

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Система газоочищення енергетичного блоку Дарницької ТЕЦ-4  
у м. Київ»

Виконала: студентка IV курсу, групи ТП - 71

\_\_\_\_\_ Магєра Арина Юріївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ професор, д. т. н. Геннадій ВАРЛАМОВ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище) (підпис)

Консультант з охорони праці \_\_\_\_\_ доцент, к.т.н. Юрій ПОЛУКАРОВ \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, прізвище) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, прізвище) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 р.

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський)

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ

(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студентці**

\_\_\_\_\_ Маєрє Арині Юріївні \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Система газоочищення енергетичного блоку Дарницької ТЕЦ-4 м. Київ»

керівник проекту Геннадій Борисович Варламов, професор, д. т. н.,

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

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р. №\_\_

2. Термін подання студентом проекту 16.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту: Котел типу ТП-15, паропродуктивністю  $D = \text{т.пара/год.}$  який працює на вугіллі марки АШ, теплота згоряння якого  $Q_n = 5500 \text{ ккал/кг.}$  витрата палива  $23 \text{ т/год.}$  Температура димових газів на вході в електрофільтр  $t = 150^\circ\text{C.}$

4. Зміст пояснювальної записки

4.1. Загальні відомості про енергетичний об'єкт.

4.2. Системний аналіз енерго-екологічних показників експлуатації об'єкту.

4.3. Опис загальних методів і засобів покращення умов експлуатації об'єкту.

4.4. Застосування сучасних технологій з підвищенням екологічної безпеки експлуатації енергооб'єкту.

4.5. Перевірочний розрахунок встановленого електрофільтру для котла ТП-15.

4.6. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1) Система золовидалення. Монтажно-технологічна схема—1 арк. ф. А1.

2) Газоочисна установка. Схема установки. Розташування обладнання. План на відм. 0,000 м. Розрізи 1-1, 2-2 – 2 арк. ф. А1.

3) Компресорна станція. Монтажно-технологічна схема - 1 арк. ф. А1.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
охорона праці	Юрій ПОЛУКАРОВ, доцент		

7. Дата видачі завдання 18.05.21 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Опис існуючого обладнання ТЕЦ-4	19.05.21 р.	
2.	Аналіз енерго-екологічних показників		
	об'єкту	24.05.21 р.	
3.	Опис методів покращення екологічних		
	показників від викидів	27.05.21 р.	
4.	Опис електрофільтру. Порівняння		
	показників до і після його встановлення	31.05.21 р.	
5.	Перевірочний розрахунок:		
	- при роботі на вугіллі марки АШ	03.06.21 р.	
	- при роботі на вугіллі марки Г(Р)	04.06. 21 р	
6.	Охорона праці	07.06.21р.	
7.	Графічна частина		
	- монтажно-технологічна схема	08.06.21р.	
	- схема установки та розташування		
	обладнання (план, розрізи)	14.06.21 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки	16.06.21 р.	

Студентка

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Арина МАГЄРА

(ім'я, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Геннадій ВАРЛАМОВ

(ім'я, прізвище)

---

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: «Система газоочищення енергетичного блоку  
Дарницької ТЕЦ-4 у м. Київ»

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт першого (бакалаврського) рівня вищої освіти на тему « Система газоочищення енергетичного блоку Дарницької ТЕЦ-4 у м. Київ»: пояснювальна записка на 74 с., 11 рис., 13 табл., 16 бібліографічних найменувань; 2 дод.; креслень – 4 арк. Ф. А1.

Мета проєкту – реконструкція системи газоочищення ТЕЦ із заміною існуючих мокрих золовловлювачей з трубою Вентурі на вискоєфективні електрофільтри.

Проведено аналіз екологічних показників експлуатації об'єкту. Наведені особливості експлуатації енергооб'єкту та позитивні характеристики після реконструкції.

Наведені та описані методи очищення димових газів від сірки, та розглянуто декілька варіантів очищення димових газів від шкідливих компонентів і особливо від оксидів азоту  $\text{NO}_x$ .

Використовуючи нормативні матеріали, проєктну документацію та паспортні дані енергетичного парового котла ТП-15, наведено розрахунки технологічних характеристик електрофільтру для різних видів вугілля, що спалюється у котлі. За результатами розрахунків виконано порівняння характеристик очищення димових газів електрофільтром для різних видів вугілля з проєктним паливом.

Розроблено основні заходи та засоби щодо організаційно-технічного забезпечення охорони праці.

На кресленнях наведено розрізи газоочисної установки (електрофільтр) та монтажно-технологічні схеми системи золовидалення котла.

Ключові слова: теплоелектроцентрально, димові гази, вугілля, електрофільтр, охорона праці.

## SUMMARY

Graduation project of first (Bachelor) level of higher education on the theme: «Gas-cleaning system of Darnytskd CHP-4 power units in the Kyiv»: explanatory note for 74 p., 11 figures, 13 tables, 16 bibliographic names; 2 add.; drawings – 4 arcs. f. A1.

The purpose of the project is to reconstruct the CHP gas cleaning system with the replacement of existing wet ash traps with a Venturi pipe with high-efficiency electrostatic precipitators.

The analysis of ecological indicators of operation of the object is carried out. Features of operation of the energy facility and positive characteristics after reconstruction are given.

Methods for cleaning flue gases from sulfur are presented and described, and several options for cleaning flue gases from harmful components and especially from nitrogen oxides NO<sub>x</sub> are considered.

Using regulatory materials, design documentation and passport data of the TP-15 power steam boiler, calculations of technological characteristics of the electrostatic precipitator for different types of coal burned in the boiler are given. According to the results of calculations, a comparison of the characteristics of flue gas cleaning with an electrostatic precipitator for different types of coal with design fuel was performed.

The main measures and tools for organizational and technical support of labor protection have been developed.

The drawings show sections of the gas cleaning unit (electrostatic precipitator) and the assembly and technological schemes of the boiler ash removal system.

Keywords: combined power plant, flue gases, coal, electric filter, occupational safety.

## АННОТАЦИЯ

Дипломный проект первого (бакалаврского) уровня высшего образования на тему: «Система газоочистки энергетического блока Дарницкой ТЭЦ-4 в г. Киев»: пояснительная записка на 74 с., 11 рис., 13 табл., 16 библиографических наименований; 2 прилож.; чертежей – 4 л. ф. А1.

Цель проекта – реконструкция системы газоочистки ТЭЦ с заменой существующих мокрых золоуловителей с трубой Вентури на высокоэффективные электрофильтры.

Проведен анализ экологических показателей эксплуатации объекта. Приведенные особенности эксплуатации энергообъекта и положительные характеристики после реконструкции.

Приведенные и описаны методы очистки дымовых газов от серы, и рассмотрены несколько вариантов очистки дымовых газов от вредных компонентов и особенно от оксидов азота NO<sub>x</sub>.

Используя нормативные материалы, проектную документацию и паспортные данные энергетического парового котла ТП-15, приведены расчеты технологических характеристик электрофильтра для различных видов угля, сжигаемого в котле. По результатам расчетов выполнено сравнение характеристик очистки дымовых газов электрофильтром для различных видов угля с проектным топливом.

Разработаны основные мероприятия и средства по организационно-техническому обеспечению охраны труда.

На чертежах приведены газоочистительная установка (электрофильтр) и монтажно-технологическая схема системы золоудаления котла.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, дымовые газы, уголь, электрофильтр, охрана труда.

### 3MICT

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМЕНІВ.....	9
ВСТУП .....	11
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБ’ЄКТ .....	13
1.1 Основне енергетичне устаткування ТЕЦ:.....	14
1.2 Теплова схема ТЕЦ .....	14
1.3 Черги реконструкції .....	15
2 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ’ЄКТУ .....	17
2.1 Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу .....	17
2.2 Загальні особливості та позитивні характеристики експлуатації енергооб’єкту до та після реконструкції.....	19
2.3 Висновки до розділу 2 .....	22
3 ОПИС ЗАГАЛЬНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ’ЄКТУ .....	24
3.1 Установа сіркоочистки .....	24
3.2 Установа азотоочистки .....	29
3.3 Висновки до розділу 3 .....	37
4 ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГООБ’ЄКТУ .....	39
4.1 Опис та принцип дії технологічного обладнання електрофільтру.....	39
4.2 Система пневматичного золовидалення .....	47
4.3 Система моніторингу відходячих газів.....	49
4.4 Загальна характеристика електрофільтру .....	49
4.5 Умови експлуатації електрофільтру .....	51
4.6 Результати реконструкції золовловлювача .....	52
4.7 Висновки до розділу 4 .....	53
5 ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВСТАНОВЛЕНОГО ЕЛЕКТРОФІЛЬТРУ ДЛЯ КОТЛА ТП-15 .....	54
5.1 Методологічні засади визначення характеристик електрофільтру.....	54
5.2 Розрахунок технологічних характеристик електрофільтру при роботі котла ТП-15 на вугіллі марки АШ .....	56

						ТП 71 89 04 ПЗ			
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата	Система газоочищення Дарницької ТЕЦ-4. Пояснювальна записка	Стадія	Аркуш	Аркушів
Студентка		Магера					ДПБ	7	74
Керівник		Варламов					КПП ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, кафедра ТПТ		
П.контр.									
Н.контр.		Боженко							
Зав.каф.		Варламов							



5.3 Розрахунок технологічних характеристик електрофільтру при роботі котла ТП-15 на вугіллі марки Г(Р).....	57
5.4 Порівняння результатів розрахунків із паспортними даними електрофільтру .....	59
5.4 Перерахунок із проектною теплотворною здатністю вугілля марки АШ і Г(Р) .....	59
5.5 Висновок до розділу 5 .....	61
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
6.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектуваному об'єкті. Заходи з охорони праці. ....	62
6.2 Пожежна безпека.....	67
6.3 Висновки до розділу 6 .....	67
ВИСНОВКИ .....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	71
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А.....	72
СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ .....	72
ДОДАТОК Б .....	74
ПЕРЕВІРКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ НА АКАДЕМІЧНУ ДОБРОЧЕСНІСТЬ....	74

						ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
							8
Зм.	Кільк.	Арк.	№док.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМЕНІВ

### Умовні позначення:

$V$  – об'єм;

$\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря в газах перед золовловлювачем;

$S$  – сірка;

$H$  – водень;

$O$  – кисень;

$N$  – азот ;

$W$  – волога;

$A$  – зольність;

$G$  – витрата згоряємого палива;

$z$  – концентрація золи в димових газах;

$t$  – температура;

$S$  - площа активного перетину;

$h$  – відстань між осями;

$Q$  – теплота згоряння палива.

### Індекси:

нижні:

г - газ;

$RO_2$  - трьохатомний газ;

о – теоретична кількість;

п - проєкт;

ун – унос;

верхні:

р – розрахункове;

н – нижча теплота згоряння палива.

### Скорочення:

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

АШ – антрацит, штиб;

Г (Р) – газовий, рядовой;

ДСН – державні санітарні норми;

ДБН – державні будівельні норми;

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НАПБ – нормативно-правовий акт з питань пожежної безпеки;

СОУ – стандарт організації України;

ГОСТ – государственный стандарт;

СМВГ – система моніторингу відхідних газів.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

На сьогоднішній день перед Україною з'явилась неухильна потреба у зниженні викидів шкідливих речовин від теплоенергетичних установок з розробкою відповідних програм, визначенням цілей і завдань, заходів і строків їх виконання, а також механізмів моніторингу. Також необхідно досягти в стислі терміни європейського рівня гранично допустимих викидів від енергогенеруючих установок, які потребують переоснащення і модернізації з виконанням високоефективних систем по очищенню димових газів.

Необхідно відзначити, що переважну більшість теплових електростанцій України введено в експлуатацію в 1960-1980 рр. минулого століття. У той час концентрація шкідливих речовин в скидних димових газах не підлягала нормуванню. Димові гази передбачалося очищати тільки від золи в електрофільтрах або апаратах мокрого типу. Сірко- і азотоочисні установки ще не були достатньо відпрацьовані навіть у технологічно розвинених країнах. Вважалося, що необхідні санітарно-гігієнічні умови можна забезпечити за рахунок розсіювання шкідливих речовин через висотні димові труби.

Димові гази до сих пір не проходять належного очищення від оксидів сірки, концентрація викидів яких становить близько  $8000 \text{ мг/нм}^3$  при європейській нормі  $200-400 \text{ мг/нм}^3$ . Також немає установок, які очищують димові гази від оксидів азоту, концентрація їх викидів досягає  $600-2000 \text{ мг/нм}^3$  в порівнянні з нормою Європейського Союзу в  $200-600 \text{ мг/нм}^3$ .

Домішки, що містяться у викидах теплових електростанцій, потрапляючи в біосферу у районі розташування станції, вступивши у взаємодію з навколишнім середовищем, зазнають різні зміни. Вимиваючись атмосферними опадами вони потрапляють у ґрунт і водойми. Крім основних компонентів, що утворюються при спалюванні органічного палива, у викидах ТЕС містяться пилові частинки, що мають різний склад, оксиди азоту і сірки, оксиди металів, фтористі сполуки та газоподібні продукти неповного згорання палива. Потрапляючи в атмосферу, вони завдають великої шкоди не лише основним компонентам біосфери, але і підприємствам, іншим міських об'єктів, транспорту і місцевому населенню. Наявність оксиду сірки в частинках пилу обумовлено присутністю в паливі мінеральних домішок, оксид азоту утворюється із-за часткового окислення азоту в високотемпературному полум'я.

Найбільш високу біологічну активність має діоксид азоту, він має сильну подразнюючу дію на слизову оболонку очей і дихальні шляхи. Величезний негативний вплив на здоров'я людини роблять важкі метали. У великих кількостях, проникаючи в організм, протягом короткого періоду часу вони здатні викликати гострі отруєння. При довготривалому впливі в малих дозах такі речовини, як миш'як, хром і нікель можуть проявляти свої канцерогенні якості. Якщо перевести кількість шкідливих викидів в рік на

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ТЕС потужністю 1 млн. кВт на смертельні дози, то виходить така картина: залізо - 400 млн. доз, алюміній та його сполуки - більше 100 млн. доз, магній -1,5 млн. доз. У викидах ТЕС, що працюють на вугільному паливі, присутні оксиди алюмінію і кремнію. Ці абразивні речовини здатні руйнувати тканина легень, в результаті чого розвивається така хвороба, як силікоз, раніше страждали цим захворюванням в основному шахтарі. Зараз силікоз досить часто визначають у дітей, що проживають у безпосередній близькості від вугільних теплоелектростанцій.

У районах розташування теплової електричної станції (ТЕС), поряд із зростанням частки вуглекислого газу, зменшується частка кисню в атмосфері, так як велика кількість кисню витрачається при спалюванні палива.

Оксид сірки потрапляє з викидами в атмосферу, завдає великої шкоди тваринному і рослинному світу, вона руйнує хлорофіл, наявний в рослинах, пошкоджує листя і хвою. Окис вуглецю, потрапляючи в організм людини і тварин, з'єднується з гемоглобіном крові, в результаті чого в організмі виникає нестача кисню, і, як наслідок, відбуваються різні порушення нервової системи. Оксид азоту знижує прозорість атмосфери і сприяє утворенню смогу. Наявний у складі золи пентаксид ванадію відрізняється високою токсичністю, при попаданні в дихальні шляхи людини та тварин, він викликає сильне роздратування, порушує діяльність нервової системи, кровообіг і обмін речовин. Своєрідний канцероген беззаперечно може викликати онкологічні хвороби.

Враховуючи всю небезпеку продуктів згоряння, що викидаються теплоелектростанціями, при їх будівництві та реконструкції необхідно дотримуватися екологічних вимог, метою яких є недопущення викидів шкідливих речовин, що перевищують гранично допустимі концентрації.

Існуючі системи очищення не є ефективними за кількістю вмісту оксидів сірки, азоту та твердих суспендованих часток в димових газах після очищення.

З метою покращення екологічних показників та досягнення європейського рівня гранично допустимих концентрацій викидів від енергетичних об'єктів, необхідно поетапно замінити існуючі газоочисні установки на електрофільтри з застосуванням пневмозоловидалення та систем зберігання і відвантаження сухої золи зі встановлених силосів.

