і обмивання ізоляторів

- В ЗРУ чистити ізолятори без зняття напруги зі струмовідних частин можна спеціальними щітками на ізолювальних штангах або пілососом з порожнистими ізолювальними штангами і насадками.

Чищення провадиться з підлоги або зі стійких риштувань. Під час чищення необхідно застосовувати діелектричні рукавички.

- Чищення ізоляції без зняття напруги на струмовідних частинах та поблизу від них в ЗРУ допускається за наявності в них проходів достатньої ширини, що дозволяють вільно оперувати засобами для видалення пилу, і провадиться тільки з підлоги або стійких риштувань.

- Для чищення ізоляції пілососом застосовуються порожнисті ізолювальні штанги, розраховані на напругу електроустановки, з укріпленими на них спеціальними пристосуваннями. Ці штанги для уникнення перекриття і для видалення пилу зсередини слід очищувати перед початком роботи і періодично в її процесі.

- Робочі частини, що насаджуються на порожнисті ізолювальні штанги, слід сконструювати так, щоб повністю була виключена можливість перекриття сусідніх фаз під час чищення ізоляції.

- В електроустановках обмивати гірлянди ізоляторів, опорні ізолятори і фарфорову ізоляцію обладнання можна без зняття напруги зі струмовідних частин, суцільним струменем води з питомою провідністю не вище 1430 мкСм/см для ПЛ і 667 мкСм/см для ВРУ.

Мінімально допустимі відстані по струменю води між насадкою та ізолятором, що обмивається, мають бути не меншими від зазначених в таблиці

Діаметр вихідного отвору насадки, мм	Мінімально допустима відстань по струменю води (м), за напруги ПЛ			
	До 10 кВ	35 кВ	110, 150 кВ	220 кВ
10	3,0	4,0	5,0	6,0
12	3,5	4,5	6,0	8,0
14	4,0	5,0	6,5	8,5
16	4,0	6,0	7,0	9,0

- Під час обмивання ствол, телескопічна вишка і цистерна з водою мають бути заземлені.

- Під час обмивання з телескопічної вишки ствол з насадкою має бути з'єднаний з її корзиною і рамою автоцистерни гнучким мідним провідником перерізом не менше 25 мм<sup>2</sup>.

- Під час чищення ізоляції без зняття напруги зі струмовідних частин, а також під час обмивання ізоляторів з землі необхідно користуватися діелектричними рукавичками. Під час обмивання з телескопічної вишки або із спеціальної металевої площадки, змонтованої на автоцистерні, застосування рукавичок не вимагається.

- Забороняється в процесі обмивання, стоячи на землі, доторкуватися до машини або механізму, які використовуються під час обмивання, виходити із кабіни чи кузова та входити до них. Слід вжити заходів для уникнення наближення сторонніх людей до машин і механізмів, які застосовуються під час обмивання.

- Чищення ізоляції без зняття напруги на струмовідних частинах і поблизу них будь-яким способом мають виконувати не менше двох працівників, один з яких повинен мати групу IV, а інші – групу III.

Ці працівники мають бути спеціально навчені і допущені до проведення вказаних робіт, про що робиться відповідний запис у посвідченні.

Чищення ізоляторів може виконувати один з членів бригади під безперервним наглядом керівника робіт або іншого члена бригади з групою IV.

- На роботи по чищенню ізоляторів складається інструкція, що описує технологію робіт, додаткові вимоги, пов'язані з місцевими умовами.

Електроустановки у вибухонебезпечних зонах

- До експлуатації у вибухонебезпечних зонах допускаються електроустановки, електрообладнання яких виготовлене відповідно до вимог державних стандартів на вибухозахищене електрообладнання, а також електрообладнання, яке відповідає вимогам підрозділу 7.3 ПВЕ.

У вибухонебезпечних зонах, в яких згідно з ПВЕ вимагається вибухозахищене електрообладнання, забороняється експлуатувати електрообладнання загального призначення, а також таке, що не має маркування щодо вибухозахисту, якщо на нього не отримано письмового позитивного висновку випробувальної організації.

Безпечність застосування технологічних установок, в які вмонтоване електрообладнання, визначає розробник технології.

- Вибухозахищене обладнання повинне відповідати класові вибухонебезпечної зони, в якій воно встановлене, а також категорії та групі вибухонебезпечної суміші, за якими установка (об'єкт) класифікується як вибухонебезпечна.

- Під час приймання в експлуатацію електроустановок у вибухонебезпечних зонах має бути представлена технічна документація в обсязі, передбаченому ПТЕ електроустановок споживачів.

- До обслуговування вибухозахищеного електрообладнання допускаються особи, які пройшли перевірку знань ПТЕ електроустановок споживачів і цих Правил, а також знань інструкцій заводів-виробників з ремонту, монтажу і експлуатації цього обладнання, посадових інструкцій і інструкцій з охорони праці.

- Особа, відповідальна за електрогосподарство підприємства, зобов'язана забезпечити інструктаж електротехнічних працівників з питань вибухобезпеки відповідно до спеціальних інструкцій, залежно від специфіки робіт, узгоджених з органами Держнаглядохоронпраці України.

- Програми навчання працівників, що виконують роботи, до яких висуваються додаткові вимоги, слід узгоджувати з органами Держнаглядохоронпраці України.

- В разі проведення будь-якого виду робіт в електроустановках вибухонебезпечних зон мають виконуватися вимоги відповідних розділів цих Правил в тій частині організаційних і технічних заходів, в якій йдеться про убезпечення працівників під час робіт.

- На вибухозахищене електрообладнання слід завести паспорти індивідуальної експлуатації, в яких поряд з паспортними даними слід зазначати обсяги ремонтів, результати профілактичних випробувань і заміри параметрів вибухозахисту (ширина і довжина щілини, значення надмірного тиску та ін.), зафіксовані аварії і дефекти, що мали місце в процесі експлуатації. Експлуатаційний паспорт затверджує особа, відповідальна за електрогосподарство підприємства.

- Електромагнітні розчіплювачі автоматичних вимикачів і теплові розчіплювачі (реле) магнітних пускачів і автоматичних вимикачів, пристрої захисного вимкнення мають перевірятися на спрацювання під час введення обладнання в експлуатацію і, періодично, – в терміни, встановлені ПТЕ електроустановок споживачів, а також – у випадках неправильної їх дії або відмови.

- Плавкі вставки запобіжників перевіряються під час планових ремонтів на відповідність їх номінальним параметрам захищеного електрообладнання.

Експлуатація плавких вставок з тріщинами, витіканням наповнювача та іншими дефектами забороняється.

Результати перевірки номінальних параметрів і відомості про заміну плавких вставок записуються в оперативний журнал або в експлуатаційний паспорт.

- В електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю під час капітальних ремонтів і міжремонтних випробувань, але не менше 1 разу на 2 роки, слід вимірювати повний опір петлі фаза-нуль електроприймачів, що належать до даної електроустановки і приєднані до кожної збірки, шафи тощо. В цьому разі, з метою забезпечення автоматичного відключення аварійної ділянки, повний опір петлі має бути таким, щоб під час замикання на корпус або на нульовий захисний провідник виникав струм КЗ, який перевищував би, не менш ніж у чотири рази, нормальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника і, не менш ніж

в шість разів – струм розчіплювача автоматичного вимикача, що має зворотнозалежну від струму характеристику.

У випадках захисту мереж автоматичними вимикачами, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), провідність вказаних провідників має забезпечувати струм не нижче уставки струму миттєвого спрацювання, помноженого на коефіцієнт, що враховує розкид (за заводськими даними), і на коефіцієнт запасу 1,1.

За відсутності заводських даних для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100 А кратність струму КЗ відносно уставки належить приймати не менше ніж 1,4, а для автоматичних вимикачів з номінальним струмом понад 100 А – не менше 1,25.

В діючих електроустановках, де відсутня спеціальна третя або четверта жила кабелю або проводу, опір петлі фаза-нуль має вимірюватися не менше одного разу на два роки.

Після випадків відмови в роботі засобів захисту електроустановок повинні виконуватись позапланові вимірювання.

- В електроустановках напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю в процесі експлуатації періодично, не менше одного разу на місяць, слід перевіряти звукову сигналізацію пристрою постійного контролю ізоляції і цілісності пробивного запобіжника. Стан пробивних запобіжників слід перевіряти також в разі підозри про їх спрацювання.

В мережах постійного струму в процесі експлуатації періодично, але не менше одного разу на місяць, слід перевіряти звукову сигналізацію пристрою контролю ізоляції мережі.

- Огляд, перевірка і випробування заземлювального пристрою провадиться в терміни, визначені ПТЕ електроустановок споживачів.

Якщо під час замірювання перехідного опору заземлювального пристрою буде одержане значення, що перевищує проектне, то слід провести ревізію заземлювального пристрою і вжити заходів для приведення його у відповідність з проектом.

- В разі вмикання щойно встановленого або перенесеного електрообладнання необхідно вимірювати опір заземлювального пристрою, а в мережах до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, крім того, – опір петлі фаза-нуль.

### **Електробезпека**

Котельня та диспетчерський пункт, згідно "ПВЕ. Правила влаштування електроустановок", класифікуються як приміщення з підвищеною електробезпекою.

Безпечна експлуатація електроустановок здійснюється у відповідності з вимогами ПВЕ, ДНАОП 0.00-121-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок-споживачів" та ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ "Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту" і передбачає такі заходи:

- недоступність струмоведучих частин: прокладання електрокабелів під підлогою, в спеціальних каналах, приховане виконання освітлювальної проводки, ізоляцію струмопровідних елементів ( $R_{is} > 1 \text{ МОм}$ );

- захисне заземлення всіх металевих струмопровідних частин електроустановок, корпусів електродвигунів, щита живлення і перетворювачів ( $R_3 \leq 4$  Ом для виробничого приміщення та  $R_3 \leq 1$  Ом для диспетчерського пункту);

- застосування автоматичних вимикачів від струмів короткого замикання (ВА 2001-2р/10А – ввідний, ВА 2001-1р/2А);

- використання пониженої напруги 36 В (для внутрішнього освітлення щита живлення та перетворювачів, переносного ремонтного інструменту) та 24 В (для живлення контролера);

- застосування попереджувальної сигналізації, написів, плакатів;

- проведення планово-попереджувальних ремонтів і профілактичних випробувань електрообладнання;

- для ремонту та обслуговування електрообладнання допускаються спеціалісти з групою допуску не нижче III;

- проведення ряду організаційних заходів (спеціальне навчання, атестація та переатестація осіб електротехнічного персоналу, інструктажі і т. п.).

Захист від атмосферної електрики здійснюється згідно вимог РД 34.21.122-87. “Інструкція по захистувідблискавки будівель та споруд” двома блискавковідводами, які закріплені на даху головного корпусу цукрового заводу і приєднані до заземлюючого контуру.

### **Загальні обов'язки суб'єктів господарювання щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин**

#### **Запобіжні заходи**

-Суб'єкт господарювання, що здійснює діяльність відповідно до пункту 1.2 розділу I цих Вимог, зобов'язаний перед початком робіт визначити наявність або можливість утворення чи появи шкідливих хімічних викидів на робочих місцях.