Для вловлювання в димових газах оксидів сірки та азоту необхідно передбачити будівництво установок сірко- та азотоочистки.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБ'ЄКТ

Промисловий майданчик Дарницької ТЕЦ-4 розташований в промисловій зоні Дніпровського району міста Києва.

Теплоелектроцентральною (далі ТЕЦ) здійснює виробництво та постачання теплової енергії тепловими мережами та надає послуги з централізованого опалення та централізованого постачання гарячої води для населення, бюджетних установ, релігійних організацій та інших споживачів м. Києва [1].

ТЕЦ є тепловою електричною станцією, яка працює на органічному паливі. Тепло від згоряння палива в топках котлів використовуються для отримання пари. Ця пара доводиться до перегрітого стану з високим тиском та подається до турбін, що використовуються для приводу електрогенераторів, які виробляють електричну енергію. Тепло, вироблене під час згоряння палива в топках котлів, використовується для отримання пари та підігріву мережної води.

Перегрітий пар високого тиску ( $P = 10,0$  МПа,  $T = 540$  °C) від енергетичних котлів типу ТП-170 (ст.№ 5), ТП-15 (ст.№ 6, 8), ТП-13 (ст.№ 9), ТП-47 (ст.№ 7, 10) надходить до турбін, де його тепла енергія перетворюється в механічну енергію обертання ротору турбіни, який за допомогою муфти з'єднаний з ротором електричного генератора. Генератор виробляє електричну енергію, яка подається до відкритого та закритого розподільних пристроїв, після чого електрична енергія подається до користувачів.

Частина пари, яка відпрацювала в турбіні, відбирається для підігріву власного конденсату в підігрівачах низького тиску (ПНТ), підігріву живильної води в підігрівачах високого тиску (ПВТ), мережної води в бойлерах, відокремлення розчинного кисню з живильної та додаткової води в деаераторах, а також для забезпечення потреб промислових користувачів.

Основним паливом для ТЕЦ є кам'яне вугілля, резервним та розпалювальним – природний газ.

Вугілля марки АШ надходить до ТЕЦ в залізничних вагонах та розвантажувальним краном або за допомогою перекидача вагонів. Подача вугілля зі складу здійснюється розвантажувальним краном або бульдозерами за допомогою стрічкових конвеєрів.

Природний газ поступає від ГРС-4 по газопроводах під тиском 0,5 МПа. На газорегуляторному пункті ТЕЦ тиск газу зменшується до 0,1 МПа, після чого через систему вимірювальних діафрагм та регулюючих клапанів подається в пальники котлів. Загальна довжина газопроводу на території ТЕЦ складає 1540 м (Ду 125...800 мм).

Водопостачання ТЕЦ здійснюється від власної берегової насосної станції, яка розташована на Русанівській протоці. Вода використовується для поповнення основного

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничого циклу та на інші технологічні цілі, зокрема подається в систему технічного водопостачання (охолодження механізмів, зрошення золовловлювальних установок і т.п.), для конденсації пари в конденсаторах турбін.

Для очищення промислових стоків використовуються очисні споруди (басейни), фільтри грубого очищення, насоси та трубопроводи. Очищена вода знов використовується для технічних потреб ТЕЦ.

Каналізація побутових відходів станції здійснюється за допомогою каналізаційної системи.

Встановлена електрична і теплова потужність ТЕЦ становить відповідно 160 МВт та 1228 Гкал/год.

Відпуск тепла у вигляді гарячої води проводиться по семи тепломагістралях. Відпуск електроенергії з електростанції проводиться від відкритих розподільчих пристроїв, розрахованих на напругу 35 та 110 кВ і від закритого розподільчого пристрою ГРУ 10 кВ.

### **1.1 Основне енергетичне устаткування ТЕЦ**

На сьогоднішній день в експлуатації ТЕЦ знаходиться наступне обладнання:

- турбоагрегат ПТ-60-90/13 ст. № 5 потужністю 60 МВт;
- турбоагрегати ПТ-60-90/13 ст. № 6,7 потужністю 50 МВт кожний;
- 5 котлів паропроductивністю 220 т/год та один 170 т/год;
- 4 енергетичних котли першої черги реконструкції: 2 водогрійні котли тепловою потужністю по 122 МВт (105 Гкал) кожний; 2 енергетичні котли, які працюють на знижених параметрах пари, що відповідають параметрам пари виробничого відбору турбін ( $t_p=350^{\circ}\text{C}$ ,  $P=0,98-1,28$  МПа) продуктивністю 155 т/год для забезпечення технологічною парою сторонніх споживачів.

Для покриття пікових теплових навантажень використовуються пікові водогрійні котли ПТВМ – 100 ст. №1-4 тепловою продуктивністю 116,7 МВт ( 100 Гкал/год) кожний, основним паливом для яких є природний газ, резервним-мазут.

Отже, встановлені теплова і електрична потужність складають 1428 МВт і 160 МВт відповідно.

Відпуск електроенергії з ТЕЦ виконується від відкритих розподільчих пристроїв (ВРП), розрахованих на напругу 35, 110 кВ та від закритого розподільчого пристрою ГРУ-10 кВ.

### **1.2 Теплова схема ТЕЦ**

Теплова схема ТЕЦ виконана з поперечними зв'язками і одинарними перемикаючими магістралями. В опалювальний період працюють три турбогенератори: ТГ-5 з відпуском тепла від відборів турбіни та мінімальними конденсаційним виробленням електричної енергії при охолодженні конденсатора турбіни циркуляційною водою і ТГ 6,7 по

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплофікаційному циклу в режимі погіршеного вакууму. В залежності від температури зовнішнього повітря та теплового навантаження працюють від 3 до 5 енергетичних парових котла, з яких 3-4 котла працюють на вугіллі з підсвічуванням природним газом, інші – на природному газу.

Після виходу із вертикального конвективного газоходу димові газу направляються у газоочисні установки - скрубери мокрого типу з трубами Вентурі. На кожному з котлів установлені по 4 пари очисних агрегатів у послідовності труба Вентурі - скрублер. За рахунок створення у трубі Вентурі умов для максимального контакту димових газів із розпиленою форсунками водою проходить коагуляція частинок золи водою. Після труби Вентурі суміш очищених димових газів та вода з коагульованою золою тангенціально підводяться до скрубера.

Важкі частинки відкидаються у периферійну частину скрубера і за допомогою води, що подається через зрошувальні сопла, змиваються в нижню конусоподібну частину скрубера і через гідрозапір у канал гідрозоловидалення (ГЗВ), а очищені димові газу під дією тяги димососу піднімаються у верхню частину скрубера і через відповідні газоходи відводяться у димову трубу.

### 1.3 Черги реконструкції

Будівництво установок буде виконуватися з виділенням дев'яти черг будівництва.

По першій черзі виконується будівництво установки електрофільтру для котлоагрегата ст. №6; проміжного силоса леткої золи; компресорної станції; комплектної трансформаторної підстанції №1-2; перетворювальної підстанції №1-1.

По другій черзі виконується будівництво установки електрофільтру для котлоагрегата ст. №7; перетворювальної підстанції №2-1; розподільчого пристрою 10 кВ.

По третій черзі виконується будівництво установки електрофільтру для котлоагрегата ст. №8; перетворювальної підстанції №3; силосного складу леткої золи (4 силоси).

По четвертій черзі виконується будівництво установки електрофільтру для котлоагрегата ст. №9; перетворювальної підстанції №4; силосного складу леткої золи (4 силоси).

По п'ятій черзі виконується будівництво установки електрофільтру для котлоагрегата ст. №5; перетворювальної підстанції №5; силосного складу леткої золи (2 силоси).

По шостій черзі виконується будівництво установки сіркоочистки для котлоагрегатів ст. №5 і 6; силос кінцевого продукту для сіркоочистки для котлоагрегатів ст. №5 і 6; силос вапна; силос гашеного вапна.

По сьомій черзі виконується будівництво установки сіркоочистки для котлоагрегатів ст. №7,8 і 9; силос кінцевого продукту для сіркоочистки для котлоагрегатів ст. №7,8 і 9; силос гашеного вапна.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



По восьмій черзі виконується будівництво установки азотоочистки для котлоагрегатів ст. №5 і 6 разом з баками аміачної води (2 шт.); склада аміачної води; комплектної трансформаторної підстанції №8.

По дев'ятій черзі виконується будівництво установки азотоочистки для котлоагрегатів ст. №7,8 і 9 разом з баками аміачної води (2 шт.); склада аміачної води; комплектної трансформаторної підстанції №9.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТУ

### 2.1 Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу

Основними критеріями оцінки якості атмосферного повітря при визначенні рівня забруднюючого впливу викидів при проведенні робіт є гранично-допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, що обмежують негативний вплив на стан навколишнього середовища та життєдіяльність населення.

Для кожної із забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу, повинна дотримуватись умова

$$\frac{C_m}{ГДК} \leq 1, \quad (2.1)$$

де  $C_m$  – максимальна розрахункова приземна концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

ГДК – максимально- разова гранично допустима концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

Обов'язковою умовою допустимості планованих робіт є дотримання нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря. Обсяг викидів від джерел планової діяльності з урахуванням фонового забруднення в даному районі й розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері повинні забезпечити гранично допустимий вміст забруднюючих речовин, що виключає негативний вплив на навколишнє середовище.

Основним джерелом утворення забруднюючих речовин є котлоагрегати №6, 7, 8, 9, які працюють на спаленні твердого палива (вугілля марки АШ, П), та котлоагрегати №5, 10, які працюють на спалюванні природного газу.

Пріоритетними забруднюючими речовинами атмосферного повітря є продукти спалювання органічного палива: оксиди сірки, азоту, вуглецю, тверді частки (пил неорганічний зі вмістом  $SiO_2$  20-70%).

Для очищення димових газів від забруднюючих речовин енергетичні котлоагрегати оснащені апаратами мокрого очищення від пилу.

За кожним котлом встановлено по 4 пари очисних агрегатів у послідовності труба Вентурі – скрубєр. Котлоагрегати №6, 7, 8 мають вертикальні труби Вентурі, а на котлоагрегаті К-9 встановленні горизонтальні труби Вентурі.

Робота існуючих пилогазоочисних установок признана не ефективною. Апарати мають значний фізичний знос і не забезпечують необхідних екологічних показників по вмісту у димових викидах таких забруднюючих речовин, як пил, оксиди азоту та діоксид сірки.

Ефективність очищення димових газів від пилу в мокрих зололовлювачах перебуває в межах 94,3 - 94,7%. Спеціальними установками по очищенню димових газів від оксидів сірки і азоту існуючи котлоагрегати не обладнанні.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Викид димових газів в атмосферу від котлоагрегатів ТЕЦ здійснюється через 3 димові труби. Підключення джерел виділення забруднюючих речовин до димових труб здійснюється за наступною схемою:

- водогрійні котли ВК-1 і ВК-2 типу ТП-170; паровий котел ПК-4 типу ТП-170 – труба №1 висотою  $H=100$  ;

- енергетичні котлоагрегати №5 типу ТП-170, №6 типу ТП-15, №7 типу ТП-47, №8 типу ТП-15 – труба №2 висотою  $H=100$  м;

- водогрійні котли №1, 2, 3, 4 типу ПТВМ-100 та енергетичні котлоагрегати №9 типу ТП-13, №10 типу ТП-47 – труба №3 висотою  $H=100$ м.

Крім того, у технологічному процесі при експлуатації ТЕЦ виділяються забруднюючі речовини у вигляді неорганізованих викидів (золівідвал, вугільний склад), а також від дрібних джерел ( 0,15% від загального обсягу викидів), які є незначними й практично не впливають на загальний баланс забруднюючих викидів в атмосферу і рівень забруднення природного середовища за межами промайданчику ТЕЦ.

При цьому концентрації забруднюючих речовин у димових газах, що відходять, перебувають у межах по:

- оксидам азоту – 440-1109 мг/нм<sup>3</sup>;
- діоксиду сірки – 2417-3958 мг/нм<sup>3</sup>;
- оксиду вуглецю – 89-228 мг/нм<sup>3</sup>;
- речовинам у вигляді суспензованих твердих частинок (пилу неорганічного із вмістом  $SiO_2$  20-70%) - мг/нм<sup>3</sup>.

Високі значення концентрацій і валових викидів забруднюючих речовин, низький ступінь очищення димових газів від пилу в існуючих очисних установках підвищенні екологічні вимоги стосовно граничних концентрацій, як для діючого, так і нового устаткування, потребують необхідність розробки заходів щодо підвищення ефективності існуючого газопиловловлюючого обладнання, які повинні відповідати сучасним санітарно-гігієнічним нормативам.

Таким чином, для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та приведення концентрацій забруднюючих речовин у димових газах котлів до вимог «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких понад 50 МВт», необхідна заміна фізично зношених і не ефективних апаратів мокрого очищення димових газів на сучасні установка – електрофільтри.

Установка вискоефективного електрофільтра дозволить знизити залишкову запиленість димових газів до 30 мг/нм<sup>3</sup> і значно скоротити викиди пилу в атмосферу.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Загальні особливості та позитивні характеристики експлуатації енергооб'єкту до та після реконструкції

Після проведення реконструкції всієї системи газоочисних установок та введення в експлуатацію даної системи газоочищення, концентрації пилу неорганічного з вмістом  $SiO_2$  20-70% та інших забруднюючих речовин в газах котлоагрегатів ТЕЦ відповідатиме вимогам «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких понад 50 МВт».

В результаті реалізації проектних рішень з'являються нові додаткові джерела забруднення повітряного басейну – отвори проміжного силосу летучої золи.

Проміжний силос призначений для короткострокового зберігання золи, и її подальшим транспортуванням на відпускний силосний склад, або відвантаження в автотранспорт.

На прикладі новостворених джерел викидів виконаємо розрахунок маси цих викидів [2].

На даху промсилосу розташовується два рукавні фільтри для уловлювання золи, що викидається в атмосферу з повітрям, яке надходить по транспортним трубопроводам пневматичної системи. Загальна ємність силосу складає  $1450 \text{ м}^3$ .

Робоча витрата стиснутого повітря –  $738 \text{ м}^3/\text{год}$ , продуктивність пневмокамерного насоса складає  $40 \text{ т}/\text{год}$ .

Під час загрузки золи в силос відбувається виділення пилу. Очищене в рукавному фільтрі повітря з залишковою запиленістю не більше  $20 \text{ мг}/\text{м}^3$ , викидається в атмосферу через отвір діаметром  $d=450 \text{ мм}$  на висоті  $29,7 \text{ м}$ .

Потужність викиду пилу в атмосферу не кожне джерело ( $\text{г}/\text{с}$ ) складає:

$$g = \frac{C \cdot V}{3600 \cdot 10^{-3}}, \quad (2.1)$$

де  $C$  – залишкова запиленість повітря,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$V$  – робоча витрата стиснутого повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Отже, за формулою (2.1)

$$g = \frac{20 \cdot 738}{3600 \cdot 10^{-3}} = 0,01 \text{ г}/\text{с}.$$

Час роботи одного силосу ( $\text{год}/\text{рік}$ ) при річному об'ємі утворення відходів летучої золи  $331301,1 \text{ т}/\text{рік}$  та продуктивністю пневмокамерного насоса  $40 \text{ т}/\text{год}$  складе:

$$\tau = \frac{m}{G \cdot n}, \quad (2.2)$$

де  $m$  – річний об'єм утворення відходів летучої золи,  $\text{т}/\text{рік}$ ;

$G$  – продуктивність пневмокамерного насоса,  $\text{т}/\text{год}$ ;

$n$  – кількість рукавних фільтрів для одного силосу.

$$\tau = \frac{331301,1}{40 \cdot 2} = 4141 \text{ год}/\text{рік}.$$

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Валові викиди кожного силосу:

$$M = g \cdot \frac{3600}{10^6} \cdot \tau, \quad (2.3)$$

де  $g$  - потужність викиду пилу в атмосферу, г/с;

$\tau$  - час роботи одного силосу, год/рік.

$$M = 0,01 \cdot 3600 \cdot 4141 \cdot 10^{-6} = 0,15 \text{ т/рік.}$$

Скорочення валових викидів пилу неорганічного зі вмістом  $SiO_2$  20-70% дозволить знизити навантаження на повітряний басейн й покращити екологічну ситуацію в зоні впливу ТЕЦ ТОВ «ЄВРО-РЕКОНСТРУКЦІЯ» на першому етапі впровадження системи газоочисних установок.