Інформації про заходи щодо безпечної роботи з хімічними речовинами зокрема:

висновків медичних оглядів працівників, які проводилися при працевлаштуванні (попередніх), і періодичних профілактичних, що проводяться згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженим наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007 року № 246, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 23 липня 2007 року за № 846/14113 (із змінами);

результатів атестації робочих місць за умовами праці у випадках, передбачених Порядком проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 01 серпня 1992 року № 442.

- Суб'єкт господарювання повинен заборонити застосування праці жінок і неповнолітніх на роботах зі шкідливими хімічними речовинами, зокрема з бензолом та його похідними, відповідно до Переліку важких робіт та робіт із шкідливими та небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці жінок, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 29 грудня 1993 року № 256, зареєстрованого в

Міністерстві юстиції України 30 березня 1994 року за № 51/260, та Переліку важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, наяких забороняється застосування праці неповнолітніх, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31 березня 1994 року № 46, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 28 липня 1994 року за № 176/385.

- Суб'єкт господарювання повинен забезпечити працівників, що виконують роботи зі шкідливими хімічними речовинами, повним комплексом пілг і компенсацій, передбачених статтею 7 Закону України «Про охорону праці», а також лікувально-профілактичним харчуванням відповідно до «Перечня производств, профессий и должностей, работа в которых дает право на бесплатное получение лечебно-профилактического питания в связи с особо вредными условиями труда», затвердженого постановою Державного комітету СРСР щодо праці і соціальних питань і Президії ВЦРПС від 07 січня 1977 року № 4/П-1 (далі - «Перечень производств»), «Перечня химических веществ, при работе с которыми в профилактических целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов», затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я СРСР від 04 листопада 1987 року № 4430-87, та вимог «О порядке бесплатной выдачи молока или других равноценных пищевых продуктов рабочим и служащим, занятым на работах с вредными условиями труда», затверджених постановою Держкомпраці СРСР і Президії ВЦРПС від 16 листопада 1987 року № 731/П13 (далі- НПАОП 0.00-4.36-87).

- Суб'єкт господарювання повинен вжити заходів для виключення або зменшення до мінімуму шкідливого впливу хімічних речовин шляхом:

запровадження способів ведення робіт, які не призводили б до перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих хімічних речовин;

забезпечення працівників засобами колективного захисту (огороження, вентиляція, герметизація тощо) і ефективного їх використання;

забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту згідно з Положенням про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженим наказом Держгірпромнагляду України від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/1 5137 (із змінами), «Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв (Частина 1)», затвердженими наказом Держгірпромнагляду України від 07 вересня 2004 року № 194, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 26 жовтня 2004 року за № 1362/9961, та «Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв. Частина 2», затвердженими наказом Держгірпромнагляду України від 13 грудня 2007 року № 305, зареєстрованими в Міністерстві

юстиції України 31 березня 2008 року за № 264/14955, і належного застосування працівниками цих засобів;

скорочення до мінімуму кількості працівників, що піддаються або можуть бути піддані впливу шкідливих хімічних речовин;

скорочення до мінімуму тривалості і інтенсивності впливу хімічних речовин на працівників;

здійснення необхідних заходів особистої гігієни;

зменшення до мінімуму, необхідного для виконання робіт, кількості хімічних речовин на робочих місцях;

застосування спеціальних пристроїв для безпечного оброблення, зберігання, нейтралізації, знезараження і переміщення в межах робочих місць шкідливих хімічних речовин і відходів, що містять такі речовини;

заміни технологічних процесів, у яких передбачено застосування шкідливих хімічних речовин, такими процесами, під час яких не застосовуються і не виникають шкідливі хімічні речовини (за наявності таких альтернативних процесів).

- Якщо специфіка робіт не дає можливості виключити небезпеку шляхом заміни шкідливих хімічних речовин або технологічних процесів більш безпечними, суб'єкт господарювання повинен здійснити комплекс запобіжних заходів, виходячи з такої їх пріоритетності:

запровадження технологічних процесів, планувальних рішень, організаційних заходів, відповідного устаткування і матеріалів з метою виключення або зниження до мінімуму надходження шкідливих хімічних речовин у повітря робочої зони;

застосування поблизу джерела небезпеки засобів колективного захисту, зокрема створення достатньої вентиляції;

застосування засобів індивідуального захисту, якщо немає можливості усунути шкідливу дію хімічних речовин за допомогою заходів і засобів, про які йдеться у попередніх абзацах цього пункту;

розроблення і впровадження на підприємстві інструкції з практичного застосування запобіжних і захисних заходів і засобів та здійснення контролю за дотриманням її положень;

забезпечення працівників аптечками з антидотами хімічних речовин;

дотримання вимог пожежної безпеки згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні, затвердженими наказом МНС України від 19 жовтня 2004 року № 126, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 04 листопада 2004 року за № 1410/10009 (далі - НАПБ А.01.001-2004).

- У разі використання, зберігання чи транспортування на підприємстві несумісних, а також легкозаймистих, горючих чи вибухонебезпечних хімічних речовин або сумішей суб'єкт господарювання повинен взяти запобіжних заходів у такому порядку за їх пріоритетністю:

запобігти виникненню на робочому місці вибухонебезпечних концентрацій легкозаймистих речовин;

виключити наявність джерел займання, які могли б стати причиною пожежі або вибуху;

виключити можливість контакту між несумісними хімічними речовинами;  
 виключити або максимально зменшити загрозу для безпеки і здоров'я працівників, яка може виникнути у разі спалаху або вибуху через займання легкозаймистих чи горючих речовин або внаслідок утворення таких хімічних речовин або їх сумішей.

Під час зберігання легкозаймистих і горючих речовин необхідно дотримуватись вимог НАПБА.01.001-2004.

- Якщо технологічний процес передбачає зберігання, транспортування, використання, утворення чи знешкодження легкозаймистих, горючих або вибухонебезпечних речовин або сумішей, устаткування, яке використовується у цьому процесі, повинно відповідати вимогам Технічного регламенту обладнання та захисних систем, призначених для застосування в потенційно-вибухо-небезпечному середовищі, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 08 жовтня 2008 року № 898.

- Суб'єкт господарювання повинен забезпечити маркування виробничих і складських приміщень, контейнерів, трубопроводів і засобів внутрішньозаводського транспорту, призначених для зберігання чи транспортування шкідливих або небезпечних хімічних речовин, відповідно до Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 року № 1262.

Інформування і навчання працівників

- Суб'єкт господарювання повинен забезпечити інформування працівника під розписку про умови праці відповідно до статті 5 Закону України «Про охорону праці», а також додатково щодо:

результатів атестації робочого місця працівника;

наявності або можливості виникнення під час роботи шкідливих і/або небезпечних хімічних речовин, ступеня їх небезпечності для здоров'я, гранично допустимих концентрацій цих речовин;

зміни цих показників у разі змін у технології, організації робіт;

змісту позначень на устаткуванні, контейнерах і трубопроводах;

пільг і компенсацій, передбачених для працівника, що працює на цьому робочому місці.

- Суб'єкт господарювання повинен забезпечити:

гігієнічне навчання працівників відповідно до Закону України „Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення”;

навчання працівників щодо запобіжних заходів, необхідних для убезпечення себе і інших працівників, відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05), зокрема щодо вміння надавати першу допомогу у разі травмування працівників або при настанні гострих професійних отруень.

- Інформація, що надається працівникам під час їх інструктування і навчання, повинна бути найновішою, базуватись на результатах вимірювань концентрації хімічних речовин на робочих місцях, медичних оглядів з урахуванням зміни технологічних процесів та умов праці, якщо такі зміни мали місце.

Контроль за станом здоров'я працівників

- Контроль за станом здоров'я працівників здійснюється під час проведення медичних оглядів відповідно до Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007 року № 246, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 23 липня 2007 року за № 846/14113.

- Роботодавець повинен забезпечити, щоб процедури досліджень, що здійснюються під час проведення оглядів, не створювали додаткового шкідливого впливу на працівників.

- Якщо під час медичного огляду виявлено захворювання або погіршення стану здоров'я окремого працівника, викликане впливом шкідливої хімічної речовини або перевищенням граничнодопустимої концентрації на робочому місці, роботодавець на підставі висновків медичного огляду повинен:

організувати виконання рекомендацій медичного працівника;

переглянути заходи, призначені для усунення чи зменшення небезпеки, визначені в пункті 1.4 глави 1 розділу IV цих Вимог;

вжити заходів, спрямованих на усунення або зменшення небезпеки, включаючи переведення працівника на альтернативне робоче місце, де відсутня небезпека повторного нараження на вплив шкідливої хімічної речовини;

організувати медичні обстеження всіх працівників, що підпали під вплив шкідливої хімічної речовини.

- Записи про результати медичних оглядів працівників і про концентрацію хімічних речовин на робочих місцях, у тому числі і в разі ліквідації підприємства, підлягають зберіганню відповідно до Переліку у типових документах, що утворюються в діяльності органів державної влади та місцевого самоврядування, інших підприємств, установ та організацій із зазначенням строків зберігання документів, затвердженого наказом Головного архівного управління при Кабінеті Міністрів України від 20 липня 1998 року № 41, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 17 вересня 1998 року за № 576/3016.

### **Пожежна безпека**

Приміщення котельні відносяться до пожежонебезпечної категорії Г, а пункт управління розміщений в окремому приміщенні, яке відноситься до категорії Д.

Згідно ГОСТ 12.1.004-85.ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования" і ДНАОП 0.01-1.01-95 "Правила пожежної безпеки в Україні" система запобігання пожежі передбачає:

- надійну теплову ізоляцію елементів, що мають високу температуру (барaban котла, трубопроводи пари та гарячої води);

- періодичний контроль цілісності тепло- та електроізоляції;
- наявність спеціальних місць для паління;
- періодичне проведення інструктажів з протипожежної безпеки та її дотримання;
- дотримання протипожежних правил при виконанні вогняних робіт;
- наявність системи захисту від атмосферної електрики;
- дотримання вимог регламенту при роботі на обладнанні;
- контроль температури на поверхні підшипників  $<60^{\circ}\text{C}$ .

Система пожежного захисту включає:

- наявність плану евакуації із котельні у двір заводу (два евакуаційних виходи).
- застосування негорючих будівельних матеріалів II ступені вогнестійкості;
- протипожежне водопостачання (гідранти - 2 шт; внутрішні пожежні крани - 4шт);
- отвори в стінах і підлозі для прокладання труб та кабелів щільно замазані вогневитримкими матеріалами;
- наявність первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників ОУ-5 – 2шт, ОВП-10 – 2шт; лопати, ящики з піском, відра):
- аварійне відключення установок, апаратури та комунікацій.

Система пожежного захисту пункту керування, що застосовує негорючі будівельні матеріали II ступені вогнестійкості включає, аварійне відключення апаратури, наявність автоматичної системи оповіщення про пожежу з димовими датчиками та вогнегасники ОУ-5 – 2шт.