У таблиці №2.1 надаються порівняльні дані установки для очищення димових газів з заміною «мокрих» скрубєрів на електрофільтри.

Таблиця 2.1 - Характеристика викидів забруднюючих речовин в атмосферу до і після реконструкції газоочисних установок

Найменування джерела виділення	№ джерела викидів	Висота <i>H</i> ,м	Діаметр устя, м	Об'єм Нм3/с (при 6% <i>O2</i> )	Температура <i>t</i> , оС	Забруднююча речовина	Викид забруднюючих речовин в атмосферу		
							мг/нм <sup>3</sup> (при 6% <i>O2</i> )	г/с	т/рік
Котлоагрегати № 5-8	2	100	5,1	197,506	89,2	Оксиди азоту в перерахунок <i>NO2</i>	765,03	151,10	1990,39
						Діоксид сірки	1504,76	297,20	5756,36
						Окис вуглецю	180,10	35,57	483,88
						Суспенд. тверді частинки, в т.ч:			2039,50
						Пил неорг. зі вміст <i>SiO2</i> 20-70%	574,16	113,40	1956,21
Всього:								597,27	10270,13
Котлоагрегати № 9-10, водогрійні котли ПТВМ-100 №1-4	3	100	5,1	140,644	110,3	Оксиди азоту в перерахунок <i>NO2</i>	710,30	99,90	856,35
						Діоксид сірки	1162,52	63,50	1694,32
						Окис вуглецю	193,12	27,16	197,99
					ТП 71 89 04 ПЗ				Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## Продовження табл. 2.1

Найменування джерела виділення	№ джерела викидів	Висота <i>H</i> ,м	Діаметр устя, м	Об'єм Нм3/с (при 6% <i>O</i> <sub>2</sub> )	Температура <i>t</i> , оС	Забруднююча речовина	Викид забруднюючих речовин в атмосферу		
							мг/нм <sup>3</sup> (при 6% <i>O</i> <sub>2</sub> )	г/с	т/рік
						Суспенд. тверді частинки, в т.ч:			598,28
						Пил неорг. зі вміст <i>SiO</i> <sub>2</sub> 20-70%	442,25	62,20	588,06
Всього:								352,76	3346,95
Разом по ТЕЦ:								<b>950,03</b>	<b>13617,08</b>
Після впровадження електрофільтру на котлі ст.№6									
Котлоагрегати № 5-8	2	100	5,1	232,54	89,2	Оксиди азоту в перерахунок <i>NO</i> <sub>2</sub>	765,03	151,10	1990,39
						Діоксид сірки	1504,76	297,20	5756,36
						Окис вуглецю	180,10	35,57	483,88
						Суспенд. тверді частинки, в т.ч:			1614,45
						Пил неорг. зі вміст <i>SiO</i> <sub>2</sub> 20-70%	220,15	49,49	1558,95
Всього:								533,36	9789,58
Котлоагрегати № 9-10, водогрійні котли ПТВМ-100 №1-4	3	100	5,1	140,644	110,3	Оксиди азоту в перерахунок <i>NO</i> <sub>2</sub>	710,30	99,90	856,35
						Діоксид сірки	1162,52	63,50	1694,32
						Окис вуглецю	193,12	27,16	197,99
						Суспенд. тверді частинки, в т.ч:			588,06
					ТП 71 89 04 ПЗ				Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					21

## Продовження табл. 2.1

						Пил неорг. зі вм $SiO_2$ 20- 70%	442,25	62,20	588,06
Всього:								352,76	3336,73
Проміж- ний силос легкої золи	124	29,7	0,45	0,146	27	Суспенд. тверді частинки, в т.ч:Пил неорг. зі вм $SiO_2$ 20-70%	20	0,01	0,15
	125	29,7	0,45	0,146	27		20	0,01	0,15
Всього:								0,02	0,30
Разом по ТЕЦ:								886,14	13126,61

Реконструкція дозволить довести обсяги викидів забруднюючих речовин до вимог Директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24.11.2010 р. про промислові викиди, а також «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт», що затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. № 541 [3], а саме:

- зміст твердих суспендованих часток – не більше 50 мг/нм<sup>3</sup>;
- зміст діоксиду сірки – не більше 200 мг/нм<sup>3</sup>;
- зміст оксидів азоту (в перерахунку на діоксид азоту) – не більше 200 мг/нм<sup>3</sup>.

Встановлення в рамках реконструкції нових будівель та споруд здійснюється в межах існуючого промислового майданчика ТЕЦ без виділення додаткової землі.

Реконструкція системи газоочисних установок дозволить відмовитися від мокрого золовидалення та складування золи на золовідвалі та перейти до сухого видалення золи зі складуванням в нові силоси, які запроектовані на території проммайданчика ТЕЦ, з подальшим відвантаженням золи споживачу.

### 2.3 Висновки до розділу 2

Пріоритетними забруднюючими речовинами атмосферного повітря є продукти спалювання органічного палива: оксиди сірки, азоту, вуглецю, тверді частки.

Високі значення концентрацій і валових викидів забруднюючих речовин, низький ступінь очищення димових газів від пилу в існуючих очисних установках підвищенні екологічні вимоги стосовно граничних концентрацій, як для діючого, так і нового устаткування, потребують необхідності розробки заходів щодо підвищення ефективності існуючого газопиловлівлюючого обладнання, які повинні відповідати сучасним санітарно-гігієнічним нормативам.

					ТП 71 89 04 ПЗ				Арк.
									22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Після проведення реконструкції всієї системи газоочисних установок та введення в експлуатацію даної системи газоочищення, концентрації пилю неорганічного з вмістом  $SiO_2$  20-70% та інших забруднюючих речовин в газах котлоагрегатів ТЕЦ відповідатиме вимогам «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких понад 50 МВт».

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 3 ОПИС ЗАГАЛЬНИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПОКРАЩЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТУ

Враховуючи стрімке зростання промисловості та, як наслідок, зростання кількості шкідливих викидів в атмосферу, необхідно приймати термінові заходи по очищенню димових газів, тим самим встановити нормальні санітарно-гігієнічні умови праці та життєдіяльності [4].

### 3.1 Установка сірко очистки

У сучасному світі представлений немалий діапазон мислимих концепцій по встановленню сіркоочистки димових газів. Більшість з них адаптовані до умов промислового об'єкта, існуючих умов на електростанціях або ж мають досвід експлуатації тільки в певних місцях розташування.

Майже всі промислові установки сіркоочистки ґрунтуються на кислотних властивостях діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ). Отже, він може бути видалений з димових газів за допомогою реакції нейтралізації з відповідними лужними реагентами (абсорбентами). Найбільш широко використовуваними лужними абсорбентами є вапняк (карбонат кальцію), негашене вапно (оксид кальцію) і гашене вапно (гідроксид кальцію). Іншими лужними матеріалами є карбонат натрію, карбонат магнію і аміак.

Використовуваний абсорбент вступає в реакцію з діоксидом сірки, утворюючи суміш сульфітних або сульфатних солей (кальцію, натрію, магнію або амонію, в залежності від використовуваного абсорбенту). Пропорції солей зумовлюються умовами процесу. Реакція між  $\text{SO}_2$  і лужним абсорбентом може мати місце або в основному обсязі розчину (процес мокрої сіркоочистки), або на змоченою поверхні твердого абсорбенту (процеси сухий і напівсухий сіркоочистки).

На теперішній час установки сіркоочистки регенеративного типу не є переважними, внаслідок більш високих експлуатаційних витрат, пов'язаних з більш високою вартістю завантажувальних матеріалів і більш високим енергоспоживанням, в порівнянні з системами сіркоочистки нерегенеративного типу. У деяких випадках, наприклад, якщо електростанція розташована в центрі міста або поблизу центру, транспортування значної кількості матеріалів (наприклад, вапняку, гіпсу) може створювати незручності внаслідок високого шуму і завантаженого транспортного руху. Таким чином, регенеративний технологічний процес може бути більш прийнятним внаслідок значно меншого завантаження транспортного руху. Стандартною технічною умовою для системи сіркоочистки регенеративного типу є наявність скрубера (газоочисника) попередньої очистки з метою мінімізації впливу захоплених домішок на якість продукту і технологічний процес сіркоочистки.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стандартним способом поділу між різними системами сіркоочистки є поділ згідно підготовки абсорбенту (суха або мокра форми) або створюваних побічних продуктів, зокрема по потоку відпрацьованої води.

У системах сіркоочистки мокрого типу абсорбент (зазвичай розчин або суспензія) і димові гази вступають в контакт в скрубєрі баштового типу. Діоксид сірки в димових газах розчиняється в розчині і вступає в реакцію з абсорбентом, утворюючи сульфідні або сульфатні солі. Залежно від відносної розчинності, отримані солі випадають в осад і витягуються з процесу.

У системах сухої або напівсухої сіркоочистки контакт між абсорбентом і димовими газами створюється або за допомогою впорскування, або за допомогою розпилення луку в потік газу, або за допомогою проходження димового газу через шар абсорбенту. SO<sub>2</sub> вступає в реакцію безпосередньо з твердими частинками відповідних солей. Абсорбент повинен бути пористим, рівномірно розподіленим і повинен мати тонку фракцію, щоб бути ефективним. У системах напівсухого типу додають воду, щоб сформувати рідку плівку на частинках з метою сприяння реакції. Таким чином, системи сіркоочистки сухого типу для свого функціонування потребують тільки в невеликій кількості води і не утворюють будь-якого потоку відпрацьованої (стічної) води. Системи сіркоочищення мокрого типу вимагають великих обсягів живильної води в порівнянні з системами сухого/напівсухого типів і, як правило, утворюють потоки стічної відпрацьованої води, які вимагають виконання відповідних заходів щодо поводження з ними.

Внаслідок більшого обсягу необхідного допоміжного устаткування для систем сіркоочищення мокрого типу слід очікувати більш високих капітальних витрат, ніж для систем сухого типу. Крім того, системи сіркоочистки мокрого типу відрізняються більш високим споживанням електричної енергії. Але на відміну від установок мокрого типу, системи сіркоочистки сухого типу мають значно вищу вартість експлуатації, внаслідок більш високих коефіцієнтів співвідношення абсорбенту до сірки (для установок сіркоочищення мокрого типу - від 1,0 до 1,2 і для установок сіркоочищення сухого типу - від 1,2 до 4), і / або більш високу вартість на тоннаж.

З практичних міркувань, системи сіркоочистки мокрого типу є доцільними для електростанцій, термін експлуатації яких становить понад 10 ÷ 15 років. Для електростанцій, які мають більш короткий життєвий цикл, економічними перевагами володіють системи сіркоочистки сухого типу.

### **3.1.1 Сіркоочистка мокрого типу**

Мокрі абсорбційні засоби очищення димових газів від сірчистого ангідриду, що використовують в якості сорбенту недорогий і недефіцитних матеріал (вапно, вапняк) набули найбільшого поширення в світі, незважаючи на небезпеку утворення в апаратах

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важковидалаємих відкладень. З усієї кількості діючих на сьогодні в світі сірковловлюючих установок близько 90% становлять установки, що використовують цей метод. Освоєння даного методу сіркоочистки в США, Японії, Німеччини ведеться ще з початку 1970-х років і завдяки накопиченому великому досвіду експлуатації він безперервно вдосконалюється.

В основі методу мокрою абсорбційної очистки димових газів лежить нейтралізація сірчистої кислоти, що утворюється в результаті поглинання діоксиду сірки водою, гідратом окису кальцію -  $Ca(OH)_2$  (вапном), або карбонатом кальцію -  $CaCO_3$  (вапняком) [4].

При всьому різноманітті конструктивних, апаратних, схемних рішень діючих на сьогодні і проєктованих сіркоочисних установок по мокрому вапняковому способу, в кожній з них можна виділити наступні функціональні блоки:

- підготовка, зберігання, дозування суспензії вапняку або вапняного молока;
- абсорбція сірчистого ангідриду і окислення сульфіту кальцію в сульфат (гіпс);
- отримання, зневоднення і обробка гіпсу;
- очищення стічних вод.

Отриманий в результаті очищення кінцевий продукт - двухводний гіпс ( $CaSO_4 \times 1/2H_2O$ ) відділяється від води і потім може бути використаний по одній з наступних схем:

- відвантаження необробленого двухводного гіпсу з  $10 \div 15\%$  вологості безпосередньо споживачеві;
- складування і зберігання;
- висушування при температурі близько  $100^\circ C$ , гранулювання і відвантаження споживачеві;
- випал при температурі  $170 \div 190^\circ C$  для отримання високоякісного полуводного гіпсу ( $CaSO_4 \times 1/2H_2O$ ), використовуваного для будівельних цілей в якості гіпсового в'язучого матеріалу.

Перевагою методу є:

- застосування в якості реагенту недорогих і недефіцитних природних матеріалів;
- відносна простота технології при високому ступені очищення газів від  $SO_2$ , що досягає в сучасних установках -  $90 \div 98\%$ , особливо при використанні палив з високим вмісті сірки (понад  $2,0\%$ );
- отримання кінцевого продукту, придатного для подальшого використання;
- порівняно невисокі експлуатаційні витрати.

Недоліки методу:

- вхід установки в нормальний технологічний режим - 72 години;

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- охолодження димових газів в процесі очищення до температури насичення, що вимагає їх повторного підігріву в спеціальному підігрівачі, що ускладнює технологічну схему;
- велика витрата живильної води;
- наявність більшої кількості стічних вод, які потребують очищення на окремих очисних спорудах перед скиданням в навколишнє середовище;
- великі габаритні розміри установки, що вимагають великих площ для їх розміщення.
- великі капітальні витрати.

Дана технологія могла б бути рекомендована для впровадження її на ТЕЦ, якби експлуатація котлоагрегатів ст. №5 ÷ 9 становила не менше 20 років, при гарантованому сірковмісту твердого палива від 2,5% і більше.

### 3.1.2 Сірководочистка сухого/напівсухого типу

Для зниження вмісту діоксиду сірки за допомогою технологій сірководочистки димових газів сухого типу були розроблені різні системи і варіанти. Більшість цих систем знаходяться в експлуатації на муніципальних електростанціях або використовуються в промислових технологічних процесах з невеликою електричною потужністю. Таким чином, навантаження по діоксиду сірки та загальні обсяги димових газів обмежені. Крім того, основною метою цих систем є скорочення викидів забруднюючих речовин, таких як хлористий водень, фтористий водень або важкі метали (ртуть) на одному технологічному етапі.

Застосування установок сірководочистки сухого типу на електростанціях великої потужності, як правило, не є доцільним, беручи до уваги високу потребу у вихідних матеріалах, одержуваний вихід відходів і загальні низькі характеристики, в порівнянні з системами сірководочистки мокрого типу. Основне застосування систем сірководочистки сухого типу в середньому обмежена енергоустановками потужністю 250 ÷ 300 МВт (ел.). Більші електростанції зазвичай потребують використання декількох модулів для обробки всього потоку димових газів.

Проте, новітні спроби, пов'язані з проектами модернізації установок сірководочистки, зокрема в Китаї та США, засновані на використанні доопрацьованих концепцій сухої сірководочистки, на основі технологічного процесу циркулюючого киплячого шару (ЦКШ або *CFB*) скрубера сухого типу і вапняної розпилювальної сушки (*LSD*)/сухої розпилювальної абсорбції (*SDA*). На відміну від систем сірководочистки мокрого типу, дані технології відрізняються меншим енергоспоживанням і меншими габаритами. Тому, системи сірководочистки сухого типу особливо пристосовані для проектів модернізації існуючих (зношених) установок.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Скрубери сухого розпилювального очищення для промислового застосування забезпечують коефіцієнт видалення діоксиду сірки понад 90%, при цьому деякі постачальники заявляють коефіцієнт видалення  $SO_2 \geq 97\%$ , як цілком досяжний. Скрубери сухого розпилювального очищення вимагають застосування ефективного пристрою контролю твердих частинок, такого як електрофільтр або тканинний фільтр, щоб забезпечити досягнення високих коефіцієнтів уловлювання. Установа для рециркуляції сухого залишку удосконалює процес використання сорбенту.