## ВИСНОВКИ

У ході даного дослідження було проведено аналіз електростатичних принципів очищення димових газів, вивчено технічні аспекти впровадження систем такого очищення, а також розглянуто математичне моделювання та імітація їх роботи. Виявлено, що електростатичне очищення є перспективним напрямком в галузі зменшення викидів з енергетичних установок.

Детально розглянуті особливості електростатичного очищення димових газів на ТЕЦ цукрового заводу, зокрема враховані характеристики димових газів від вугільного котла. Проведений аналіз впливу різних параметрів газів на ефективність системи електростатичного очищення вказує на необхідність адаптації таких систем до конкретних умов та технічних вимог конкретного об'єкту.

Принципова відмінність процесу електростатичного осадження від механічних методів відділення частинок полягає в тому, що в цьому випадку імпульсні сили діють безпосередньо на частинки, а не опосередковано через їх вплив на загальний газовий потік. Таке пряме і надзвичайно ефективне використання сил пояснює помірне споживання енергії і низький опір газовому потоку, що характеризують електростатичний метод.

Після проведеної модернізації інженерних систем очищення димових газів, а саме впровадження електростатичної фільтрації, питомі тепловитрати на опалення зменшились

Провівши аналіз економічних затрат на впровадження даних методів можна зробити висновки про перевагу системи електростатичної фільтрації, включаючи низькі інвестиційні та експлуатаційні витрати та відносно невеликі розміри, роблять її переважним вибором для проекту. Додатковими перевагами цього проекту є економія електроенергії

Оптимізація та вдосконалення системи електростатичного очищення на ТЕЦ цукрового заводу вимагає комплексного підходу. Оцінка ефективності існуючої системи дозволяє виявити слабкі місця та визначити напрямки подальших досліджень. Запропоновані підходи та рекомендації щодо вдосконалення та оптимізації системи базуються на практичних спостереженнях та враховують конкретні умови експлуатації у цукровому заводі.

Загальний висновок: електростатичне очищення димових газів є ефективним та перспективним рішенням для зменшення викидів з енергетичних установок, зокрема на ТЕЦ цукрового заводу. Важливим етапом є врахування конкретних умов та технічних параметрів кожного об'єкта для досягнення максимальної ефективності та стійкості роботи системи очищення.

На сучасному етапі прецизійна очистка викидів є одним з основних заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря. До основних технологій прецизійного очищення з використанням зовнішніх електричних полів відносяться електрофільтри.

Однак, на жаль, використання електрофільтрів пов'язане зі значними енергетичними витратами. Зокрема, типові напруги в таких технологіях

становлять десятки тисяч вольт. Тому розвиток технологій очищення дрібнодисперсного пилу з використанням неоднорідних електричних полів однозначно вимагає пошуку шляхів зниження робочої напруги при збереженні умов, що стимулюють описані вище гібридні (левітаційно-електрофорезні) схеми.

У роботі також проаналізовано заходи безпеки для технологічного процесу біологічного очищення димових газів: забезпечення працівників спецодягом, проведення належного інструктажу, оснащення всього обладнання та приміщень звукоізоляційним матеріалом, розміщення вогнегасників навколо відділення, заземлення всіх електричних проводів. Проектні та технічні рішення базуються на вимогах пожежної безпеки та захисту працівників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Плачкова С.Г., Плачков І.В. та інші. Комплект науково-пізнавального видання «Енергетика: історія, сучасність і майбутнє» з 5 книг. Книга 5. Розділ 2. Вплив теплоенергетики на навколишнє середовище. Київ. 2012-2013
2. Орхузська конвенція. //Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги. Серія: Охорона навколишнього середовища. — №9. —2006. — 33 с.
3. The limitation of emissions of certain into the air from large combustion plants /DURECTIVE 2001/80/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001//Official Journal of the European Communities, L 309/4, 2001.
4. Осипенко В.Д., Осипенко В.В. и др. О применении рукавных фильтров в теплоэнергетике. //Энергетикаи Электрификация, 2004, №1. — С. 4 1-44.
5. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю. Современное состояние угольных электростанций Украины и перспективы их развития // Эко-технологии и ресурсосбережение, 1996, №3.— С. 3–8.
6. КорчевойЮ.П., КузьменкоБ.В., МайстренкоА.Ю. Современные угольные энерго-технологии. — К.: УДЭНТЗ, 1998. — 62 с.
- 7.БорисенкоС.В., МалыйЛ.П., Быковченко Г.И., Миненков Н.Л. Золоуловитель для сухой очистки дымовых газов ТЕС//Энергетика и Электрификация, 1999, № 5. — С. 41-43.
8. Н.А.Гусар, С.Г.Доманский, Л.П Яриш, Ф.Е.Гут. Некоторые мероприятия по уменьшению выбросов золы и окислов серы //Материалы первой Американо-украинской конференции. — К., 1996. — С. 188-189.
9. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Н.Г. Залогина. — М.: Энергия, 1999.— 352 с.
10. Журнал. Екологічна безпека 1/2008(1). Стаття «Шляхи покращення очищення димових газів теплоелектростанції» Лега Ю. Г., д.т.н., проф., Мислюк О.О., к.х.н., доц., Корнелюк Н.М., ст. викл.
11. Корчевой Ю.П., ВольчинИ.А., ГорбуновВ.С. и др. Экологические аспекты развития теплоэнергетики Украины//Энергетика и электрификация. – 2003. - №2. — С. 45-50.
12. Корчевой Ю.П., Вольчин І.А., ПотаповА.А., Ращепкін В.А. Про адміністративні та економічні важелі зменшення викидів у атмосферу від теплових електростанцій //Новини енергетики. – 2004. - № 3. — С. 45-52.
13. Мечты о ПГУ//Энергетическая политика Украины. – 2002. - № 4. — С. 50-57.
14. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоэнергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. — К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2003. — 232 с.
15. Ковалко М.П., Денисюк С. П. нергозбереження пріоритетний напрямок державної політикиУкраїни. — К.: Українські енциклопедичні знання, 1998. — 511 с.
16. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве. – М. Металлургия, 1984. — 397 с.

17. Горячев И.К. О разработке рукавных фильтров для теплоэнергетики // Теплоэнергетика. – 2002. - №2. — С. 74-75.
18. Справочник по пыле- и золоулавливанию /М.И.Бергер, А.Ю.Вальдберг и др. /Под общ. ред. А.А. Русанова. — М.: нергоиздат, 1983. —312 с.
19. Зингерман Ю. ., Трёмбач Т.Ф., Каменюка В.Б. Беспылевая выдача кокса на батареях коксохимических предприятий // Экология и промышленность. – 2005. - № 32(3). — С. 53- 55.
20. Єрохін О.В., Осипенко В.Д., Поставничий В.В. Патент України «Рукавний фільтр». Бюл. №6 від 17.06.2002 р.
21. Стан повітряного басейну Черкаської області у 2006 році. Черкаське обласне управління статистики, 2007.
22. Шаройко Н.А. Рукавишников П.В. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування. Методичні вказівки до виконання практичних завдань для студентів спеціальності «Теплоенергетика». Харків 2012
23. В.В. Шаравара. Охорона атмосферного повітря: теорія і практикум. Навчальний посібник. – Кам’янець-Подільський: 2012
24. [https://uk.wikipedia.org/wiki/електростатичний\\_фільтр](https://uk.wikipedia.org/wiki/електростатичний_фільтр) вікіпедія, інтернетресурс.
25. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast). Official Journal L334. 2010. P. 17—119.
26. Н.А. Шаройко, П.В. Рукавишников. Захист навколишнього середовища при роботі технологічного устаткування. Методичні рекомендації до виконання практичних завдань кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» УДАЗТ. м. Харків - 2012
27. Методичні рекомендації викладача переддипломної практики. Матеріали переддипломної виробничої практики НУХТ 2023
28. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв: Навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закл. / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський. – К.: Норіта-плюс, 2007. – 216 с.: іл. – Бібліогр.: С. 209..
29. Вольчин І.А., Гапонич Л.С., Згоран І.П. Вибір технології десульфурізації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. Т. 24. № 4. С. 154–168.
30. Наказ МОЗ України № 52 від 14.0.2020 Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферне повітря населених місць.
31. Дунаєвська Н.І. Чисті вуільні технології в енергетиці України. Презентація розробок ІВЕ НАН України м. Київ. 1917 р Інтернетресурс

## ДОДАТКИ:

## Додаток 1.



Рис.Д.1.1. Старобешівська ТЕС

У 2010 році введено в експлуатацію енергоблок №4 Старобешівської ТЕС (на фото – праворуч) з котлом циркулюючого киплячого шару (ЦКШ), що працює на антрациті та його сухому відсіві, проектної потужності 210 МВт. У даний час він є найбільш екологічно чистим та економічно ефективним вугільним блоком в Україні. Викиди пилу, оксидів сірки і азоту у ньому відповідають європейським екологічним нормам для нових котлів. Питома витрата палива складає 345 г кВт·год.

Таблиця Д.1.2. Основні види газових та аерозольних забруднюючих викидів енергетичних об'єктів

Паливо	Аерозолі	Газові викиди						
	зола	сажа	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	NO	CO
Природний газ	–	–	+	+	+	–	+	+
Мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
Вугілля	++	+	+	+	+	+	+	+

У таблиці використані умовні позначення, що характеризують ймовірність появи тих чи інших викидів при спалюванні різних видів палива : «++» – дуже висока; «+» – висока; «-» – відсутня.