В основному, виділяють наступні концепції:

- Системи вприскування сорбенту (SIS);
- Технологічні процеси сухий (напівсухий) розпилювальної абсорбції (SDA);
- Технологічні процеси циркулюючого киплячого шару (ЦКШ).

Загальні переваги та недоліки сучасних сухих/напівсухих систем сіркоочищення в порівнянні з установками сіркоочистки мокрого типу полягають в наступному.

Переваги сухої сіркоочистки перед мокрою:

- Система сіркоочистки сухого типу використовує меншу кількість устаткування, ніж система сіркоочистки мокрого типу, що в результаті призводить до меншого впливу на вимоги щодо експлуатації та обслуговування;
- Для енергоблоків менше 300 МВт, капітальні витрати зазвичай нижче, ніж для систем сіркоочищення мокрого типу;
- Загальна споживана потужність менше, ніж для систем сіркоочищення мокрого типу, приймаючи до уваги меншу кількість устаткування (робота насосів, вимоги до підготовки);
- Резервуар абсорбера може бути виготовлений з необлицьованої вуглецевої сталі, на відміну від конструкції з облицьованої вуглецевої сталі або твердих сплавів для сіркоочистки мокрого типу, якщо технологічний процес функціонує при значенні вище точки роси;
- Відходи утворюються в сухій формі і можуть оброблятися із застосуванням традиційного пневматичного устаткування для видалення леткої золи;
- Сухий побічний продукт є стійким і може утилізуватися окремо від леткої золи на золовідвалі;
- Перепад тиску в реакторі зазвичай нижче, ніж для сіркоочистки мокрого типу.

Недоліки сухої сіркоочистки перед мокрою:

- Технологічний процес сухої сіркоочистки використовує дорожчий реагент (вапно, гашене вапно), ніж системи сіркоочистки мокрого типу на основі вапняку;

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Коефіцієнт використання реагенту є нижчим, ніж для вапнякових систем мокрого типу, щоб досягти аналогічних коефіцієнтів видалення діоксиду сірки;
- Системи сіркоочищення сухого типу виробляють більший обсяг відходів, які мають тільки обмежене застосування через їх властивості, наприклад, водопроникність, розчинні продукти, та ін;
- Якщо блок спроектований на видалення сухого побічного продукту сіркоочистки і леткої золи, то це виключає можливість продажу леткої золи. В іншому випадку, установка сухого сіркоочищення може бути встановлена після існуючих електрофільтрів (ЕФ) / тканинних фільтрів (ТФ). Така компоновка дозволить реалізацію леткої золи, але збільшить капітальні витрати, внаслідок необхідності у використанні додаткових ЕФ або ТФ.

### 3.2 Установка азотоочистки

#### 3.2.1 Утворення оксидів азоту ( $NO_x$ )

Спалювання викопного палива пов'язано з утворенням оксидів азоту. Оксиди азоту завдають шкоди здоров'ю людини і природі. Оксиди азоту, які утворюються в процесі спалювання, в основному складаються з 95%  $NO$  і 5%  $NO_2$ . Оксиди азоту утворюються внаслідок окислення азоту, що міститься в паливі, а також внаслідок реакцій між азотом і киснем, що містяться в повітрі для горіння. Крім того, радикали палива вступають в реакцію з молекулярним азотом. Таким чином, різні механізми утворення розглядаються як:

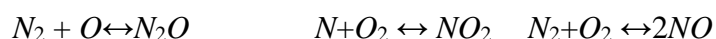
- Утворення паливних оксидів азоту;
- Утворення теплових оксидів азоту;
- Утворення миттєвих оксидів азоту.

##### 3.2.1.1 Паливні оксиди азоту ( $NO$ )

Утворення паливних оксидів азоту ( $NO$ ) має місце в зоні окислення фронту полум'я, де також відбувається вивільнення паливного азоту. Ці процеси відбуваються при температурі близько 800 °С. Частина утвореного оксиду азоту ( $NO$ ) може бути знову відновлена в наступній зоні. Цей факт використовується, зокрема, при ступінчастій подачі повітря (первинні заходи).

##### 3.2.1.2 Теплові оксиди азоту ( $NO$ )

Утворення теплових оксидів азоту відбувається при місцевому надлишку повітря, що утворюється внаслідок реакції радикалів атомарного кисню з молекулярним азотом. При надлишку палива радикали ОН (кисню-водню) вступають в реакцію з атмосферним азотом. Таким чином, мають місце такі реакції:



					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Баланс зміщується, зокрема, при температурах понад 1200°C експоненціально (в геометричній прогресії) в бік утворення  $NO$ .

### 3.2.1.3 Миттєві оксиди азоту ( $NO$ )

Утворення миттєвих оксидів азоту ( $NO$ ) також залежить від радикалів палива, які вступають в реакцію з молекулярним азотом, утворюючи  $NO$ . Частка оксидів азоту, що утворилися таким чином, становить лише 5% від загальної кількості  $NO$ . Таким чином, вона важлива, тільки якщо теплові оксиди азоту знижуються за допомогою первинних заходів.

Отже, в цілому утворення оксидів азоту залежить від температури полум'я, подачі кисню до пальників і в камеру згоряння, часу перебування реагентів в зоні полум'я і параметрів палива.

### 3.2.2 Загальний огляд методів щодо зниження $NO_x$

Заходи щодо зниження вмісту оксидів азоту  $NO_x$  можуть виконуватися ще на самій ранній стадії процесу освіти  $NO_x$  під час спалювання. Ці заходи називаються первинними заходами. Після здійснення цих заходів, подальше зниження рівня оксидів азоту може виконуватися тільки за допомогою заходів, що реалізуються після процесу спалювання. Ці заходи визначені як вторинні заходи. Вони включають концепції сухої та мокрої азотоочистки.

До теперішнього часу, мокра азотоочистка не отримала успішного комерційного поширення в промисловому застосуванні.

Концепції сухої азотоочистки включають різні типи селективного відновлення і процеси з використанням активованого вугілля, які непридатні для великих електростанцій. Основною сферою застосування процесів з використанням активованого вугілля є муніципальні сміттєспалювальні установки. Процеси селективного відновлення відрізняються по використанню каталізатора і діляться на селективне некаталітичне відновлення оксидів азоту ( $SNCR$ ) і селективне каталітичне відновлення ( $SCR$ ).

Первинні заходи.

До первинних заходів належать:

- Зниження загального надлишку повітря,
- Ступінчаста подача повітря в камеру згоряння,
- Рециркуляція газів,
- Зниження підігріву повітря,
- Ступеневу спалювання палива,
- Застосування пальників з низьким виходом  $NO_x$ .

Не всі первинні заходи можуть застосовуватися до всіх типів топок або котлів.

Неповне згоряння, нестійкість полум'я і граничні значення  $CO$  обмежують застосування

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

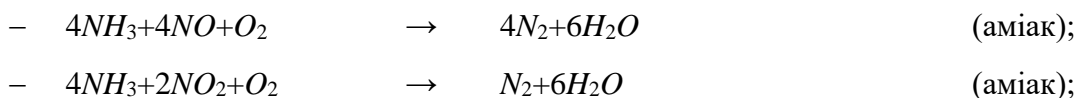
первинних заходів. Зокрема, для топок з рідким шлаковидаленням ще одним обмеженням є необхідна температура для забезпечення рідкого золовидалення.

Застосування первинних заходів повинно мати повну пріоритетність над вторинними заходами. Вторинні заходи повинні здійснюватися лише в разі виконання технічно і економічно доцільних первинних заходів.

### 3.2.2.1 Вторинні заходи. Селективне відновлення

Вторинні заходи, що застосовуються на електростанціях, включають головним чином селективне каталітичне відновлення (*SCR*) і селективне некаталітичні відновлення оксидів азоту (*SNCR*). Існуючі електростанції, що працюють на вугіллі, модернізуються системами *SCR* з кінця 80-х. Більшість нових електростанцій, що працюють на вугіллі, в даний час проектується і оснащуються технологіями *SCR*. Тим не менш, на даний час роль процесів азотоочистки на основі *SNCR* також зростає. Більш строгі вимоги до охорони навколишнього середовища ведуть до необхідності реалізації вторинних заходів по азотоочистки на газових електростанціях.

Процес відновлення оксидів азоту за допомогою селективного відновлення здійснюється з використанням відновлює агента. Цей процес має багато проміжних етапів. Наступні реакції роблять значний вплив на оборот матеріалів:



### 3.2.3 Селективне каталітичне відновлення (*SCR*)

При селективному каталітичному відновленні (*SCR*), оксиди азоту відновлюються за допомогою каталізаторів. Дане відновлення має місце при діапазоні температур між 300-400°C. При використанні низькотемпературних каталізаторів, реакція може початися вже з 180°C. Діапазон температур залежить від складу димових газів, обраних відновлювачів (аміак або аміачна вода) і типу каталізаторів. Додавання відновлюючого агента здійснюється за допомогою прямого вприскування в потік димових газів.

Каталітичне відновлення є найбільш поширеним процесом азотоочистки на великих електростанціях, і до недавнього часу у нього не було альтернативи. Основною причиною, по якій застосовуються системи *SCR*, є їх висока ефективність. Можливе досягнення коефіцієнтів відновлення понад 90%.

Системи *SCR* відрізняються за своїм розміщення в тракці димових газів. Компонування *SCR* перед повітропідігрівачем і після економайзера називається азотоочисткою (*DeNO<sub>x</sub>*) при високому вмісті пилу. Компонування після устаткування пиловловлювача називається азотоочисткою (*DeNO<sub>x</sub>*) при низькому вмісті пилу. Азотоочистки в конфігурації з низьким вмістом пилу, розміщена після установки сіркоочистки або перед димарем, також відома як кінцева азотоочистка.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.2.3.1 Азотоочистка (*DeNO<sub>x</sub>*) при високому вмісті пилу

На нових вугільних електростанціях, азотоочистки проектується і виконуються тільки в конфігурації при високому вмісті пилу. Великою перевагою цього компоновання є головним чином, сприятливе поле розподілу температур між економайзером і повітропідігрівачем, при якому не потрібно додатковий підігрів димових газів для процесу відновлення оксиду азоту. На рисунку 3.1 показана компоновка азотоочистки перед повітропідігрівачем.

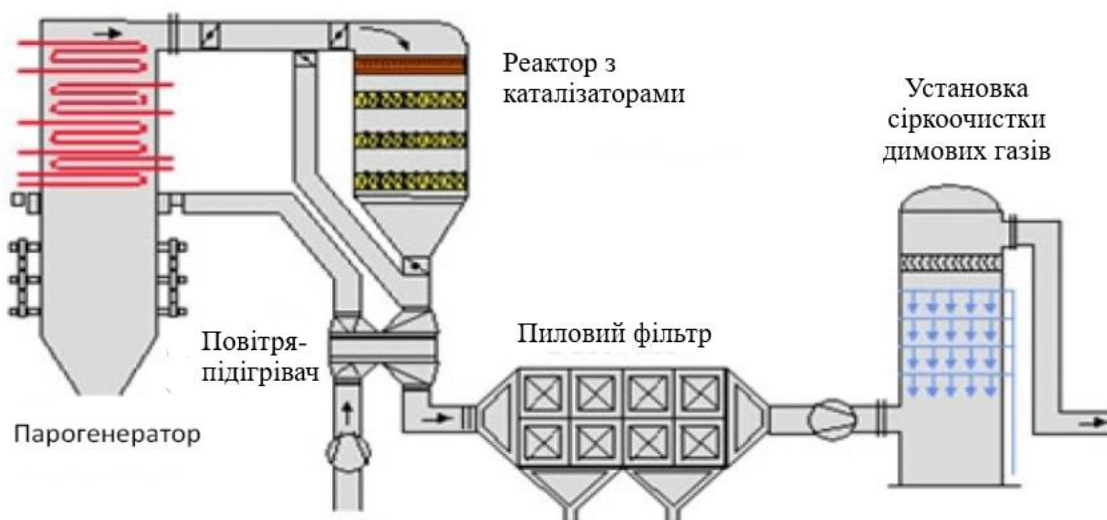


Рисунок 3.1 - Азотоочистки при високому вмісті пилу (*DeNO<sub>x</sub>*)

Основним недоліком цього компоновання є відносно короткий термін служби каталізаторів, який в основному знижується внаслідок високого вмісту пилу в димових газах. Іншою причиною зниженого терміну служби є присутність в цій частині тракту димового газу ще більш високих пропорцій газоподібних каталітичних отрут. Досвід експлуатації пиловугільних топків (із сухою системою видалення подової золи) показує, що термін служби каталізаторів в основному зумовлений кількістю пилу і її рівномірним розподілом в димових газах. Зазвичай термін служби складає близько 4÷5 років. Іншим недоліком, зокрема, при модернізації, є залежність від конструкційних умов, яка часто ускладнює можливості модернізації. При цьому якщо виконується модернізація, слід очікувати більш тривалих термінів простою, в порівнянні з іншими варіантами.

Внаслідок відсутності необхідності в компонентах для повторного нагріву димового газу, експлуатаційні витрати установки азотоочистки значно нижче для даного варіанту.

### 3.2.3.2 Азотоочистка (*DeNO<sub>x</sub>*) при низькому вмісті пилу

Якщо модернізація із застосуванням азотоочистки при високому вмісті пилу не можлива, азотоочистки може бути розміщена після устаткування пиловидалення (див. рисунок 3.2). Тільки для нових електростанцій і сміттєспалювальних установок, на яких

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

очікується невисока частка каталітичних отрут в димових газах, конфігурація з низьким вмістом пилу вибирається з самого початку. Низький ерозійний знос каталізаторів є основною перевагою цього компонування. Беручи до уваги невелику кількість пилових частинок в димових газах, вибираються каталізатори з меншим/вужчим кроком. Це дозволяє знизити загальний обсяг каталізаторів, а також дає можливість проектування реакторів меншого розміру.

Температура після пиловловлювача зазвичай становить близько 180°C. Це значно нижче необхідної температури для селективного каталітичного відновлення (*SCR*), а це означає, що потрібно повторне нагрівання димових газів. Цей повторний нагрів частково здійснюється за допомогою теплообмінника. Інша частина необхідного тепла повинна забезпечуватися за рахунок пара, мазуту або газу. Необхідні кошти для нагріву і збільшення витрат на техобслуговування, пов'язане з компонентами для нагріву димових газів, призводять в результаті до збільшення експлуатаційних витрат.

Компонування з низьким вмістом пилу має перевагу, яке полягає в можливості простий установи другого димосмока, який призначений для заповнення додаткових втрат тиску. При цьому існуюча система може зберігатися, включаючи існуючі димосмоки.

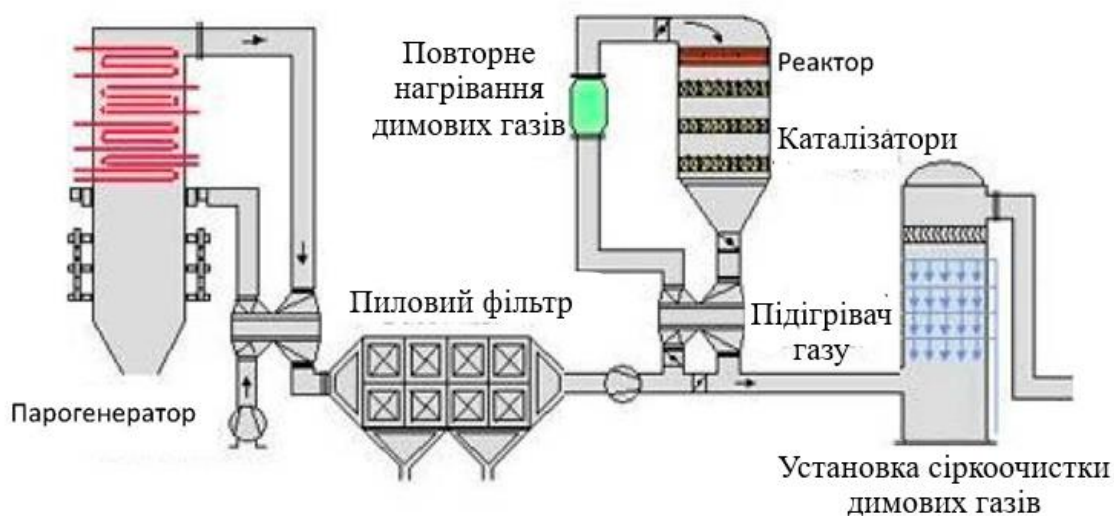


Рисунок 3.2 - Азотоочистка при низькому вмісті пилу (*DeNO<sub>x</sub>*).

### 3.2.3.3 Кінцева азотоочистка (*DeNO<sub>x</sub>*)

Азотоочистка при низькому вмісті пилу, яка розміщується після установки сіркоочистки димових газів (*FGD*) називається кінцевою азотоочисткою (див. рисунок 3.3). Ця конфігурація, в основному, має ті ж переваги і недоліки, що і азотоочистка при низькому вмісті пилу, що розміщується перед установкою сіркоочистки. Проте, повторне нагрівання має місце при більш низькому рівні температур. Вважається, що за допомогою застосування систем рекуперації (утилізації) тепла, димовий газ повинен підігріватися десь на 50 К більше, ніж для варіанту азотоочистки при низькому вмісті пилу перед установкою

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сіркоочистки. Проте, при використанні низькотемпературних каталізаторів, існують значні переваги, оскільки димовий газ підігрівається тільки до температурного діапазону близько 200°C. Попередньою умовою для використання низькотемпературних каталізаторів є, серед іншого, максимальний вміст пилу 5 мг/м<sup>3</sup> і дуже низький вміст SO<sub>3</sub> в димових газах. З метою видалення відкладень (при використанні низькотемпературних каталізаторів), повторне нагрівання повинне бути спроектоване таким чином, щоб димовий газ міг підігріватися до температури понад 320°C протягом короткочасного періоду.

Що стосується модернізації, цей варіант має перевагу, яка полягає в тому, що установка азотоочистки може бути майже повністю змонтована під час експлуатації енергоблоку (це також стосується конфігурації при низькому вмісті пилу, якщо ця установка зводиться одночасно або перед монтажем установки сіркоочистки).

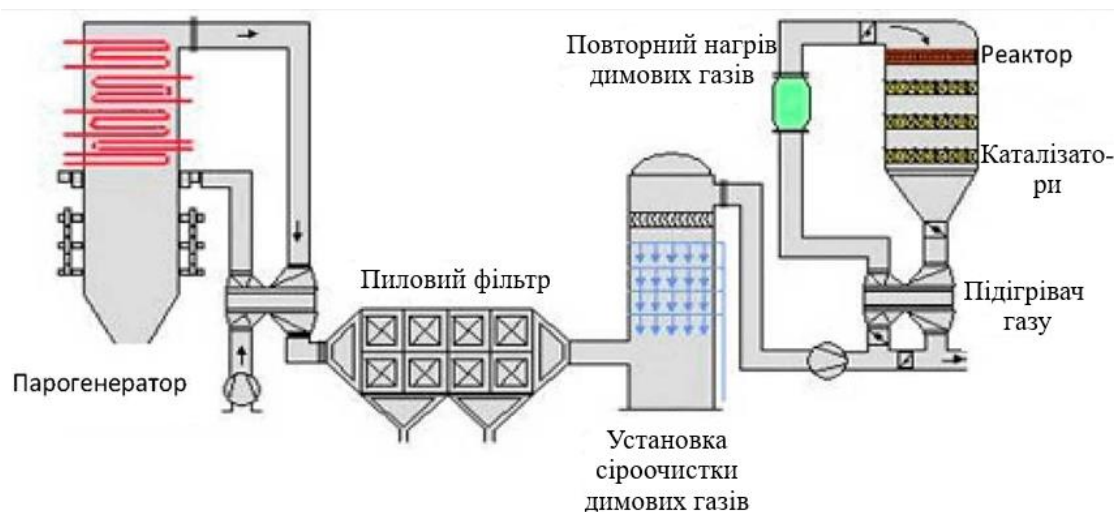


Рисунок 3.3 - Кінцева азотоочистки (DeNO<sub>x</sub>)

### 3.2.4 Селективне некаталітичні відновлення (SNCR)

До недавнього часу, азотоочистки на великих вугільних електростанціях виконувалася майже виключно із застосуванням технології селективного каталітичного відновлення (SCR). Системи неселективного каталітичного відновлення (SNCR) раніше використовувалися в основному на сміттєспалювальних станціях та інших невеликих електростанціях.

Максимальне зниження NO<sub>x</sub> близько 40% ÷ 50%

#### 3.2.4.1 Насоси і трубопроводи

Відновлювальний агент зазвичай прокачується насосами по трубопроводу замкнутого контуру від резервуара для зберігання через клапан скидання тиску назад прямо в резервуар. Від цього кільцевого трубопроводу відходить відгалужувальний трубопровід, що проходить через модуль змішування і дозування до сопел уприскування. Кількість

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відновлюючого агента регулюється за допомогою регулюючої арматури. Також можуть використовуватися насоси-дозатори або перекачувальні насоси. Беручи до уваги недоліки дозуючих насосів, в основному використовуються перекачувальні насоси. Таким чином, незалежно від кількості одночасно працюючих систем *SNCR*, потрібно тільки два насоси (включаючи один резервний насос). При використанні карбаміду можуть використовуватися недорогі глибинні насоси. Щоб запобігти кристалізації запірна арматура і трубопроводи повинні обігріватися.

#### 3.2.4.2 Модуль змішування і дозування

Модулі змішування і дозування здійснюють регулювання швидкості потоку (витрати) повітря, агента що відновлюється і води, а також припиняють, в разі несправності, подачу відновлювального агента. Модулі змішування забезпечують змішування відновлювального агента з водою і розподіл суміші і уприскуваного повітря через окремі колючі сопла. Залежно від умов на об'єкті, модулі можуть мати кондиціонування повітря. При використанні аміаку, необхідно забезпечення водою і спеціальними запобіжними пристроями (наприклад, детектори аміаку, конструкція арматури і трубопроводів на розрахунковий тиск  $P_N = 1,0$  МПа). Залежно від типу і розміру котла, може бути передбачено кілька модулів (наприклад, по одному модулю на кожну сторону котла або рівень вприскування).

#### 3.2.4.3 Система вприскування

Впорскування відновлювального агента здійснюється через вприскуючі розпилювачі (форсунки), які передбачені у вигляді стінових розпилювачів з одним або декількома соплами. Якщо неможливо використовувати для стін розпилювачі в діапазоні необхідних температур, тоді використовуються розпилювачі з водяним охолодженням, які проникають в необхідну зону потоку димових газів.

З огляду на більш високі ризики корозійного і ерозійного зносів, необхідно брати до уваги більш високі витрати на техобслуговування. У якості продувочного агента використовується стиснене повітря (близько 4 бар), беручи до уваги простоту його використання. Впорскування також може здійснюватися з парою. З огляду на можливі коливання температури димових газів внаслідок різних навантажень котла і / або якості палива, зазвичай передбачають кілька рівнів упорскування.

Ці рівні будуть використовуватися в роботі в залежності від температури димових газів.

На відміну від процесів *SCR*, одночасний оперативний вимір *NOx* в потоці димових газів неможливий. Визначення фактичного відновлення *NOx* можливо тільки за допомогою порівняння результатів з уприскуванням і без нього. Прогнозування необхідної кількості відновлювального агента здійснюється на основі даних про навантаження котла, з

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

урахуванням затримки між уприскуванням в котел, вимірювань  $NO_x$  і регулюючої арматури на розпилювачі. В цьому випадку, враховується також вогнева потужність будь-якого спалювання і додаткового спалювання (рівні з більш низьким вмістом  $NO_x$ ). Залежно від фактичного виміряного значення  $NO_x$  в очищеному газі, значення попередньої уставки буде постійно змінюватися. Корекція оперативних вимірювань проскока аміаку також можлива.

Вибір використовуваних рівнів уприскування здійснюється за допомогою систем вимірювання температури.

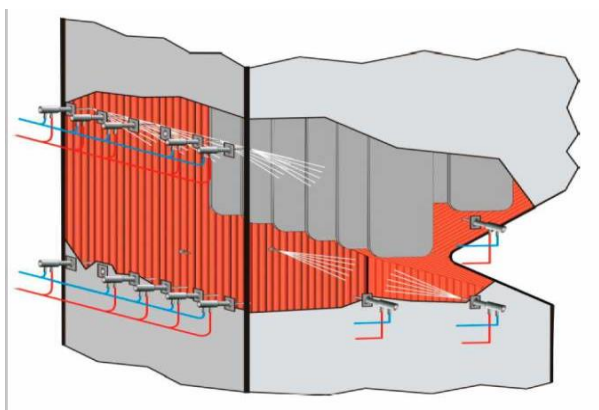


Рисунок 3.4 - Система SNCR з декількома рівнями

З метою ефективного використання відновлювального агента, мінімізації проскока аміаку і його наслідків в сучасних системах SNCR використовуються акустичні системи вимірювання температури. При інтеграції в систему можна забезпечити, щоб у всіх можливих випадках роботи відновлювальний агент впорскується при верхньому діапазоні температурного вікна, навіть за умови виникнення різниці температур в межах рівня уприскування.

Акустична система вимірювання температури складається з блоків передавача і приймача (зазвичай інтегрованих в один блок), які встановлюються на стінках топкового відділення. Акустичні сигнали, які генеруються передавачем, одночасно реєструються на передавачі і приймачі. За допомогою цих значень визначається акустичний час температури (температури тракту). За допомогою комбінації декількох блоків передавачів і приймачів, може бути визначений профіль температур (температурна крива) для цього рівня. Точність залежить від кількості встановлених блоків. Розрахований профіль температур поділяється на секції, між якими розподілені конкретні колючі розпилювачі, які в свою чергу готові для вприскування відновлювального агента в межах відповідних температурних рівнів. На рисунку 3.5 приведена технологія SNCR оптимізована за допомогою акустичної системи вимірювання температури газу.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

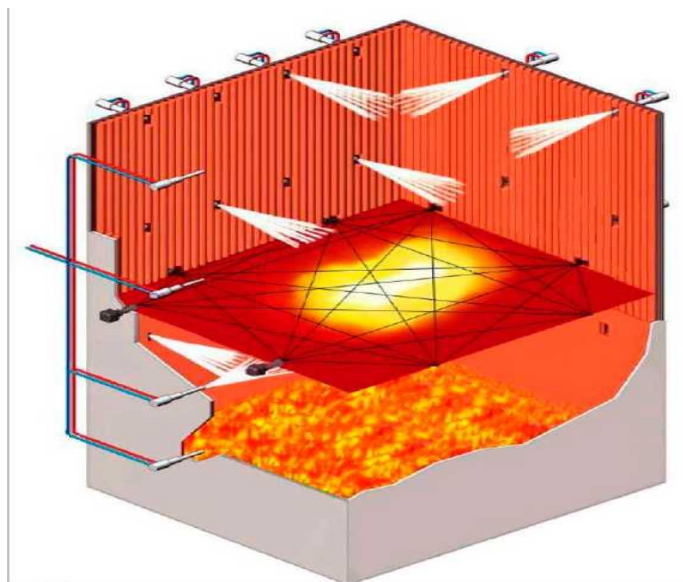


Рисунок 3.5 - Технологія SNCR оптимізована за допомогою акустичної системи вимірювання температури газу

### 3.3 Висновки до розділу 3

Промислові установки сіркоочистки ґрунтуються на кислотних властивостях діоксиду сірки ( $SO_2$ ). Отже, він може бути видалений з димових газів за допомогою реакції нейтралізації з відповідними лужними реагентами (абсорбентами). Найбільш широко використовуваними лужними абсорбентами є вапняк (карбонат кальцію), негашене вапно (оксид кальцію) і гашене вапно (гідроксид кальцію). Іншими лужними матеріалами є карбонат натрію, карбонат магнію і аміак.

На основі проведеного аналізу, системи сіркоочистки сухого типу, на відміну від мокрого типу, більш пристосовані для проектів модернізації існуючих (зношених) установок. Вдосконалений технологічний процес циркулюючого киплячого шару (ЦКШ або *CFB*) скрубера сухого типу і вапняної розпилювальної сушки (*LSD*)/сухої розпилювальної абсорбції (*SDA*). відрізняються меншим енергоспоживанням і меншими габаритами.

Оксиди азоту утворюються внаслідок окислення азоту, що міститься в паливі, а також внаслідок реакцій між азотом і киснем, що містяться в повітрі для горіння.

Заходи щодо зниження вмісту оксидів азоту  $NO_x$  можуть виконуватися ще на самій ранній стадії процесу освіти  $NO_x$  під час спалювання. Ці заходи називаються первинними заходами. Після здійснення цих заходів, подальше зниження рівня оксидів азоту може виконуватися тільки за допомогою заходів, що реалізуються після процесу спалювання. Ці заходи визначені як вторинні заходи. Вони включають концепції сухої та мокрої азотоочистки.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До теперішнього часу, мокра азотоочистка не отримала успішного комерційного поширення в промисловому застосуванні.

Концепції сухої азотоочистки включають різні типи селективного відновлення і процеси з використанням активованого вугілля, які непридатні для великих електростанцій. Основною сферою застосування процесів з використанням активованого вугілля є муніципальні сміттєспалювальні установки. Процеси селективного відновлення відрізняються по використанню каталізатора і діляться на селективне некаталітичне відновлення оксидів азоту (*SNCR*) і селективне каталітичне відновлення (*SCR*).

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4 ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГООБ'ЄКТУ

При спалюванні твердого палива із топки котла разом з димовими газами виносяться частинки золи і незгорівшого палива, що називається уносом. Для очищення димових газів від золи та шкідливих продуктів згоряння використовують електрофільтри[5].

Електрофільтри – універсальні апарати для очищення промислових викидів від твердих та рідких часток. Перевагами електрофільтрів є: високий ступінь очищення димових газів, який доходить до 99,9%, низькі енергетичні затрати на вловлювання часток, можливість вловлювання часток розміром 100-0,1 мкм [6].

### 4.1 Опис та принцип дії технологічного обладнання електрофільтра

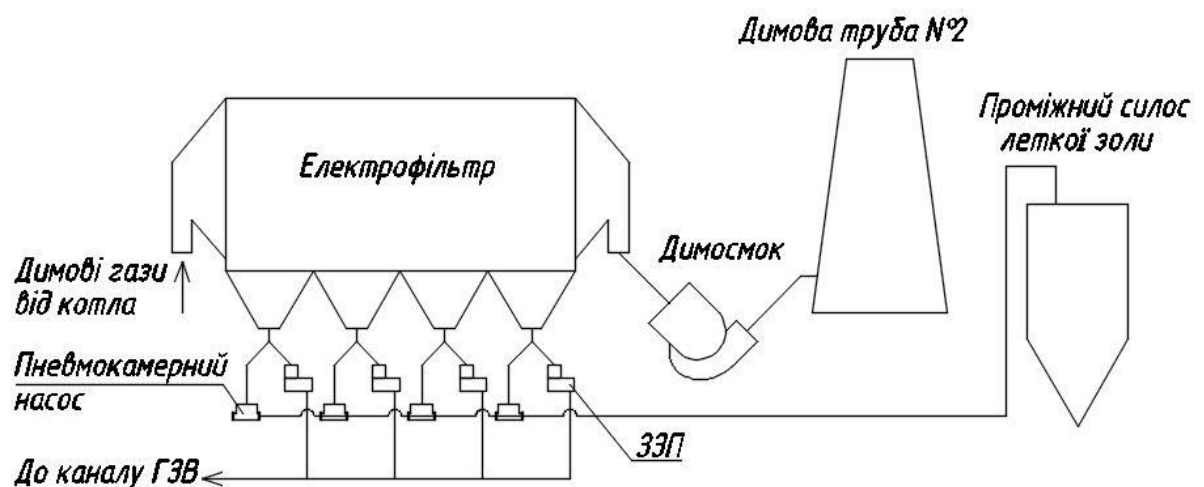


Рисунок 4.1 - Схема золовловлювання котлоагрегату №6

Сутність процесу електричної фільтрації полягає в тому, що газ, який містить взважені частинки, проходить скрізь систему, яка складається з заземлених осаджуваних електродів та розташованих на відстані коронуючих електродів, до яких підводиться електричний струм високої напруги. При достатньо великій напрузі, яка прикладена до міжелектродного проміжку, у поверхні коронуючого електроду відбувається інтенсивна ударна іонізація газу, яка супроводжується виникненням коронного розряду (короною), який на весь міжелектродний проміжок не розповсюджується і затухає по мірі зменшення напруженості електричного поля у напрямку осаджувального електроду. [6]

Газові іони різноманітної полярності, які утворюються в зоні корони, під дією сил електричного поля, рухаються до різнойменних електродів, внаслідок чого в міжелектродном проміжку виникає електричний струм, який називається струмом корони. Вловлювані частки, через адсорбцію на їх поверхні іонів, набувають в міжелектродном проміжку електричний заряд та під дією сил електричного поля рухаються до електродів, осаджуючись на них. Основна кількість часток осаджується на поверхні осаджуваних

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



електродів, менша – потрапляє на коронуючі електроди. По мірі накопичення на електродах, осаджувані частки видаляються системою струшування. [6]

Димові гази після котла поступають до електростатичного фільтра, де відбувається вловлювання пилу до гранично допустимої концентрації. Вловлений пил проходить скрізь перекидний клапан після бункерів фільтра та за допомогою золотозливних пристроїв направляється до каналу гідрозоловидалення, а потім на багерну станцію. Данна схем не є основною, а використовуватиметься виключно задля забезпечення працездатності котла при поломці основної системи золовидалення – пневматичної, в якій стиснене повітря попередньо підготовлене та пропущене скрізь фільтри і ступені інерційної та тонкої очистки. До пневматичної системи золовидалення вловлений пил потрапляє також проходячи скрізь перекидний клапан. Далі сухий пил транспортується стисненим повітрям до проміжного силосу леткої золи. (комплекти креслень ТХ2, ТХ3)

Розглядається електрофільтр типу ЕГУВВ1-40 / 3 \* 35-12,5-4-4-350 / 3 \* 400 (при використанні іншого фільтра він повинен мати аналогічні параметри та показники ефективності).