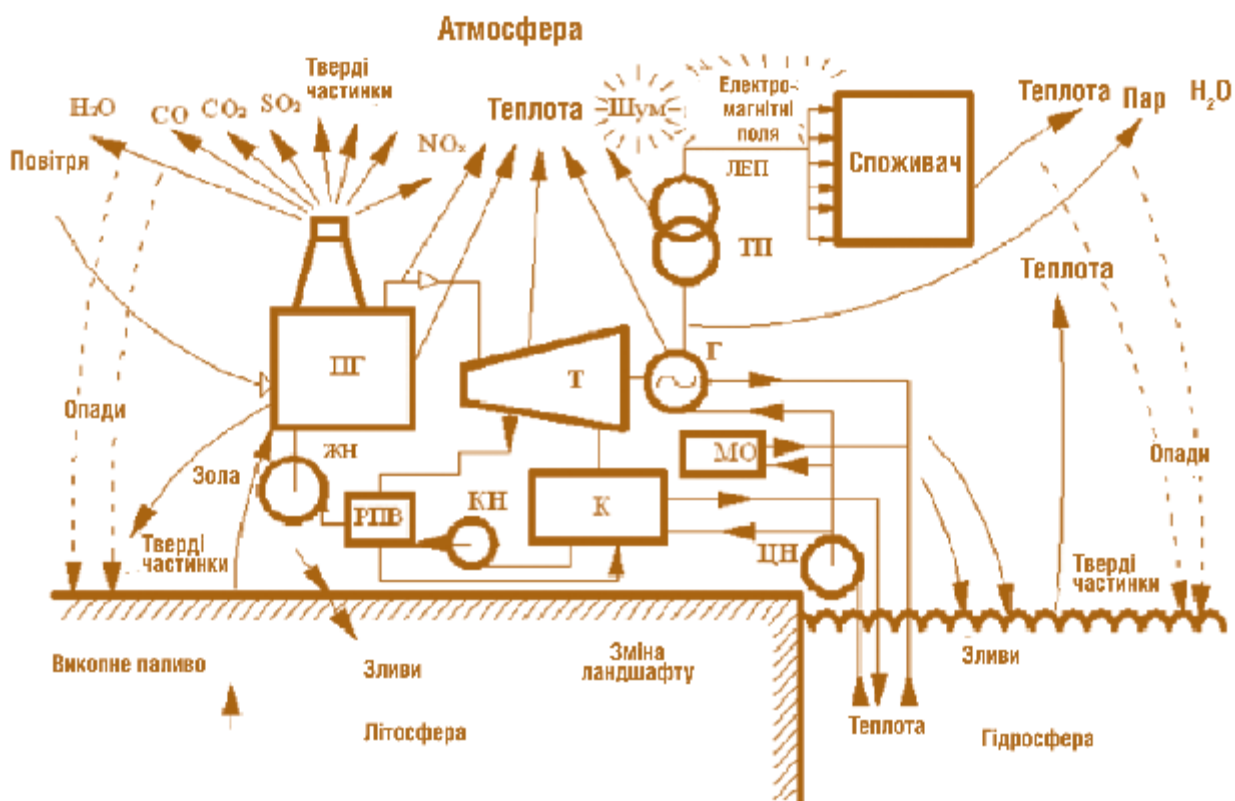


Рис. Д.1.3. Схема взаємодії ТЕЦ з навколишнім середовищем: ПГ – парогенератор; Т – турбіна; К – конденсатор; ЖН, КН, ЦН – відповідно живильні, конденсаторні та циркуляційні насоси; РПВ – регенеративний підігрів живильної води; Г – генератор електричного струму; МО – масоохолоджувач; ТП – трансформаторна підстанція; ЛЕП – лінії електропередач

Таблиця Д.1.4. Дія деяких токсичних газоподібних речовин на людину[1]

Тривалість та характер впливу	Вміст у повітрі, мг/м <sup>3</sup>		
Тривалість та характер впливу	СО	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Кількість годин без помітного впливу	115	65	15
Ознаки легкого отруєння або подразнення слизових оболонок через 2–3 год.	15–575	130	20
Можливе серйозне отруєння через 30 хв.	2300– 3500	210 –400	100
Небезпечно для життя при короткочасних діях	5700	160 0	150

Вуглекислий газ (СО<sub>2</sub>) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучних і синтетичних палив та біомаси (деревина). Це основна компонента (з числа триатомних

газів), що сприяє створенню «парникового ефекту». В результаті неповного згоряння виділяється також монооксид вуглецю CO – токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини. Діоксид сірки (сульфитний ангідрид)  $SO_2$  – один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, який складає більше 90% викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (решта –  $SO_3$ ). Найбільшу кількість сірки містять вугілля та важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки і, нарешті, бензин та природний газ практично не мають її у своєму складі.

Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі – 15–20 діб, в присутності великої кількості аміаку та інших речовин – декілька годин. При наявності кисню  $SO_2$  переходить в  $SO_3$  і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери – 43%, на поверхню гідросфери – 13%; поглинається: рослинами – 12%, поверхнею гідросфери – 13%. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварини, рослини та інші речовини різноманітний і залежить від їх концентрації та багатьох факторів навколишнього середовища.

Оксиди азоту ( $NO_x$ ) утворюються при спалюванні будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки, а також тих, що не містять, за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд сполук ( $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$  и  $N_2O_5$ ), властивості яких, активність і тривалість існування різні та слабо залежать від виду і складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту зводять до  $NO_2$ . Їх концентрація визначається режимом та організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту та руйнуванню озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі й так далі.

Метан ( $CH_4$ ) утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад у сільському господарстві, при вуглевидобутку, в процесі нафтої газовидобутку, газорозподілу і спалюванні біомаси. Метан також значно сприяє виникненню парникового ефекту.

Сполуки CFC. Chlorinated Flour Carbons, або фреони, відносяться до окремих малих газоподібних домішок в атмосфері. З'являються головним чином у результаті антропогенного впливу (при виробництві окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з холодоагентів холодильників і морозильників. Фреони (основні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінення Землі з космосу. Їх присутність в атмосфері сприяє утворенню парникового ефекту.

Озон ( $O_3$ ). Утворюється на великих висотах (близько 30 км) при взаємодії кисню  $O_2$  та ультрафіолетового випромінювання Сонця, а також на низьких висотах в результаті фотохімічних реакцій (зокрема, при взаємодії оксидів

азоту і гідрокарбонатів). Озон впливає на «парниковий ефект», негативно діє на здоров'я людини, культивування рослин, викликає «вимирання лісів».

Звеселяючий газ ( $N_2O$ ). Утворюється з натуральних матеріалів при виробництві харчових продуктів та енергії. Робить деякий вплив на парниковий ефект.

Аміак ( $NH_3$ ). Утворюється тільки в сільськогосподарському виробництві. Він чинить інтенсифікуючу та нейтралізуючу дію на окислення. Впливає на порушення балансу примикаючих морів, озер, річок через внесення надмірної кількості добрив (евтрофікації).

Сукупний вплив газових та аерозольних викидів енергетичних об'єктів може призвести до появи різних шкідливих екологічних наслідків, в тому числі кризових ситуацій у біосфері. До останніх відносяться: погіршення видимості атмосфери (локальний і регіональний характер); утворення опадів та кислотних дощів (локальний і регіональний характер); парниковий ефект (регіональний і глобальний характер).

Погіршення видимості атмосфери та фотохімічний смог. Прозорість атмосфери, що визначається шляхом візуальних спостережень, в метеорології називають «видимістю». Дальність видимості являє собою максимальну відстань в заданому напрямку, на якій неозброєним оком в денний час ще можна побачити і розрізнити рельєфний темний предмет, який перебуває над лінією горизонту.

Наявність в атмосфері звичайних для промислових міст аерозолів, діоксидів вуглецю та азоту в поєднанні з підвищеною вологістю призводить до зменшення видимості, знижує на 20–50% кількість сонячних днів (в порівнянні з сільськогосподарськими районами), зменшує кількість ультрафіолетових променів (наприклад у Парижі на 25–30%, у Берліні на 17–23% в порівнянні з прилеглими сільськогосподарськими районами). Все це призводить до порушень руху і аварій автомобільного, морського і повітряного транспорту.

Основними серед багатьох забруднювачів, що впливають на видимість атмосфери, є наступні:

- викиди, що містять пил, дим, сажу та інші тверді частки та зазвичай позначаються як загальна кількість аерозолу (ЗКА);
- $SO_2$  та інші газоподібні сполуки сірки, які з високою швидкістю реагують в атмосфері, утворюючи частки сульфату та сірчаної кислоти, які знаходяться у вигляді аерозолу;
- $NO$  та  $NO_2$ , які реагують з утворенням нітрату і  $HNO_3$  у вигляді частинок, що входять до складу аерозолу; за певних умов червонобуре забарвлення  $NO_2$  може послужити причиною зміни кольору димових викидів і димки в міських районах;
- фотохімічне забруднення повітря, пов'язане з утворенням в результаті фотохімічних реакцій аерозолів з частинками субмікрометрових розмірів.

Існують й інші забруднення, що впливають на видимість.

Діоксид азоту ( $NO_2$ ) за наявності в атмосфері вуглеводнів у певних погодних умовах може стати джерелом ще однієї кризової екологічної

ситуації під назвою **смог**, який вперше був зафіксований у вигляді лос-анджелеських туманів у 1948–1959 рр.

Природа цього явища полягає в тому, що при ультрафіолетовому опроміненні діоксиду азоту в атмосфері протікають хімічні реакції з утворенням оксиду азоту NO та озону O<sub>3</sub>. Надлишковий вміст у повітрі оксиду азоту може ініціювати процес розкладу озону.

При наявності в атмосфері вуглеводнів (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) відбувається їх окислення з утворенням альдегідів, нітратів і т.д. Оксид азоту перетворюється на діоксид, з'являється озон, а також пероксиацилнітрат (PAN). При з'єднанні O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> та PAN утворюються фотохімічні оксиданти, які є однією з причин фотохімічного смогу.

Утворені сполуки чинять токсичну дію на людину, призводячи до порушення серцевосудинної діяльності, отруєння дихальних шляхів та інших захворювань організму.

Випадання опадів та кислотні дощі також пов'язані з наявністю в атмосфері аерозолів та оксидів SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>. Кліматичний цикл випадання опадів має життєво важливе значення для всього людства. Великомасштабні впливи на процес випадання опадів можуть призвести до дуже серйозних наслідків. Викиди енергетичних об'єктів у вигляді оксидів сірки та азоту (SO<sub>2</sub> або NO<sub>2</sub>), потрапляючи в атмосферу, утворюють відповідні кислоти, солі.

\* рН – так зване водневе число, за допомогою якого якісно і кількісно оцінюється кислотність середовища, при рН = 7 середовище вважається нейтральною, при рН > 7 – лужним і при рН < 7 – кислотним.

Природа появи і зникнення озонових дір в атмосфері ще недостатньо вивчена. Одним з механізмів руйнування озонового шару може бути протікання внаслідок високої хімічної активності озону (O<sub>3</sub>) його реакції з монооксидом азоту (NO) при утворенні діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та кисню (O<sub>2</sub>).

Підвищення проникності озонового шару, збільшення інтенсивності космічного випромінювання можуть призвести до незворотних негативних наслідків у вигляді мутації і переродження живих організмів, до канцерогенних захворювань людей, що піддаються підвищеній дозі космічного опромінення, зниження народжуваності населення та погіршення врожайності сільськогосподарських культур.

В запропонованій нами схемі Д.5. передбачена двохступенева система сухого очищення димових газів від котлів типу БКЗ-220-100 ГЦ. На першій ступені очищення стоїть існуючий золовловлювач ЦБУ-М, після якого встановлюється рукавний фільтр з імпульсною регенерацією— друга ступень очищення.