Дані електрофільтри використовують всі відомі принципи інтенсифікації процесу електрогазочистки:

- Рівномірний газорозподіл (коефіцієнт нерівномірності 1.15-1.2) з газорозподільними ґратами на вході і виході апарату, газовідображальними листами в бункерах і корпусі.
- Висока інтенсивність струшування, при цьому струшування осаджувальних електродів повинно здійснюватися обов'язково знизу.
- Управління напругою при струшуванні для зняття залишкового заряду.
- Регульоване і періодичне струшування осаджувальних і коронуючих електродів.
- Рівномірний розподіл щільності струму по поверхні осаджувальних електродів.
- Жорстка геометрія системи електродів з самоцентруванням коронуючих електродів.
- Мікропроцесорне управління системою живлення з реалізацією імпульсного мілісекундного живлення.
- Інтегроване управління всіма системами електрофільтру з сигналізацією виникнення нештатних ситуацій на блочному щиті управління.
- Якість виготовлення забезпечує незмінність параметрів роботи електрофільтру в процесі експлуатації

Основні елементи електрофільтру:

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Корпус і зольні бункери;
- Система коронуючих електродів;
- Система струшування коронуючих електродів;
- Система осаджувальних електродів;
- Система струшування осаджувальних електродів;
- Пристрої газорозподілу.

#### 4.1.1 Корпус електрофільтра

Корпус електрофільтра виготовляється як суцільнозварна конструкція, яка використовує попередньо підігнані листові панелі. Таким чином, забезпечується їх дуже щільне прилягання один до одного і дотримання стандарту якості. Корпус проектується з урахуванням надлишкових тисків, сейсмічності, вітрових, змінних пилових навантажень. Секції пластин і панелі зварюються разом, утворюючи газощільних конструкцію. [6]

Дах корпусу електрофільтра служить опорою системи коронуючих і осаджувальних електродів. Навантаження передаються через стійки корпусу на опорні конструкції. Інша частина внутрішнього механічного устаткування (приводу, перегородки і т.п.) підтримуються прикріпленими до корпусу кронштейнами. Корпус обладнаний інспекційними люками.

Для компенсації температурних розширень корпус спочиває на ковзних опорах, що розходяться радіально від однієї нерухомої точки опорної конструкції.

Зовнішні пристрої, такі як агрегати живлення, механізми приводів струшування, інспекційні люки, що не приварюються до корпусу, обладнані спеціальними заземлюючими пристроями.

Вхідна і вихідна частини ЕФ (конфузор і дифузор) Служать для підведення продуктів згоряння в простір активних частин ЕФ і на виході до їх відведення. Забезпечують рівномірне поширення протікають продуктів згоряння і пилу по всьому активному перетину ЕФ. Вхідні і вихідні частини закінчуються фланцями.

Конструкція корпусу електрофільтра, дифузорів і конфузорів розрахована для тиску + 3,5 / - 4 кПа

#### 4.1.2 Пристрій газорозподілу

Особливо важливо, що електрофільтр обладнаний пристроями, які забезпечують рівномірний газорозподіл по всій площі поперечного перерізу. Такий газорозподіл не може бути досягнутий тільки формою і розташуванням газоходів, і перед самим електрофільтром розміщуються спеціальні газорозподільні решітки.

Швидкість газів в електрофільтрі становить приблизно 1/20 від швидкості в підвідних і відвідних газоходах. Для того, щоб не допустити формування зони з підвищеною

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкістю усередині електрофільтру, газорозподільні решітки розміщуються в два ряди на вході в дифузори і в один ряд на виході з апарату перед конфузори.

Перед пуском електрофільтру в експлуатацію проводиться перевірка газорозподілу. Під час такої перевірки, при необхідності, здійснюється корекція газорозподілу шляхом встановлення додаткових горизонтальних пластин, відглушаючих необхідні зони газорозподільних решіток.

Коефіцієнт нерівномірності поля швидкостей по активному перетину один з найкращих для промислових зразків -  $1,15 \div 1,2$ .

#### 4.1.3 Осаджувальні електроди

Осаджувальні електроди являють собою вертикально встановлені пластини. Вони поділяють простір всередині корпусу фільтра на високі і вузькі проходи для димових газів (газові канали), по центру яких розташовані коронуючі електроди [5].

Для того, щоб підтримувати ефективність вловлювання на проектному рівні, вкрай важлива незмінність геометричних розмірів осаджувальних електродів в процесі експлуатації і забезпечення їх струшування по всій площі.

Елементи осаджувальних електродів шириною 480 мм конструкції виготовляються із сталевих листів товщиною 1,3 мм на прокатному стані. Забезпечення жорсткості є головною метою особливої конструкції країв елементів. Поєднання ширини і товщини елементів осаджувальних електродів забезпечує виконання гарантійних зобов'язань за строками служби при виконанні вимог по очищенню електродів при струшуванні без перенавантаження елементів системи струшування.

Сполучаються послідовно осаджувальні елементи утворюють площину, формуючи поле електрофільтру. Ці окремі елементи надійно закріплені на загальних верхньої і нижніх балках. Закріплення до верхньої балки - шарнірне, що забезпечує вільне звисання і полегшує очистку верхньої частини елемента.

Нижня частина кожного елемента при юстировці електродів у полі жорстко затискається в балці струшування для гарантованої передачі ударного імпульсу від системи струшування.

Крок встановлення осаджувальних електродів першого поля прийнятий 350 мм, для наступних полів - 400 мм з розрахунку забезпечення максимальної ефективності очищення газів.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

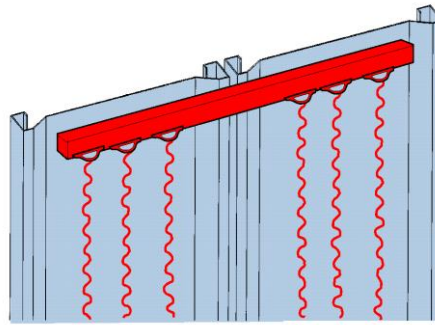


Рисунок 4.2 - Осаджувальні електроди

#### 4.1.4 Система струшування осаджувальних електродів

Конструкція механізмів струшування осаджувальних електродів є важливим елементом механічного устаткування електрофільтра. При цьому забезпечується повна очистка осаджувальних електродів в процесі струшування. Визначальним фактором ефективності струшування є величина прискорення на елементах осаджувальних електродів. При цьому система струшування сконструйована так, щоб забезпечити необхідне прискорення по всіх елементах.

Кожен елемент жорстко закріплений до відповідної балки струшування.

Таке з'єднання забезпечує максимальну передачу енергії удару, коли молоток вдаряє по відповідній балці струшування.

Система використовує падаючі молотки, які змонтовані на горизонтальному валу віялоподібно, по одному молотку на балку струшування. Вал повільно обертається, кожен з молотків досягає верхнього положення і падає, вдаряючи відповідну балку струшування. Балка струшування передає удар одночасно всім осаджуючим елементам в своєму ряді, оскільки вони всі жорстко з'єднані з балкою струшування. Таким чином, струшуюче прискорення розподіляється по всьому ряді осаджувальних елементів.

Головною проблемою при струшуванні є необхідність зниження вторинного пиловиносу. Це досягається за рахунок агломерації часток золи на поверхні осаджувальних електродів. Механізми струшування створюють необхідне прискорення, при якому осаждена зола відділяється від електродів і падає вниз великими агломератами. Ці агломерати, утворені при кожному окремому ударі, суттєво зменшують можливість вторинного виносу при струшуванні.

Для мінімізації вторинного виносу при струшуванні частота ударів повинна бути мінімально можливою. Режим струшування механізмів може змінюватися в широкому діапазоні при налаштуванні системи керування кожного поля.

Всі частини механізмів струшування доступні для огляду і розташовуються в проходах між полями.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність вловлювання залежить від загальної площі осадження, яка струшується за один удар. Чим більша така площа, тим інтенсивніший вторинний виніс пилу з потоком газів.

Система струшування забезпечує малу площу струшування за один удар. Це підвищує загальну ефективність вловлення і запобігає залповим викидам з електрофільтра.

Завдяки функціональним можливостям та експлуатаційної надійності такої системи струшування вона є традиційною для електрофільтрів.

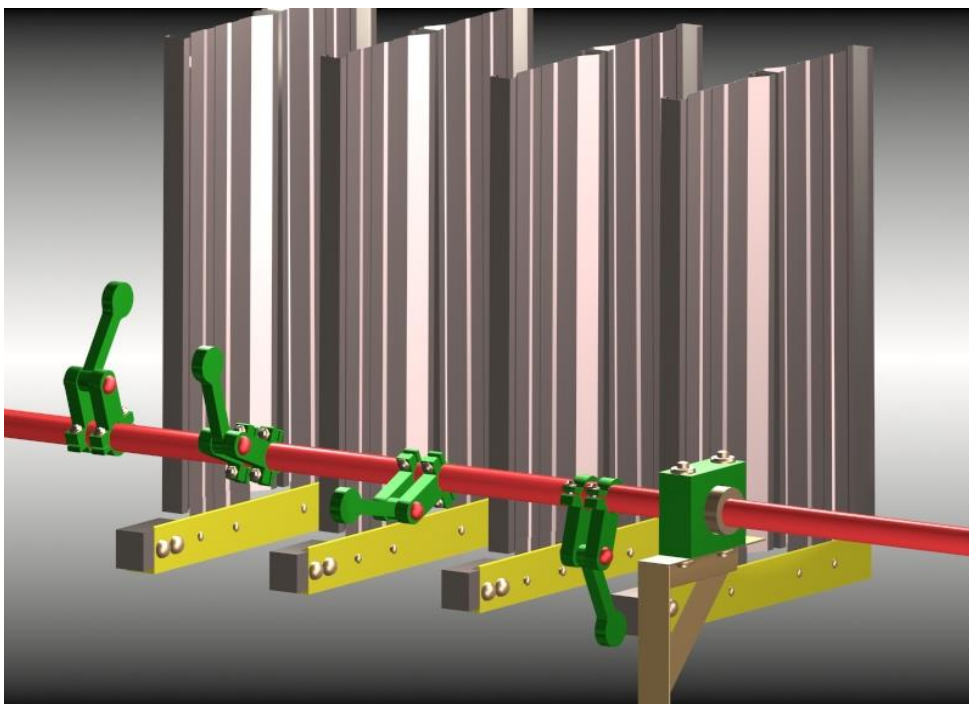


Рисунок 4.3 - Система струшування осаджувальних електродів

#### 4.1.4 Високовольтна система

Важливим елементом електрофільтра є система коронуючих електродів. В електрофільтрі пропонованої конструкції кожна окрема система напівполя підвішується на чотирьох опорних ізоляторах.

Коронуючі електроди підвішені всередині міжелектродного простору і достатньо віддалені від країв або виступаючих частин осаджувальних електродів. Вся система коронуючих електродів повністю закріплена і утворює жорстку боксову структуру. Система коронуючих електродів збирається і налагоджується по місцю всередині корпусу, що дозволяє слідкувати і з високою точністю підтримувати міжелектродну відстань в процесі монтажу. При цьому відпадає необхідність в бокових стабілізуючих елементах або направляючих.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.1.5 Система коронуючих електродів

Вибір коронуючих електродів спірального типу визначається високим питомим опором леткої золи, що є наслідком несприятливого впливу двох основних факторів: хімічного складу золи і низького вмісту водяних парів в димових газах. Високий питомий опір золи викликає необхідність передбачення відповідних конструктивних і технологічних заходів по запобіганню режиму «зворотної» корони. Основним конструктивним заходом запобігання цьому явищу є підбір пари «осаджувальний–коронуючий електрод», що забезпечує максимальне напруження полів електрофільтра при граничних струмах початку режиму «зворотної» корони. Дана умова виконується при застосуванні коронуючих електродів спірального типу [5].

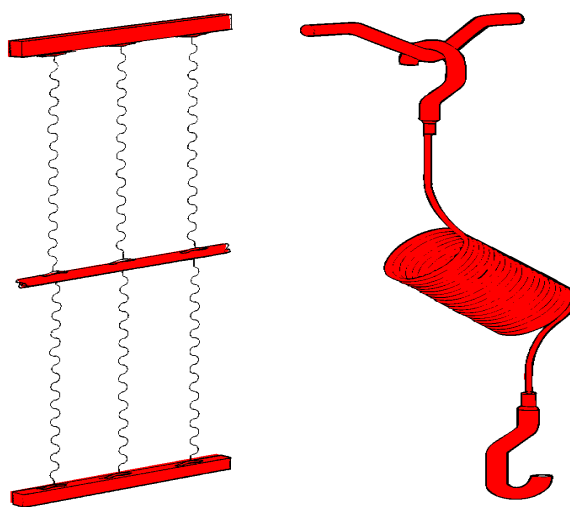


Рисунок 4.4 - Система коронуючих електродів

Коронуючі електроди спірального типу виготовляються з сталевого нержавіючого дроту діаметром 2,7 мм. Кожен електрод в проектному положенні має довжину приблизно 5 м; в одній вертикальній секції збираються по 3 електроди.

Кожне електричне напівполе підтримується чотирма ізоляторами, розташованими в ізоляторних коробках. Ці коробки обладнані шарнірними кришками для забезпечення легкого доступу до ізоляторів для огляду і обслуговування.

Для підтримання температури ізоляторів вище точки роси передбачена система електропідігріву, яка забезпечує підвищення температури повітря в ізоляторній коробці.

Спеціальні труби-екрани встановлені нижче ізоляторів для зниження завихрень і зворотного перетоку газів і допомагають підтримувати чистоту опорних ізоляторів.

#### 4.1.6 Система струшування коронуючих електродів

В процесі вловлення частина золи осідає на коронуючих електродах і по мірі наростання шару пилу це викликає запирання коронного розряду. Тому коронуючі

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроди необхідно періодично струшувати. Струшування коронуючих електродів забезпечується падаючими молотками, змонтованими на горизонтальному валі. Ці молотки вдаряють по спеціальних ковадлах, змонтованих на верхній частині балок підвіски коронуючих електродів. Таким чином, вібрації, викликані падаючими молотками, передаються до розрядних електродів.

Такий механізм струшування працює на кожному напівполі, підключеному до окремого агрегата живлення. Привід механізму забезпечується через вал-ізолятор і розташований в верхній частині корпусу електрофільтра. Робота мотор-редуктора керується контролером, який забезпечує оптимальний режим струшування. При зміні умов експлуатації режим може бути змінений.

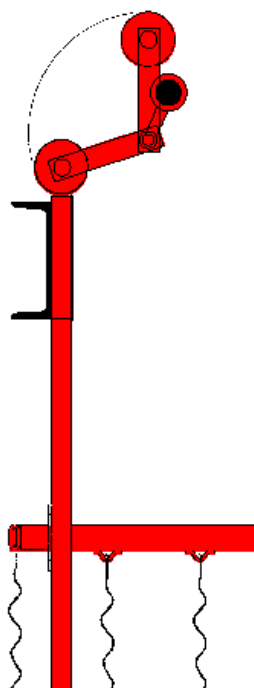


Рисунок 4.5 - Система струшування коронуючих електродів

#### 4.1.7 Високовольтні агрегати живлення

Високовольтні агрегати живлення (АЖ) служать для живлення електрофільтру високою випрямленою напругою і розташовуються на даху фільтра усередині індивідуальних шатрових конструкціях, що забезпечують захист від опадів і прямих сонячних променів при вільному повітрообміні і обладнаних датчиками протипожежної сигналізації. Кожен АЖ складається з високовольтного трансформатора і кремнієвого випрямляча, які розміщені в спільному баку, наповненому оливою.

Кожен агрегат живлення встановлюється у піддон для аварійного зливу оливи; трубопроводи від піддонів об'єднуються в дві системи, зливні труби систем опускаються на нульовий рівень.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### Технічні характеристики:

Первинна напруга	Дві фази 380В 50 Гц
Вторинна напруга	95 кВ, пікове значення при навантаженні ЕФ.
Вторинний струм	1600 мА, середньоквадратичне.
Вихід високої напруги	Горизонтальний
Колеса	Так. (Можна легко їх повернути між осями Х і Y.)
Охолоджувач	Довговічне мінеральне або силіконова олива
Заземлювач	GSW 01



Рисунок 4.6 - Агрегат живлення

Трансформаторний випрямляч - надійне джерело електроживлення електрофільтру.

Бак повністю герметичний і має ребра радіатора для охолодження, які також компенсують теплове розширення. Ізоляція та охолодження виробляються за рахунок довговічного (інгібіторного) мінерального або силіконової оливи. Спеціальна обробка поверхні і тип фарби дозволяють встановлювати агрегати під відкритим небом і в агресивному навколишньому середовищі

Трансформатор має всі необхідні блоки захисту і функції попередження, інформація від яких передається в шафу управління з контролером і забезпечує надійну і ефективну подачу електроживлення електрофільтру.

#### 4.2 Система пневматичного золовидалення

Система пневматичного золовидалення (ПЗВ) умовно складається з наступних основних компонентів:

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



- Компресорна станція;
- Високонапірна транспортна система;
- Проміжний силос леткої золи;
- Система завантаження автотранспорту;
- Система аварійного змиву золи;
- Система управління ПЗВ.

**4.2.1 Компресорна станція** (в тому числі блок підготовки повітря і система вентиляції) - призначена для підготовки і забезпечення стисненим повітрям пневмосистем ПЗУ: механічна фільтрація, попередній нагрів (при необхідності) стиснення і осушення. Блок підготовки повітря забезпечує механічну фільтрацію вхідного в компресорну повітря. Вентиляція, забезпечує підведення очищеного повітря в компресорну, а також відведення надлишок тепла систем охолодження устаткування, розташований в компресорній. Компресорна забезпечує систему ПЗВ: інструментальним та транспортним повітрям з тиском 6 бар і точкою роси -40 ° С.

Інструментальне повітря використовується для відкриття / закриття пневмозасувок (подача і відсікання подачі золи) аерації бункеру промислосу, аерації пневмолотка системи автовигрузки, регенерації ФРІР.

Транспортне повітря використовується для транспортування золи з під електрофільтру до проміжного силосу.

Для забезпечення резервного постачання повітря на випадок аварійних ситуацій передбачається використання існуючої компресорної станції ТЕЦ.

Високонапірна транспортна система - система пневматичного транспортування золи з 8 бункерів електрофільтру в проміжний силос з надлишковим тиском в системі пневмозолопроводів до 0,4-0,6 МПа.

Проміжний силос - ємність загальним об'ємом 1450 м<sup>3</sup>, призначена для збору золи, її короткострокового зберігання, а також подальшого транспортування на силосний склад золи (передбачається в перспективі), або відвантаження в автотранспорт, або, за необхідності, змив в систему ГЗВ (гідрозоловидалення) ТЕЦ.

Система завантаження автотранспорту - дозволяє відвантажувати золу з промислосу в автомобільний транспорт через пункт відвантаження, розташований над дорогою в районі існуючої багерної насосної станції.

Система аварійного змиву золи з промислосу дозволяє в разі потреби або виникненні нештатних ситуацій змити золу в систему гідрозоловидалення ТЕЦ і звільнити проміжний силос.

Система управління ПЗВ - система управління призначена для автоматичного керування технологічними процесами, що відбувається в системі ПЗВ: накопичення,

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортування, відвантаження золи, а також для здійснення контролю над робочими параметрами системи: тиску, рівню золи, температури, аварії, тощо.

#### **4.3 Система моніторингу відхідних газів**

Система моніторингу відхідних газів (СМВГ) призначена для цілодобового автоматичного контролю дотримання вимог до йдуть газам енергоблоків згідно нормативних документів СОУ-НМПЕ 40.1.02.307:2005 «Установки спалювання на теплоелектростанціях і в котельнях» [7], РД 34.02.306-91 «Правила організації контролю за викидами на теплових електростанціях і котельнях» [8] і РД 34.02.308-89 «Методика визначення ступеня очищення димових газів в золоуловлювальній установках» [9], тобто для автоматичного вимірювання концентрації забруднюючих речовин у вихідних газах з автоматичним записом результатів цих вимірювань на електронні носії інформації (з прив'язкою до системного часу об'єкта вимірювань), з автоматичною видачею сигналу (в АСУТП об'єкта моніторингу) про фактичне перевищення допустимих значень за одним або кількома технологічними параметрами, які підлягають моніторингу СМВГ.

СМВГ здійснюється контроль наступних параметрів димових газів від енергоблоку:

- Швидкості та об'ємної витрати димових газів (при роботі і приведених до нормальних умов);
- Концентрації твердих летючих частинок (пилу);
- Температури потоку;
- Тиску (розрідження) димових газів;

СМВГ працює в автоматичному режимі і не вимагає присутності оперативного персоналу.

Система управління СМВГ розміщується в клімат-приміщенні.

СМВГ для ТЕЦ складається з:

- Двох комплектів приладів контролю кількості димових газів в одиницю часу,
- Двох комплектів приладів контролю концентрації твердих частинок в димових газах,
- Мультикомпонентної системи газового аналізу.

#### **4.4 Загальна характеристика електрофільтру**

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 4.1

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 - Основні технічні характеристики електрофільтру

Найменування	Одиниця	Значення
Тип електрофільтру	ЕГУВВ1-40/3*35-12,5-4-4-350/3*400	
Кількість полів	шт.	4
Кількість полуполя	шт.	4
Відстань між однойменними електродами першого поля / наступних полів	мм	350 / 400
Кількість газових проходів перше поле / наступні поля	шт.	40 / 35
Висота активної частини	м	12,5
Площа активного перетину	м <sup>2</sup>	175
Загальна площа осадження	м <sup>2</sup>	13 930
Питома площа осадження	м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> /с	98,15
Довжина поля	мм	3980
Довжина активної частини	м	15,92
Кількість приводів струшування ОЕ	шт	4
Кількість приводів струшування КЕ	шт	4
Кількість агрегатів живлення	шт	4
Кількість бункерів	шт	12
Кількість дифузорів	шт	2
Кількість газорозподільних решіток на вході	шт	2
Кількість конфузорів	шт	2
Кількість газорозподільних решіток на виході	шт	1
Присоси повітря по корпусу, не більш	%	6,0

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження табл. 4.1

Обсяг газу, що очищається	нм <sup>3</sup> /Г	320 000
Максимальна температура газу, що очищається	ОС	150
Гідравлічний опір фільтра, не більше	Па	300
Швидкість газу в активному перетині	м/с	0,81
Запиленість газу, не більше	г/нм <sup>3</sup>	40,0 0,050
- на вході		
- на виході		
Габарити ЕСФ по осях опор	м	20 14,2
- довжина		
- ширина		
Середня напруга на навантаженні	кВ	50- 63

**4.5 Умови експлуатації електрофільтру**

Нормальні умови експлуатації наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Нормальні умови експлуатації

Найменування	Одиниця	Значення
Загальна витрата димових газів перед електрофільтрами (нормальні умови, вологий газ)	тис. нм <sup>3</sup> /Г	320
Температура димових газів перед електрофільтрами	С	150
Вологість димових газів перед електрофільтрами (вологий газ)	% об.	4,89
Запиленість димових газів перед електрофільтром (нормальні умови, вологий газ), не більше	г/нм <sup>3</sup>	36,0
Вміст компонентів в золі:	%	1,3 8,8 35
- Na <sub>2</sub> O, не менше;		
- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , не менше;		
- частка горючих в віднесенні, не більше		

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна залишкова концентрація пилу  $50 \text{ мг/м}^3$ , (при н.у.,  $O_2$  - 6%). Якщо вхідні концентрації пилу вище, ніж вказано в таблиці, ефективність очищення буде не нижче 99,8 %.

#### 4.6 Результати реконструкції золовловлювача

Заміна існуючих мокрих золовловлювачей з трубою Вентурі типу МС-ВТІ-3200 на електрофільтр дозволить:

- знизити залишкову запиленість димових газів до нормативного рівня  $30 \text{ мг/м}^3$  при 6% кисню;
- поліпшити екологічну обстановку району розташування ТЕЦ;
- знизити платежі за викиди;
- зменшити присоси холодного повітря в золовловлювач;
- знизити аеродинамічний опір золовловлювача з підвідними та відвідними газоходами.

Розрахункова характеристика золоуловлювальної установки після заміни на електрофільтри приведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Характеристика золоуловлювальної установки після заміни на електрофільтри

Найменування параметру	Одиниця	Значення параметру
Кількість	шт.	1 ЕФ – 2-х секц.
Витрата димових газів:		
– на вході в установку ( $\alpha = 1,4$ );	$\text{нм}^3/\text{с}$	88,9
– на виході з установки ( $\alpha = 1,46$ )		94,2
Присоси в установку, не більше	%	6,0
Температура димових газів:	$^{\circ}\text{C}$	
– на вході в електрофільтри		150
– на виході з електрофільтрів		130
Концентрація золи:	$\text{г/нм}^3$	
– на вході в електрофільтри		25,0

Продовження табл. 4.3

– на виході з електрофільтрів, (при 6% O <sub>2</sub> )		0,030
Масова витрата золи:	г/с	
– на вході в електрофільтри		2133,3
– на виході з електрофільтрів		4,4
Ефективність електрофільтрів	%	99,8

**Відбір золи з полів електрофільтра**

Розрахунок відборів золи по полях електрофільтрів виконаний для нормального режиму роботи і при відключенні поля №1 при наступних вихідних даних:

- витрата вугілля для котлів №№ 5÷9 – 20...24 т/год;
- вихід летких речовин – не більше 15 %;
- зольність вугілля – 20...23 %;
- втрати тепла від механічної неповноти згоряння, q<sub>4</sub>,% – 7,28.

Результати розрахунку наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Відбір золи від електрофільтрів по полях \*

Найменування	Котли №№ 5 ÷ 9
Витрата леткої золи на вході, т/год	7,538
Відбір золи з поля 1, т/год	6,480 / 1,131
Відбір золи з поля 2, т/год	0,908 / 5,507
Відбір золи з поля 3, т/год	0,130 / 0,784
Відбір золи з поля 4, т/год	0,020 / 0,116

\* У чисельнику – нормальна робота, в знаменнику – при відключенні 1 поля.

**4.7 Висновки до розділу 4**

Заміна існуючих мокрих золовловлювачей з трубою Вентурі типу на електрофільтри з пристроями пожежної сигналізації дозволить довести обсяги викидів забруднюючих речовин до вимог Директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24.11.2010 р. про промислові викиди, а також «Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт», що затверджено наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. № 541 [3], а саме:

- зміст твердих суспендованих часток – не більше 50 мг/нм<sup>3</sup>;
- зміст діоксиду сірки – не більше 200 мг/нм<sup>3</sup>;
- зміст оксидів азоту (в перерахунку на діоксид азоту) – не більше 200 мг/нм<sup>3</sup>.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВСТАНОВЛЕНОГО ЕЛЕКТРОФІЛЬТРУ ДЛЯ КОТЛА ТП-15

За проектною документацією та паспортними даними енергетичного парового котла ТП-15 основним паливом передбачено вугілля марки АШ з теплотворною здатністю 23,02 МДж/кг. В реальних умовах вугілля даної марки відсутнє і для енерговиробництва на Дарницький ТЕЦ-4 (м.Київ) застосовуються вугілля різних марок, яке постачається за відповідними контрактами. За цих умов необхідно здійснити розрахунок технологічних характеристик електрофільтру для різних видів вугілля. Для проведення таких розрахунків використано відповідну методологію.

### 5.1 Методологічні засади визначення характеристик електрофільтру

Для визначення параметрів електрофільтру здійснено розрахунок комплексу теплових та аеродинамічних характеристик з використанням відомої методики [10].

Для розрахунку комплексу зазначених характеристик використані властивості твердого палива [11].

Визначення витрати димових газів, які підлягають очищенню, здійснено з використанням необхідних властивостей та характеристик вугілля, що необхідно зафіксувати у таблиці.

Подальші розрахунки для визначення комплексу аеродинамічних та теплових характеристик електрофільтру здійснено за наступною методологією.

Об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива, м<sup>3</sup>/кг, розраховую за формулою:

$$V_r = V_{RO_2} + V_{ON_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V_o, \quad (5.1)$$

де  $V_{RO_2}$  - об'єм трьохатомних газів, м<sup>3</sup>/кг;

$V_{ON_2}$  - теоретичний об'єм (при н.у) азота, м<sup>3</sup>/кг;

$V_{H_2O}$  – об'єм водяних парів (при н.у) з урахуванням  $\alpha$ , м<sup>3</sup>/кг;

$\alpha$  – коефіцієнт надлишку повітря,  $\alpha=1,45$ ;

$V_o$  – теоретична кількість сухого повітря (при н.у), необхідна для повного згоряння палива, м<sup>3</sup>/кг.

Об'єм трьохатомних газів, м<sup>3</sup>/кг, визначається за формулою:

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{C^p + 0,375 \cdot S^p}{100}, \quad (5.2)$$

де  $C^p$  - вміст вуглецю на робочу масу палива, %;

$S^p$  – вміст сірки на робочу масу палива, %.

Теоретична кількість сухого повітря (при н.у), необхідна для повного згоряння палива, м<sup>3</sup>/кг, визначається за формулою:

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_o = 0,0889 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,265H^p + 0,0333O^p, \quad (5.3)$$

де  $C^p$  - вміст вуглецю на робочу масу палива, %;

$S^p$  – вміст сірки на робочу масу палива, %;

$H^p$  – вміст водню на робочу масу палива, %;

$O^p$  – вміст кисню на робочу масу палива, %.

Теоретичний об'єм азоту (при н.у), м<sup>3</sup>/кг, визначається за формулою:

$$V_{oN_2} = 0,79V_o + 0,8 \frac{N^p}{100}, \quad (5.4)$$

де  $V_o$  – теоретична кількість сухого повітря (при н.у), необхідна для повного згорання палива, м<sup>3</sup>/кг;

$N^p$  - вміст азоту на робочу масу палива, %.

Теоретичний об'єм водяних парів (при н.у), м<sup>3</sup>/кг, знаходиться за формулою:

$$V_{oH_2O} = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,0161V_o, \quad (5.5)$$

де  $H^p$  – вміст водню на робочу масу палива, %;

$W^p$  – вміст вологи на робочу масу палива, %;

$V_o$  – теоретична кількість сухого повітря (при н.у), необхідна для повного згорання палива, м<sup>3</sup>/кг.