Фільтр (рис Д.1.5.) містить бункер для збору дрібнодисперсної золи і пилу, що вловлюються, пристрій для регенерації фільтруючих рукавів, який подає стиснуте повітря одночасно для продувки фільтруючого матеріалу, а також для відключення фільтру під час його регенерації від системи фільтрації. В середині корпусу розташована решітка, на якій закріплені фільтруючі рукава з проникного пористого матеріалу, наприклад, політетрафторетилену, який



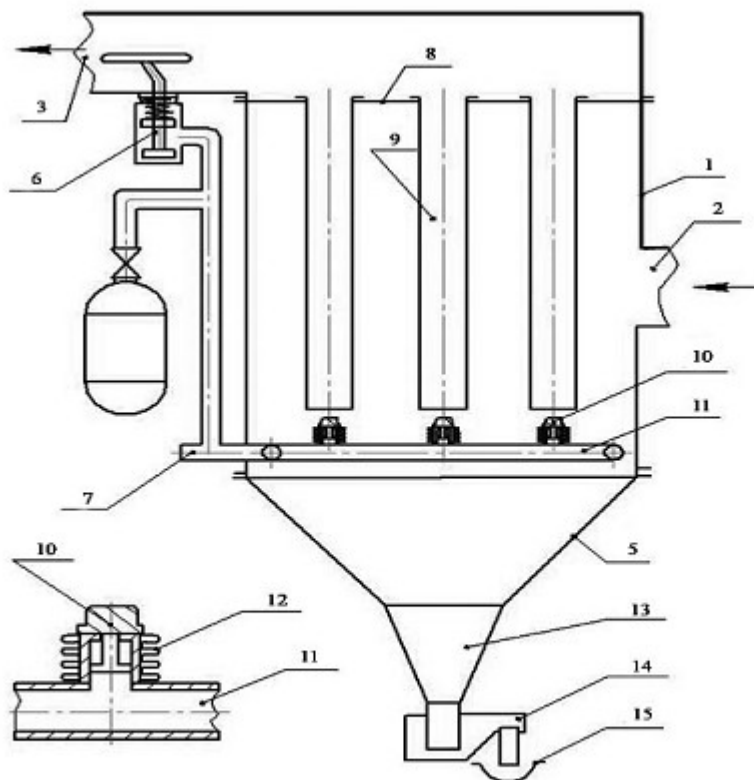


Рисунок Д.1.6. — Рукавний фільтр з системою імпульсної регенерації

При початковій запиленості 14000 мг/м<sup>3</sup> і ефективності очищення циклонів першого ступеня 76%, рукавних фільтрів — 99% загальний ККД установки буде 99,8%. Габарити і маса цих рукавних фільтрів дозволяє легко вмонтувати їх в діючі газоходи після циклонних установок. Така технологічна схема дозволить при незначних фінансових затратах забезпечити залишковий вміст пилу до 50 мг/м<sup>3</sup>, що відповідає вимогам ЄС.

Висновки. Обладнання теплоелектростанції є досить старим за віком, і за весь час роботи практично не модернізувалось. Неefективним є використання енергії, яку отримують на котлах типу БКЗ, що пов'язано з конструкцією енергетичного обладнання та його призначенням. Система пилогазоочистки димових газів від котлів БКЗ-220 не дозволяє уловлювати дрібнодисперсну фракцію легкої золи, що утворюється при спалюванні вугілля.

При розробці планів реконструкції ТЕЦ необхідно враховувати можливість впровадження технологічних схем очищення пило газової суміші двоступеневої очистки із застосуванням рукавних фільтрів нового покоління. Реалізація запропонованої технологічної схеми пилогазоочистки дозволить при незначних фінансових затратах забезпечити ступень очищення димових газів на рівні 99,8% і значно покращити екологічну ситуацію в місті. [10]

Таблиця Д.1.7. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць згідно з наказом МОЗ України № 52. 14.01.2020 р

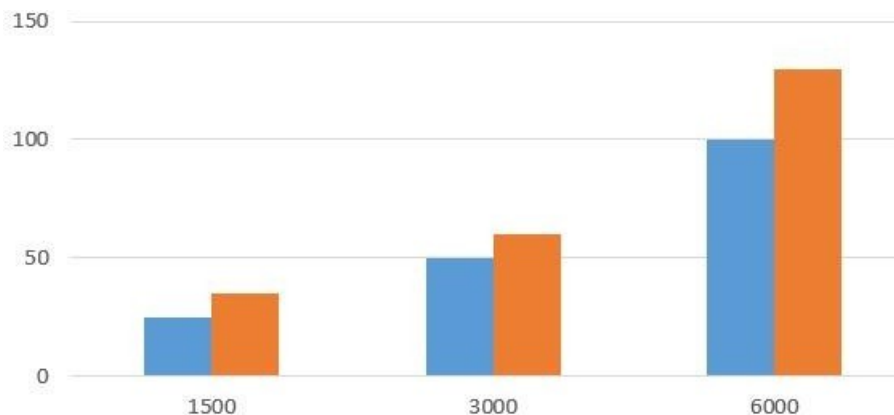
№ з/п	Найменування речовини	CAS N	Гранично допустима	Клас небез

1	2	3	концентрація, мг/м <sup>-3</sup>		пеки
			максимально разова	середньодобова	
1	2	3	4	5	6
1.	Азоту діоксид	10102-44-0	0,2	0,04	3
2.	Азоту оксид	11104-93-1	0,4	0,06	3
94.	Вугільна зола теплоелектростанцій (з вмістом оксиду кальцію 35-40 %, дисперсністю до 3 мкм не менше 97%)		0,05	0,02	2
95.	Вуглеводні насичені C <sub>12</sub> - C <sub>19</sub> (розчинник РПК-26511 та ін.) у перерахунку на сумарний органічний вуглець		1	-	4
96.	Вуглець чотирьоххлористий	56-23-5	4	0,7	2
97.	Вуглецю оксид	630-08-0	5	3	4
21 7.	Зола сланцева		0,3	0,1	1
26 2.	Кислота сірчана за молекулою H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7664-93-9	0,3	0,1	2
34 2.	Озон	10028-15-6	0,16	0,03	1
39 9.	Сажа	1333-86-4	0,15	0,05	3
40 4.	Сірководень	7783-06-4	0,008	-	2
40 5.	Сірковуглець	7783-06-4	0,03	0,005	2
40 7.	Смола легка високошвидкісного піролізу бурого вугілля: за сумарним органічним вуглецем		0,2	-	2

40 8.	Смола легка високошвидкісного піролізу бурого вугілля: за фенолами		0,004	-	2
47 3.	Фенольна фракція легкої смоли високошвидкісного піролізу бурого вугілля		0,008	-	2

## До розділу 1

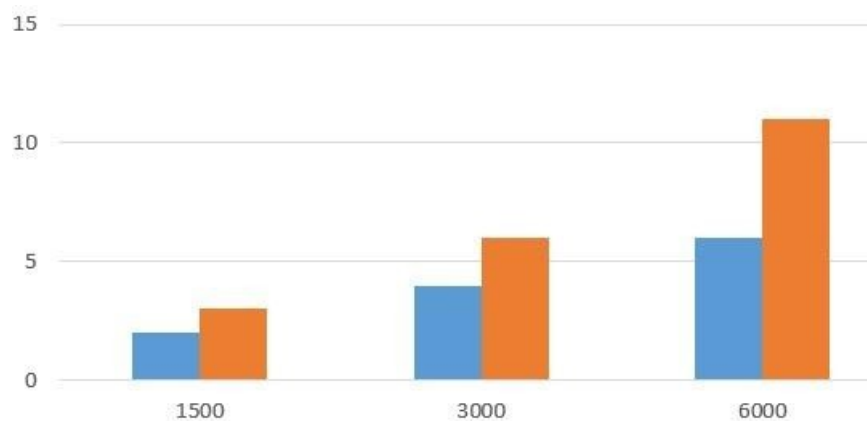
## Паро споживання цукрового заводу, т/год



Виробнича потужність цукрового заводу, тонн буряку на добу

Рис.Д.2.1. Мінімальне та максимальне паро споживання цукрозаводів різної виробничої потужності

## Електроспоживання Цукрового заводу, МВт



Виробнича потужність цукрового заводу, тонн буряку на добу

Рис.Д.2.2. Мінімальне та максимальне електроспоживання цукрозаводів різної виробничої потужності

Принципова схема комбінованого вироблення теплової та електроенергії турбоагрегатами ТЕЦ цукрових заводів наведена на рис. Д.2.3.

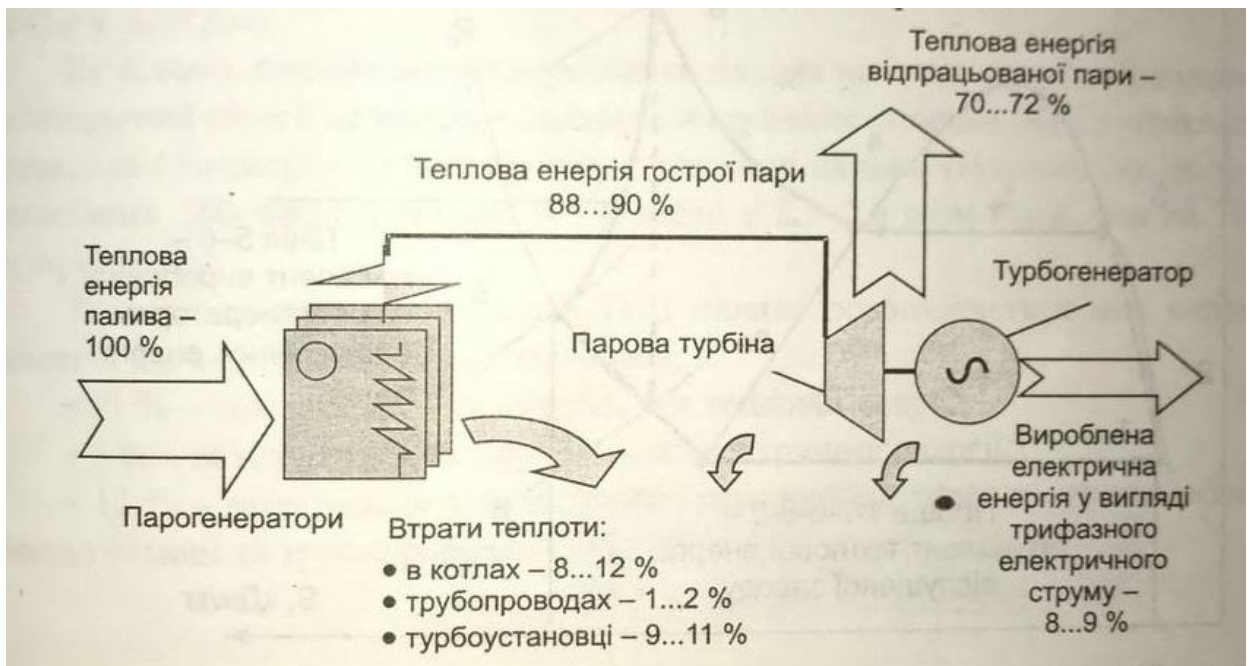


Рис.Д.2.3. Принципова схема вироблення теплової та електричної енергії комбінованим способом в ТЕЦ цукрових заводів

Приклад ТЕЦ конкретного цукрового заводу (Взято з власного курсового проекту Тема: «**Проект ТЕЦ для промислового підприємства. Тепломеханічна частина**»

- виробничою потужністю цукрового заводу, 5000 тонн буряку /добу ;
- питомої витрати теплової енергії на вироблення одиниці продукції, 179,6 Мкал/тону буряку;
- питомої витрати електричної енергії на вироблення одиниці продукції , 30,0 кВт.год/ тону буряку;
- витрати пари технологічних параметрів, т.зв. «технологічної пари», на виробництво, 32,2 кг/ тону буряку;
- тиском пари, т.зв. «технологічної пари», на виробництво, 3,43 бар;
- температурою пари, т.зв. «технологічної пари», на виробництво, 138°C;
- степенню повернення конденсату «технологічної пари» від підприємства в ТЕЦ, 0,9 од;
- температурою конденсату, що повертається від підприємства в ТЕЦ, 132 °C ;
- наявністю електричного зв'язку ТЕЦ з лініями електропередач районної енергосистеми (РЕМ) –наявна;
- тривалістю виробничого циклу підприємства – місяць, сезон, рік;
- вихідними даними з завдання на курсовий проект:

№ п/п	Назва вихідних даних	Од. виміру	кількість
1	Теплове навантаження П/П,	МВт(т)	37,8
2	Тиск «технологічної» пари,	атм(абс)	4,0
3	Температура «технологічної пари» на П/П,	$t_s$ °C / °C	144°
4		$t_{н.п}$ °C / °C	155°
5	Температура зворотного (в ТЕЦ) конденсату,	°C	90°

6	Степінь повернення конденсату в ТЕЦ від П/П,	од.	0,9
7	Електричне навантаження, П/П	кВт(е)	6500
8	Власні Потреби ТЕЦ	кВт(е)	900
9	Зв'язок з РЕМ		Існує

В принциповій схемі ТЕЦ передбачаю наступне обладнання: парогенератори **ДЕ-25-2,4-380 ГМ (О) – 3 шт**; парові турбіни з протитиском типу “**Р- 4-2,1/0,3**” – 2 шт, підігрівники високого тиску **ПВТ** (економайзери сталеві **БВЕС-V-1** з охолодником випару) встроєні в ПГ; бойлер **БО** системи опалення (блок підігрівника **ПП1-32-7-IV** з **ОК** охолодником конденсату- **ПВ-Z-12**); та **ПГВП** - підігрівник води для системи гарячого водопостачання району (блок **ПП1-32-7-IV** з **ПВ-Z-12**); з метою економії **БО** і **ПГВП** об'єднані в одну двоблокову систему з одним каркасом в одному приміщенні; бак чистих дренажів та конденсатів – **БЧД**... з відведенням конденсатів в деаератор; розширювач дренажів низького тиску – **РДНТ**... з відведенням пари самозакипання в деаератор, а дренажів у **БЧД**; редуційно-охолоджувальну установку власних потреб – **РОУ ВП**; редуційно-охолоджувальну установку технологічної пари **РОУ**; редуційно-охолоджувальну установку, що резервує відбір пари з парової турбіни – **РОУ-Р**; розширник безперервного продування парових котлів – **РБП**; станцію хімоводо-очищення – **ХВО**; систему трьох-ступеневого нагрівання води перед деаератором, в т.ч.: 1-й ступінь - утилізатор теплоти залишкової продувальної води – **ПСВ-У**, 2-й - паровий підігрівник сирої води **ПСВ**, 3-й - паровий підігрівник хімовищеної води **ПХВ**.

#### Основні хімічні домішки, що забруднюють атмосферу

Як відомо розрізняють природні домішки, обумовлені природними процесами, і антропогенні, такі, що виникають в результаті господарської діяльності людства (рис. Д.2.4). Рівень забруднення атмосфери домішками від природних джерел є фоновим і має малі відхилення від середнього рівня в часі.

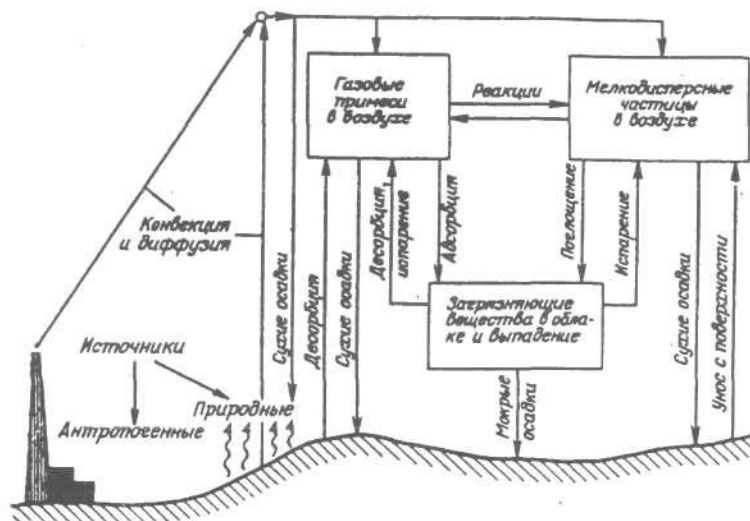


Рис. Д.2.4. Схема процесів викидів речовин в атмосферу і трансформації початкових речовин в продукти з подальшим випаданням у вигляді опадів

Таблиця Д.2.5. – Характеристика палива і продуктів згорання

Родовище вугілля	Марка вугілля	$Q_n^p$ , кДж/кг	$A^p$ , %	$S^p$ , %	Об'єми повітря і продуктів згорання, м <sup>3</sup> /кг				
					$V^0$	$V_{RO_2}$	$V_{N_2}^0$	$V_{H_2O}^0$	$V_z^0$
Донбас	А	22560	22,9	1,7	6,04	1,2	4,78	0,34	6,32
	ПА	25240	20,0	2,4	6,64	1,26	5,25	0,46	6,97
	Т	25200	23,8	2,8	6,43	1,19	5,09	0,51	6,79
	К, ОС	18000	35,5	2,5	4,77	0,87	3,78	0,51	5,16

Таблиця Д.2.6. – Розрахункові характеристики топок з твердим шлаковилучням

Вид палива	$q_4$ , %	$\alpha_{min}$
А, ПА	6-4	0,95
Пісне вугілля	2	0,95
Кам'яне вугілля	1-1,5	0,95

## До розділу 3

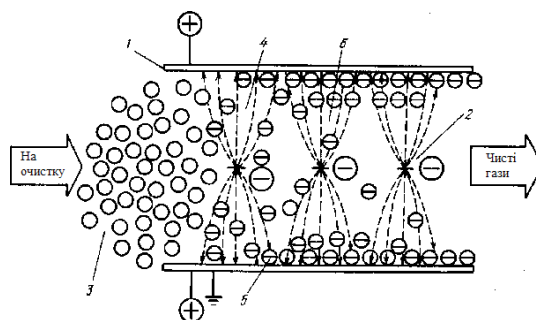


Рис. Д.4.2.2. Принцип роботи електрофільтра : 1 - осаджувальний електрод; 2 - коронуючий електрод; 3 - частки золи; 4 - електричне поле; 5 - шар золи; 6 - заряджена зола

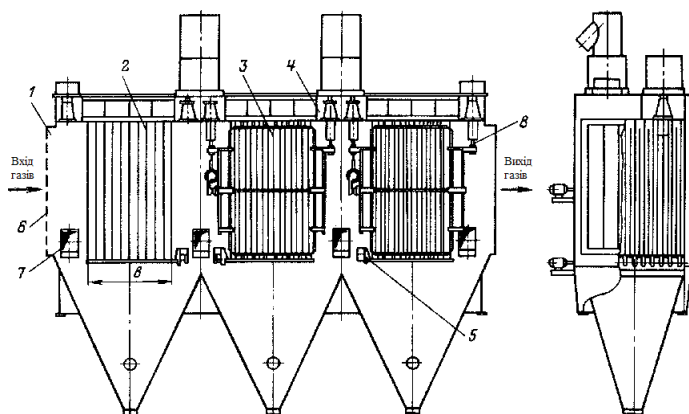


Рис. Д.4.2.3. Електрофільтр типу УГ : 1 - корпус; 2 - осаджувальний електрод; 3 – коронуюч. електрод; 4 - механізм зтрушування коронуюч. електродів; 5 - механізм зтрушування осаджувальних електродів; 6 - газорозподільча решітка; 7 - бункер для золи; 8 - ізолятор

## Додаток 4.

## До розділу 4

Таблиця Межі метрологічних умов для виробничого приміщення

Період року	Температура		Відносна вологість, $\varphi$ , %	Швидкість руху повітря, V, м/с
	Верхня межа	Нижня		
	Робоче приміщення			
Теплий	29	27	55	0,4
Холодний	22	19	$\leq 75$	0,2...0,3

**ЧАСТИНА 3. АВТОРЕФЕРАТ.****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

**Автореферат до кваліфікаційної роботи  
на здобуття освітнього ступеня магістра**

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

освітньо-професійної програми Теплоенергетика та енергоефективні  
технології

на тему: Електростатичне очищення димових газів вугільного котла  
ТЕЦ цукрового заводу

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-9М

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Бачурський В.І.**

(прізвище здобувача)

Київ – 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Зменшення викидів забруднюючих речовин у повітря має величезне значення для охорони довкілля. Електростатичне очищення може бути ефективним методом зменшення шкідливих викидів у повітря, що є важливим завданням у сучасному світі. Очищення димових газів також впливає на енергетичну ефективність процесу. Оптимізація систем електростатичного очищення може допомогти знизити енергетичні витрати, що є важливим фактором для підвищення ефективності ТЕЦ. У багатьох країнах ТЕЦ на вугіллі залишаються одними з основних джерел електроенергії. Очищення димових газів у таких установках є критично важливим для забезпечення відповідності стандартам екології та здоров'я. Розвиток нових технологій та методів очищення може виявитися більш вигідним з екологічної та економічної точок зору. Вдосконалення систем електростатичного очищення може призвести до нових рішень та підходів у цій сфері.

### **Мета і завдання дослідження.**

**Метою** дипломного проекту є вивчення, аналіз та оцінка ефективності системи електростатичного очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу з метою оптимізації процесу очищення та зменшення викидів шкідливих викидів у повітря.

**Матеріали дослідження.** При визначенні очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу використано матеріали МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ до виконання випускної кваліфікаційної роботи; Водний кодекс України та інші нормативно-правові документи.

При вивченні екологічної характеристики, загальної характеристики електростатичного очищення,

Опрацьовуючи тему магістерської роботи, було використано праці таких науковців, як: Плачкова С.Г., Плачков І.В., Осипенко В.Д., Осипенко В.В., Гусар М.А., Доманский С.Г., Дунаєвська Н.І., Яриш Л.П., Мислюк О.О., Корнелюк Н.М. Вольчин І.А. Корчевий Ю.П. Горбунов В.С., Потапов А.А., Ращепкін В.А., Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А., Ковалко М.П.,

Денисюк С. П., Старк С.Б., Горячев І.К., Бергер М.І., Вальдберг А.Ю., Шаравара В.В., Єрохін О.В., Поставничий В.В.тощо.

**Наукова новизна** результатів магістерського дослідження полягає у:

- подальшому розвитку теорії електростатичної фільтрації;
- розширенні діапазону експлуатаційних параметрів режиму фільтрації;

**Практичне значення** одержані результати становлять основу для формування технічного завдання та глибокого інженерно-технічного пророблення дослідженої системи електростатичної фільтрації.

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, огляду літератури, матеріалів та методів дослідження, результатів власних досліджень та їх обговорення, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг магістерської роботи – 69 сторінки, 4 розділів, робота ілюстрована 15 таблицями, 4 додатків, 21 рисунками та 17 слайдами. Бібліографія включає 31 джерел вітчизняної та іноземної літератури

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** подано загальну характеристику досліджуваної теми, обґрунтовано актуальність дипломної роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, відзначено практичну новизну та актуальність отриманих результатів, подано інформацію про структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі "Система очищення димових газів від забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів"** проаналізували вплив викиду забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ та продуктів виробництва цукрових заводів на стан здоров'я людини та довкілля, розглянули виконання національного плану скорочення викидів, проведено порівняння фактичних концентрацій викидів та вимог Директиви 2010/75/EU для існуючих вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів.

Під час спалювання різних типів палива виділяються продукти окислення, а саме є нетоксичний двооксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) та водяна пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ), також діоксид та триоксид сірки ( $\text{SO}_2$  та  $\text{SO}_3$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), такі як  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$ , продукти неповного згоряння, зокрема  $\text{CO}$ , тверді частки (сажа, зола, пил), канцерогенні речовини, наприклад, бенз(а)пірен, вуглеводні, такі як  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , сполуки ртуті, свинцю, кадмію, миш'яку, фтору та інші.

Для визначення кількості золи, що викидається в атмосферу з продуктами згоряння на ТЕС, враховується тип вугілля (наприклад, донецьке вугілля), кількість енергоблоків ( $n$ ), та їх потужність ( $N = 500 \text{ МВт}$ ) з котлоагрегатами П-57. Очищення продуктів згоряння в даному випадку здійснюється за допомогою горизонтальних електрофільтрів типу УГ.

Питома витрата палива (брутто) на ТЕЦ  $b_{\text{пит}}$ , кг умов. палив./кВт.год.

Дані взяті мною з нульового варіанту задачі 1. Таблиці в додатку 3

Визначаємо витрату палива на ТЕЦ,  $B$ - кг/с,

$B = b_{\text{пит}} \cdot n \cdot N \frac{Q_{y.n}^p}{Q_n^p} = 0,29 \cdot 3 \cdot 500 \cdot \frac{29300}{22560} \approx 565 \text{ кг/с}$	1.1.1
--	-------

Додаток 2 наповнений схемами процесів викидів речовин в атмосферу характеристикою палива та продуктів згорання, розподіл температур, розподіл

швидкості газів. Дані взяті мною з нульового варіанту задачі 1. Таблиці в додатку 2

У другому розділі "Технічна реалізація очищення димових газів вугільних котлів ТЕЦ окремого цукрового заводу" проведено аналіз технологій очищення димових газів вугільного котла електрофільтрами та розглянуто короткий огляд конструктивних рішень їх основних вузлів, ознайомлення з принципами очищення димових газів електростатичним полем.

Проаналізовано переваги та недоліки електрофільтрів. **Переваги електрофільтрів:** високий ступінь ефективності у вирішенні завдань очищення газу 99%, низький газодинамічний опір, в межах 100-150 Па, володіють вражаючою універсальністю, а саме працюють в агресивних середовищах та можуть обробляти гарячі гази, використання в різноманітних кліматичних умовах, автоматизовані. **Недоліки електрофільтрів:** високе споживання електроенергії (для створення електростатичного поля 0,1-0,5 кВт-год на 1000 м<sup>3</sup> газу), висока чутливість до підтримання параметрів очищення, висока металоємність, великі габарити, складність монтажу та обслуговування, не можна використовувати для уловлювання пилу з дуже високим електричним опором, неможна спрямовувати вибухонебезпечні гази на електрофільтр.

Основні компоненти електрофільтрів включають **газощільний корпус з коронуючими електродами**, до яких подається випрямлений струм високої напруги, і **заземленими осаджувальними електродами**. Також вони включають **ізолятори електродів, пристрій для рівномірного розподілу потоку по перетину електрофільтру, бункери для збору уловлених частинок, системи регенерації електродів і електроживлення**.

**Осаджувальні електроди** електрофільтрів виконуються у формі **заземлених металевих вертикальних труб або пластин**, а **коронувальні** мають **форму металевих стержнів**, що розміщуються **всередині труб або між пластинами**. Коронувальні та осаджувальні електроди розташовуються в **герметичних камерах**, через які проміжки між електродами проходить газопилова суміш від низу вгору.

За методом регенерації осаджувальних та коронувальних електродів, **електрофільтри** поділяються на **сухі** та **мокрі**. У **сухих** електрофільтрах для видалення осадженого пилу використовують **вібраційні, магніто-імпульсні, ударно-молоткові та ударно-пружинні системи струшування**. У **мокрих** електрофільтрах для видалення пилу застосовують **промивання електродів необхідною кількістю рідини**.

Згідно із напрямом руху газу, електрофільтри можуть бути **горизонтальними** або **вертикальними**. **Вертикальні** апарати, хоча й займають значно менше площі в плані, при рівних умовах **мають менші коефіцієнти очищення**. Активна довжина поля вертикального електрофільтру співпадає з активною висотою його електродів.

Електроди на електрофільтрах **періодично очищають від пилу**, використовуючи **струшування або промивку**, для утримання оптимальної ефективності пиловловлювання та уникнення зниження ефективності в результаті осадження пилу. Згідно із цим, електрофільтри бувають на **сухі і мокрі**.

До вологих відносять апарати, які збирають рідкі або значно вологі тверді частинки, а також електрофільтри, електроди яких очищаються самопливом (конденсатом уловленого рідкого аерозолі) або за допомогою змиву частинок, які осіли рідиною. До сухих відносять електрофільтри, які захоплюють сухі тверді частинки і видаляють їх з електродів шляхом струшування через певний інтервал часу.

**Усі вологі електрофільтри**, що отримали застосування в промисловості, мають **вертикальну компоновку**. **Сухі** пристрої можуть бути як вертикальними, так і **горизонтальними**. **Основне** використання серед **сухих** електрофільтрів мають апарати із **горизонтальним напрямком руху газу**, що є горизонтальними **багатополярними** апаратами, де очищений газ проходить **послідовно через кілька електричних полів**.

Залежно від форми осаджувальних електродів, відомі **трубчасті і пластинчасті** електрофільтри рис. 1 . Трубчасті електрофільтри складаються з

численних елементів із круглим або шестикутним (сото-подібним) перетином. Коронний електрод розташований по осі кожного трубчастого елемента. У пластинчастому електрофільтрі велика кількість паралельних пластин має натягнуті коронні електроди між ними.

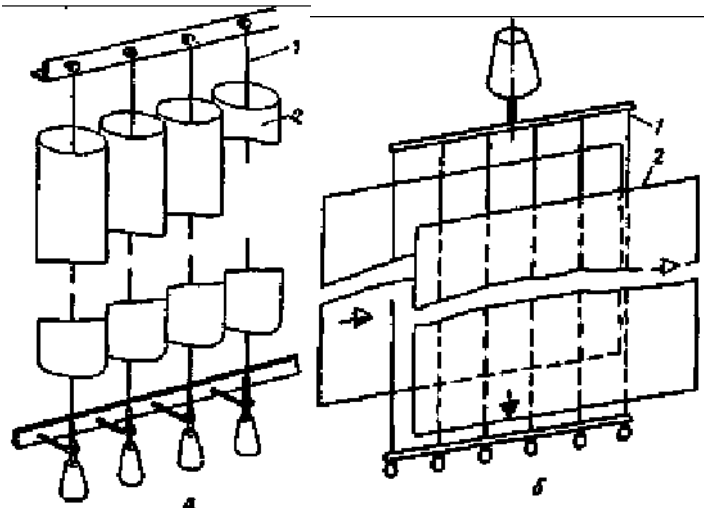


Рис. 1 Конструктивна схема електродів:

Вибрано та проаналізовано електрофільтри типу УВ, УГМ, ЕГ, ЕГТЕГА, ЕГТ, ЕГА та мокрий електрофільтр типу ЕОМ та вертикальний сухий електрофільтр УВ. Виконано підбір і розрахунок технологічних параметрів електрофільтрів.

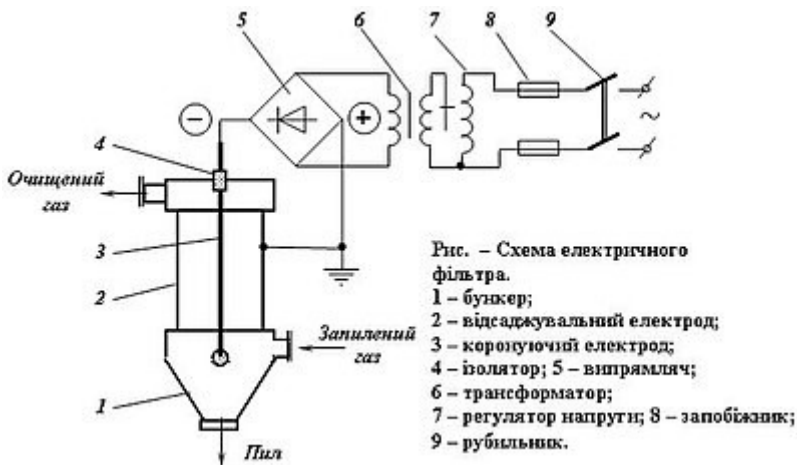


Рис. 2 Принципова електрична схема електростатичного фільтра

Виконано підбір і розрахунок технологічних параметрів електрофільтрів.

Загальний ступінь очищення газів:

$$\eta = \frac{\eta_1 \cdot \Phi_1}{100} + \frac{\eta_2 \cdot \Phi_2}{100} + \frac{\eta_3 \cdot \Phi_3}{100} + \frac{\eta_4 \cdot \Phi_4}{100} + \frac{\eta_5 \cdot \Phi_5}{100} + \frac{\eta_6 \cdot \Phi_6}{100} + \frac{\eta_7 \cdot \Phi_7}{100} = \frac{0.664 \cdot 5}{100} + \frac{0.996 \cdot 10}{100} + \frac{1 \cdot 10}{100} + \frac{1 \cdot 15}{100} + \frac{1 \cdot 20}{100} + \frac{20}{100} + \frac{20}{100} = 0.983 \%$$

Потужність споживана електрофільтром:

$$N = \frac{U_0 \cdot I_{\text{сер}} \cdot R_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi}{1.41 \cdot \eta_e} + N_{\text{стр}} = \frac{2.596 \times 10^4 \cdot 0.539 \cdot 1.5 \cdot 0.75}{1.41 \cdot 0.8} + 1.2 = 1.396 \times 10^4 \text{ Вт}$$

У третьому розділі "Екологічні та економічні аспекти" проаналізовано вплив на рівень забруднення навколишнього середовища, зроблено аналіз витрат та економічна доцільність впровадження технології. На таблицях. 1 та 2 виведені результати аналізів.

Таблиця 1. Максимальні приземні концентрації шкідливих викидів на межі СЗЗ з врахуванням фонового забруднення

Найменування речовини	Фон, мг/м	мг/м <sup>3</sup>	ГДК, частка
Гідроксид кальцію	0	0,004	0,02
Діоксид азоту	0,006	0,01	0,12
Аміак	0	0,002	0,01
Сажа	0,012	0,0195	0,13
Сірчистий ангідрид	0,02	0,375	0,75
Оксид вуглецю	0,39	1,39	0,28
Кислота масляна	0	0,194	12,9
Кислота оцтова	0	0,2	1
Пил неорганічний (SiO <sub>2</sub> 70-20%)	0,031	0,037	0,12
Пил жому	0	0,0564	0,94
Пил деревини	0,0072	0,0162	0,162
Пил цукру	0	0,001	0,01
Пил антрациту	0	0,76	6,91
Карбонат кальцію	0	0,983	6,55
Група сумачії №3	0	0,02ГДК	0,02

Таблиця 2. Характеристики систем азотовидалення.

Тип	Характеристики	Зростання капітальних витрат

SCR	<p>зниження викидів NO<sub>x</sub> - 80–95%</p> <p>використовує 0,5% виробленої електроенергії використовує аміак або сечовину як реагент проскакування аміаку збільшується зі зростанням відношення NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> та може стати проблемою (забагато аміаку у летючій золі).</p> <p>Більший об'єм каталізатора / покращення змішування NH<sub>3</sub> та NO<sub>x</sub> у димових газах може знадобитись для подолання проблеми.</p> <p>Каталізатор може містити важкі метали. Необхідні ретельне поводження та утилізація / переробка використаного каталізатора.</p> <p>Тривалість експлуатації каталізатора 6-10 років (спалювання вугілля), 8-12 років (мазуту) та більше 10 років (газу).</p>	<p>4-9 % (вугільний котел)</p> <p>1-2 % (ПГУ)</p> <p>20-30 % (двигун внутрішнього спалювання)</p>
SNCR	<p>зниження викидів NO<sub>x</sub> - 30–50%</p> <p>використовує 0,1-0,3% виробленої електроенергії використовує аміак або сечовину як реагент, не може використовуватись на ГТУ та ДВС функціонування без каталізаторів.</p>	<p>1-2 %</p>

**Четвертий розділ "Охорона праці".** Дослідження за темою магістерської роботи проводились на цукровго заводу ТЕЦ, тому в цьому розділі наведено вимоги безпеки під час експлуатації приладів очищення димових газів, а також вимоги безпеки під час улаштування приміщень, електробезпека і експлуатації установок. У приміщеннях та на підприємстві було визначено умови праці та їх відповідність санітарним нормам (рівень освітленості робочого місця, параметри мікроклімату, шум та інше).

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У ході даного дослідження було проведено аналіз електростатичних принципів очищення димових газів, вивчено технічні аспекти впровадження систем такого очищення, а також розглянуто математичне моделювання та імітація їх роботи. Виявлено, що електростатичне очищення є перспективним напрямком в галузі зменшення викидів з енергетичних установок.

Детально розглянуті особливості електростатичного очищення димових газів на ТЕЦ цукрового заводу, зокрема враховані характеристики димових газів від вугільного котла. Проведений аналіз впливу різних параметрів газів на ефективність системи електростатичного очищення вказує на необхідність адаптації таких систем до конкретних умов та технічних вимог конкретного об'єкту.

Принципова відмінність процесу електростатичного осадження від механічних методів відділення частинок полягає в тому, що в цьому випадку імпульсні сили діють безпосередньо на частинки, а не опосередковано через їх вплив на загальний газовий потік. Таке пряме і надзвичайно ефективне використання сил пояснює помірне споживання енергії і низький опір газовому потоку, що характеризують електростатичний метод.

Після проведеної модернізації інженерних систем очищення димових газів, а саме впровадження електростатичної фільтрації, питомі тепловитрати на опалення зменшились

Провівши аналіз економічних затрат на впровадження даних методів можна зробити висновки про перевагу системи електростатичної фільтрації, включаючи низькі інвестиційні та експлуатаційні витрати та відносно невеликі розміри, роблять її переважним вибором для проекту. Додатковими перевагами цього проекту є економія електроенергії

Оптимізація та вдосконалення системи електростатичного очищення на ТЕЦ цукрового заводу вимагає комплексного підходу. Оцінка ефективності існуючої системи дозволяє виявити слабкі місця та визначити напрямки подальших досліджень. Запропоновані підходи та рекомендації щодо вдосконалення та

оптимізації системи базуються на практичних спостереженнях та враховують конкретні умови експлуатації у цукровому заводі.

Загальний висновок: електростатичне очищення димових газів є ефективним та перспективним рішенням для зменшення викидів з енергетичних установок, зокрема на ТЕЦ цукрового заводу. Важливим етапом є врахування конкретних умов та технічних параметрів кожного об'єкта для досягнення максимальної ефективності та стійкості роботи системи очищення.

На сучасному етапі прецизійна очистка викидів є одним з основних заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря. До основних технологій прецизійного очищення з використанням зовнішніх електричних полів відносяться електрофільтри.

Однак, на жаль, використання електрофільтрів пов'язане зі значними енергетичними витратами. Зокрема, типові напруги в таких технологіях становлять десятки тисяч вольт. Тому розвиток технологій очищення дрібнодисперсного пилу з використанням неоднорідних електричних полів однозначно вимагає пошуку шляхів зниження робочої напруги при збереженні умов, що стимулюють описані вище гібридні (левітаційно-електрофорезні) схеми.

У роботі також проаналізовано заходи безпеки для технологічного процесу біологічного очищення димових газів: забезпечення працівників спецодягом, проведення належного інструктажу, оснащення всього обладнання та приміщень звукоізоляційним матеріалом, розміщення вогнегасників навколо відділення, заземлення всіх електричних проводів. Проектні та технічні рішення базуються на вимогах пожежної безпеки та захисту працівників.

### **Список опублікованих праць**

За матеріалами магістерського дослідження публікації автора роботи на момент її захисту – відсутні.

## АННОТАЦІЯ

БАЧУРСЬКИЙ В.І. Спец . 144 Теплоенергетика, кафедра Теплоенергетика та холодильна техніка , інститут ННІТІ ім. акад. Гулого, університет НУХТ, Київ 2024. Кваліфікаційна робота на тему «Електростатичне очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ цукрового заводу»

В зв'язку з швидким подорожанням газу, мазуту, повільним переходом теплоенергетичних установок на використання відновлюваних джерел енергії, значна частина ТЕС та ТЕЦ України переходить на альтернативне паливо кам'яне або буре вугілля, що призвело до збільшення кількості викиду димовими газами шкідливих викидів в довкілля та забруднення атмосфери спричиняючи кислотні дощі, тепличний ефект, негативний вплив на населення.

Національним планом скорочення викидів (НПСВ) Україна намагається швидко наблизити свої нормування шкідливих викидів особливо  $SO_2$ ,  $NO_2$ , пилю та інших речовин до жорстких нормувань викиду в державах ЄС.

Пріоритетною системою очищення димових газів від шкідливих домішок на даний момент є вплив на них електростатичного поля сучасних електрофільтрів.

Автор даною роботою аналізує існуючі системи очищення, обґрунтовує необхідність застосування даного способу для досягнення 99% очищення електростатичними фільтрами димових газів вугільних котлів на ТЕЦ, яка забезпечує тепловою та електричною енергією цукровий завод, аналізує суть проблеми, розраховує і підбирає відповідне устаткування, визначає інвестиційні витрати і вплив на собівартість електричної енергії, техніко-економічні розрахунки впровадження природоохоронних технологій на енергоблоках ТЕЦ з використанням збільшення середньої зваженої собівартості електричної енергії за життєвий цикл та робить висновки.

Мета роботи: Визначення очікуваних експлуатаційних параметрів електростатичного очищення димових газів вугільного котла ТЕЦ інших виробничих чинників цукрового заводу від шкідливих викидів та максимальне наближення їх до існуючих міжнародних нормувань

Магістерська кваліфікаційна робота складається з трьох частин:

1. Розрахунково-пояснювальної записки;
2. Графічно-презентаційної частини;
3. Автореферату.

Пояснювальна записка має об'єм – 72 с., 24 рис., 17 табл., 4 розділів, 4 додатків, 31 джерельних посилань. Графічно-презентаційна частина складається з 17 слайдів. Автореферат складається з 17 стор.

Вона складається з наступних розділів: вступ; обґрунтування виробництва електричної енергії та система очищення димових газів від забруднюючих речовин вугільних котлів ТЕЦ цукрових заводів; технічна реалізація очищення димових газів вугільних котлів ТЕЦ окремого цукрового заводу; екологічні та економічні аспекти; охорона праці.

**Ключові слова:** цукровий завод, ТЕЦ, димові гази, забруднюючі речовини, система очищення, газопилоочисне обладнання, електростатичне поле, електрофільтри, розрахунок, застосування, економічна доцільність.

## ANNOTATION

BACHURSKYI V.I. Spec. 144 Thermal Power Engineering, Department of Thermal Power Engineering and Refrigeration Technology, Institute of NNITI named after Acad. Gulogo, NUHT University, Kyiv 2024. Qualification work on the topic "Electrostatic cleaning of flue gases of a coal-fired boiler of a CHP sugar factory"

In connection with the rapid increase in the price of gas and fuel oil, the slow transition of thermal power plants to the use of renewable energy sources, a large part of TPPs and CHPs of Ukraine is switching to alternative fuel, stone or brown coal, which has led to an increase in the amount of flue gas emissions of harmful substances into the environment and atmospheric pollution causing acid rain, greenhouse effect, negative impact on the population.

With the National Emission Reduction Plan (NEPSP), Ukraine is trying to quickly bring its emission standards of harmful substances, especially SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dust and other substances, closer to the strict emission standards in the EU countries.

The priority system for cleaning flue gases from harmful impurities at the moment is the impact on them of the electrostatic field of modern electrostatic precipitators.

In this paper, the author analyzes the existing cleaning systems, substantiates the need to use this method to achieve 99% cleaning by electrostatic filters of flue gases of coal boilers at the thermal power plant, which provides thermal and electrical energy to the sugar factory, analyzes the essence of the problem, calculates and selects the appropriate equipment, determines investment costs and the impact on the cost of electricity, technical and economic calculations of the introduction of environmental protection technologies at CHP power units using an increase in the average weighted cost of electricity over the life cycle, and draws conclusions.

The purpose of the work: Determination of the expected operational parameters of the electrostatic cleaning of the flue gases of the coal boiler of the CHP of other production factors of the sugar factory from harmful substances and their maximum approximation to the existing international standards

The Master's thesis consists of three parts:

1. Calculation and explanatory note;

2. Graphical and presentation part;

3. Abstract.

The explanatory note has a volume of 72 pages, 24 pictures, 17 tables, 4 chapters, 4 appendices, 31 source references. The graphic presentation part consists of 17 slides. The abstract consists of 17 pages.

It consists of the following sections: introduction; substantiation of electric energy production and flue gas purification system from pollutants of coal-fired boilers of thermal power plants of sugar factories; technical implementation of flue gas cleaning of coal-fired boilers of the CHP of a separate sugar factory; environmental and economic aspects; Occupational Health.

**Key words:** sugar plant, CHP, flue gases, pollutants, cleaning system, gas and dust cleaning equipment, electrostatic field, electrostatic precipitators, calculation, application, economic feasibility.