Об'єм водяних парів (при н.у) при коефіцієнті надлишку повітря, м<sup>3</sup>/кг, визначається за формулою:

$$V_{H_2O} = V_{oH_2O} + 0,0161(\alpha - 1)V_o, \quad (5.6)$$

Після знаходження всіх невідомих величин, розраховується об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива за формулою (5.1).

Далі за формулою (5.7) визначається об'ємна витрата димових газів, які проходять через золовловлювач, з урахуванням 10% підсосу атмосферного повітря, м<sup>3</sup>/с

$$V_p = V_r \cdot G_n \cdot 1,1 \cdot \frac{(273 + t_r)}{273}, \quad (5.7)$$

де  $V_r$  - об'єм димових газів на 1 кг спалюваного палива;

$G_n$  – проектна витрата згоряємого палива, кг/с;

$t_r$  – температура газів через золовловлювачем (електрофільтром), °С.

Концентрація золи в димових газах, які поступають на очистку, г/ м<sup>3</sup>

$$Z = \frac{10 \cdot A^p \cdot \alpha_{yH}}{V_r}, \quad (5.8)$$

де  $A^p$  – зольність на робочу масу палива, %;

$\alpha_{yH}$  - доля золи палива, яка уноситься газами; для пиловугільних топків  $\alpha_{yH} = 0,9$ .

Необхідна площа активного перетину електрофільтра для очищення золи на 99,9%, м<sup>2</sup>, визначається за наступною формулою:

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$S = \frac{V_p}{v_r}, \quad (5.9)$$

де  $V_p$  - об'ємна витрата димових газів, які проходять через золовловлювач, м<sup>3</sup>/с  
 $v_r$  – швидкість газів в активному перетині, м/с

## 5.2 Розрахунок технологічних характеристик електрофільтру при роботі котла ТП-15 на вугіллі марки АШ

Оскільки у даний час відсутнє постачання проектного (паспортного) палива актуальним є визначення можливих змін у характеристиках роботи електрофільтру котла ТП-15 під час його роботи на непроектному вугіллі.

У першому варіанті здійснено розрахунок властивостей електрофільтру при роботі котла ТП-15 на непроектному вугіллі, склад та характеристики якого наведено у таблиці 5.1, що відповідають даним, наведеним у [11].

Таблиця 5.1 - Склад вугілля марки АШ

Вид, марка, родовище	Робоча маса палива, %						
Вугілля марки АШ Донецького басейну	$W^p$	$A^p$	$S^p$	$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$
	8,5	34,8	1	52,2	1	0,5	1,5
Нижча теплота згоряння палива	$Q_p^H = 18,23$ МДж/кг або 4355 ккал/год						

З використанням формули (5.2), визначаю об'єм трьохатомних газів:

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{52,2 + 0,375 \cdot 1}{100} = 0,97 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичну кількість сухого повітря (при н.у), необхідна для повного згоряння палива визначаю за формулою (5.3):

$$V_o = 0,0889 \cdot (52,2 + 0,375 \cdot 1) + 0,265 \cdot 1 + 0,0333 \cdot 1,5^p = 4,99 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту ( при н.у) визначаю за формулою (5.4):

$$V_{oN_2} = 0,79 \cdot 4,99 + 0,8 \cdot \frac{0,5}{100} = 3,95 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Теоретичний об'єм водяних парів (при н.у) знаходжу за формулою (5.5):

$$V_{oH_2O} = 0,111 \cdot 1 + 0,0124 \cdot 8,5 + 0,0161 \cdot 4,99 = 0,297 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'єм водяних парів (при н.у) при коефіцієнті надлишку повітря визначаю за формулою (5.6):

$$V_{H_2O} = 0,297 + 0,0161 \cdot (1,45 - 1) \cdot 4,99 = 0,33 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Після знаходження всіх невідомих величин, розраховую об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива за формулою (5.1):

$$V_r = 0,97 + 3,95 + 0,33 + (1,45 - 1) \cdot 4,99 = 7,51 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Далі за формулою (5.7) визначаю об'ємну витрату димових газів, які проходять через золовловлювач, з урахуванням 10% підсосу атмосферного повітря:

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_p = 7,51 \cdot 6,39 \cdot \frac{273+150}{273} = 81,77 \text{ м}^3/\text{с}$$

Концентрацію золи в димових газах, які поступають на очистку знаходжу за формулою (5.8):

$$z = \frac{10 \cdot 34,8 \cdot 0,9}{7,51} = 41,7 \text{ г/м}^3$$

Необхідну площу активного перетину електрофільтра для очищення золи на 99,9% визначаю за формулою (5.9):

$$S = \frac{81,77}{1} = 81,77 \text{ м}^2$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків.

Об'єм димових газів	$V_r = 7,51, \text{ м}^3/\text{г}$
Об'ємна витрата димових газів, які проходять через зололовлювач	$V_p = 81,77 \text{ м}^3/\text{с}$
Концентрація золи в димових газах	$z = 41,7, \text{ г/м}^3$
Необхідна площа активного перетину електрофільтра	$S = 81,77 \text{ м}^2$

Таким чином, для здійснення високоякісного очищення димових газів від твердих частинок та золи, що знаходяться у димових газах під час роботи енергетичного парового котла типу ТП-15 на вугіллі АШ Донецького басейну, необхідно забезпечити площу активного перетину електрофільтра у розмірі майже 82 м<sup>2</sup>.

### 5.3 Розрахунок технологічних характеристик електрофільтру при роботі котла ТП-15 на вугіллі марки Г(Р)

Другим варіантом розраховую вугілля марки Г(Р) Волинського басейну, склад та характеристики якого наведено у таблиці 5.3. з використанням даних [11].

Таблиця 5.3 Склад вугілля марки Г(Р)

Вид, марка, родовище	Робоча маса палива, %						
Вугілля марки АШ Донецького басейну	$W^p$ 10	$A^p$ 27	$S^p$ 1,9	$C^p$ 49,8	$H^p$ 3,3	$N^p$ 0,9	$O^p$ 6,2
Нижча теплота згоряння палива	$Q_p^H = 19,47 \text{ МДж/кг}$ або 4650 ккал/год						

Розрахунок характеристик електрофільтру для використання у котлі вугілля непроектної марки Г(Р) здійснено за методикою, що наведена у 5.1 даного розділу.

Визначення об'єму трьохатомних газів здійснено за формулою (5.1):

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{49,8 + 0,375 \cdot 1,9}{100} = 0,94 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичну кількість сухого повітря (при н.у), необхідну для повного згоряння палива, визначено за формулою (5.3):

$$V_o = 0,0889 \cdot (49,8 + 0,375 \cdot 1,9) + 0,265 \cdot 3,3 + 0,0333 \cdot 6,2 = 5,57 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту (при н.у) визначено за формулою (5.4):

$$V_{oN_2} = 0,79 \cdot 5,57 + 0,8 \cdot \frac{0,9}{100} = 4,41 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретичний об'єм водяних парів (при н.у) визначено за формулою (5.5):

$$V_{oH_2O} = 0,111 \cdot 3,3 + 0,0124 \cdot 10 + 0,0161 \cdot 5,57 = 0,58 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'єм водяних парів (при н.у) при коефіцієнті надлишку повітря визначено за формулою (5.6):

$$V_{H_2O} = 0,58 + 0,0161 \cdot (1,45 - 1) \cdot 5,57 = 0,62 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Після знаходження всіх невідомих величин, розраховано об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива за формулою (5.1):

$$V_r = 0,94 + 4,41 + 0,62 + (1,45 - 1) \cdot 5,57 = 8,48 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Далі за формулою (5.7) визначено об'ємну витрату димових газів, які проходять через золовловлювач, з урахуванням 10% підсосу атмосферного повітря:

$$V_p = 8,48 \cdot 6,39 \cdot \frac{273 + 150}{273} = 92,03 \text{ м}^3/\text{с}$$

Концентрацію золи в димових газах, які поступають на очистку, визначено за формулою (5.8):

$$z = \frac{10 \cdot 27 \cdot 0,9}{8,48} = 28,66 \text{ г/м}^3$$

Необхідну площу активного перетину електрофільтра для очищення золи на 99,9% визначено за формулою (5.9):

$$S = \frac{92,03}{1} = 92,03, \text{ м}^2.$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Результати розрахунків

Об'єм димових газів	$V_r = 8,48, \text{ м}^3/\text{кг}$
Об'ємна витрата димових газів, які проходять через золовловлювач	$V_p = 92,03 \text{ м}^3/\text{с}$
Концентрація золи в димових газах	$z = 28,66, \text{ г/м}^3$
Необхідна площа активного перетину електрофільтра	$S = 92,03 \text{ м}^2$

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для здійснення високоякісного очищення димових газів від твердих частинок та золи, що знаходяться у димових газах під час роботи енергетичного парового котла типу ТП-15 необхідно забезпечити площу активного перетину електрофільтра у розмірі майже 93 м<sup>2</sup>.

#### 5.4 Порівняння результатів розрахунків із паспортними даними електрофільтру

За результатами попередніх розрахунків можна зробити такі висновки, що:

1) Якщо використовувати паспортне проектне вугілля марки АШ з властивостями, що наведені у паспорті котла, то площа активного перетину електрофільтра ЕГУВВ1 повинна становити  $S = 175 \text{ м}^2$ .

2) Якщо на ТЕЦ-4 використовується реальне для України вугілля Г (Р) Волинського басейну з властивостями, що наведені у таблиці 5.4, то необхідна площа активного перетину електрофільтра повинна становити  $S = 92,03 \text{ м}^2$ .

3) Якщо на ТЕЦ-4 використовується реальне вугілля марки АШ Донецького басейну з властивостями, що наведені у таблиці 5.2, то необхідна площа активного перетину електрофільтра  $S = 81,77 \text{ м}^2$ .

Таким чином, перевірочним розрахунком встановлено, що робота котла ТП-15 енергетичного блоку №6 з електрофільтром типу ЕГУВВ1 дозволяє здійснювати ефективне очищення димових газів на 99,9% для всіх можливих марок вугілля (вітчизняного та закордонного походження), яке постачається на ТЕЦ-4.

#### 5.5 Перерахунок із проектною теплотворною здатністю вугілля марки АШ і Г(Р)

З урахуванням того, що проектне вугілля марки АШ має теплотворну здатність  $Q_p^H = 23,02 \text{ МДж/кг}$ , що значно більше, ніж АШ Донецького басейну та Г (Р) Волинського басейну, виконано перерахунок основних властивостей комплексу аеродинамічних показників потоку димових газів при роботі котла типу ТП-15 на непроектному вугіллі.

1. Визначено відсоток розбіжності розрахункового палива від проектного за формулою 5.10:

$$\frac{Q_{\text{проект}}}{Q_{\text{розрах.}}} \cdot 100\%, \quad (5.10)$$

де  $Q_{\text{проект}}$  – проектна теплотворна здатність вугілля АШ,  $Q_{\text{проект}} = 23,02 \text{ МДж/кг}$ ;

$Q_{\text{розрах.}}$  – теплотворна здатність розрахункового вугілля, ккал/год.

- для вугілля марки АШ Донецького басейну  $Q_p^H = 18,23 \text{ МДж/кг}$

$$\frac{Q_{\text{проект}}}{Q_{\text{розрах.}}} \cdot 100\% = \frac{23,02}{18,23} = 12,7\%;$$

- для вугілля марки Г (Р) Волинського басейну  $Q_p^H = 19,47 \text{ МДж/кг}$

$$\frac{Q_{\text{проект}}}{Q_{\text{розрах.}}} \cdot 100\% = \frac{23,02}{19,47} = 11,8\%.$$

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, визначено, що для забезпечення необхідної теплової потужності необхідно збільшити витрату палива на відповідний відсоток (на 12,7 % або на 11,8% ) в залежності від його теплотворної здатності. Збільшення витрати палива призводить до збільшення витрати повітря та об'єму димових газів на виході з котла.

2. Об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива збільшується і становить:

- для вугілля марки АШ Донецького басейну

$$V_p = 7,51 \cdot 1,27 = 9,54 \text{ м}^3/\text{год};$$

- для вугілля марки Г (Р) Волинського басейну

$$V_p = 8,48 \cdot 1,18 = 10,03 \text{ м}^3/\text{год}.$$

3. Об'ємна витрата димових газів, які проходять через золовловлювач, з урахуванням розбіжності у властивостях вугілля, становить :

- для вугілля марки АШ Донецького басейну

$$V_p = 81,77 \cdot 1,27 = 103,37 \text{ м}^3/\text{год};$$

- для вугілля марки Г (Р) Волинського басейну

$$V_p = 92,03 \cdot 1,18 = 108,85 \text{ м}^3/\text{год}.$$

4. Необхідна площа активного перетину електрофільтру для ефективного очищення димових газів від золи та твердих частинок становить:

- для вугілля марки АШ Донецького басейну

$$V_p = 81,77 \cdot 1,27 = 103,37 \text{ м}^2$$

- для вугілля марки Г (Р) Волинського басейну

$$V_p = 92,03 \cdot 1,18 = 108,85 \text{ м}^2.$$

Результат перерахунку необхідної наведено в таблиці 5.6

Таблиця 5.6 - Результати перерахунку

	До перерахунку		Після перерахунку	
	АШ	Г(Р)	АШ	Г(Р)
Об'єм димових газів (при н.у) на 1 кг спалюваного палива, м <sup>3</sup> /год	7,51	9,54	8,48	10,03
Об'ємна витрата димових газів, які проходять через золовловлювач, м <sup>3</sup> /год	81,77	103,37	92,03	108,85
Необхідна площа активного перетину електрофільтру, м <sup>2</sup>	81,77	103,37	92,03	108,85

### 5.6 Висновки до розділу 5

За результатами попередніх розрахунків можна зробити такий висновок, що встановлений на котлі ТП-15 енергетичного блоку №6 Дарницької ТЕЦ-4 (м.Київ) електрофільтр типу ЕГУВВ1 дозволяє здійснювати ефективне очищення димових газів на 99,9% при відхиленні на значну величину теплотворної здатності реального вугілля від проектного на яке розрахована експлуатація даного котла, оскільки реальна площа активного перетину електрофільтру становить 175 м<sup>2</sup> (таблиця 4.1), що майже на 70% вище за необхідну площу активного перетину електрофільтру при використанні непроектного вугілля.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному дипломному проєкті передбачено реконструкцію систем газоочищення енергетичного блоку Дарницької ТЕЦ-4 з заміною старого зношеного очисного обладнання димових газів на електрофільтри.

Проект виконано з урахуванням всіх вимог охорони праці та пожежної безпеки.

В даному розділі розроблено технічні рішення, спрямовані на забезпечення здорових і безпечних умов праці та пожежної профілактики під час експлуатації основного і допоміжного обладнання.

### 6.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проєктованому об'єкті. Заходи з охорони праці.

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

З метою виключення або зменшення негативного впливу параметрів мікроклімату на здоров'я працівників, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [12], встановлено оптимальні та допустимі значення з урахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року. Роботи в даній ТЕЦ за важкістю відносяться до категорії легкої Іб. Допустимі значення температури повітря визначено в таблиці 6.1.

Вентиляційні пристрої перебувають в стані повної справності і придатності до експлуатації та підлягають систематичним оглядам та чищенню.

З метою забезпечення нормативах параметрів мікроклімату проєктом передбачено здійснювати контроль основних його параметрів. У тепловому пункті встановлено термометри та датчики температури, психрометри та анемометри.

#### *Розрахунок аерації підбункерного приміщення*

Конструкція стулки віконного отвору одинарна підвісна. Висота і довжина стулки рівні, кут відкриття стулки  $\alpha = 45^\circ$ . Ліхтар П-подібний з фрамугами на вертикальній осі з вітрозахисними панелями, які знаходяться на відносній відстані  $l/h = 1,5$  з кутом відкриття  $\alpha = 90^\circ$ .

Розрахуємо температуру повітря, що видаляється з верхньої частини приміщення за формулою 6.1:

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{зовн}} + \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{рз}}}{m} \quad (6.1)$$

де  $t_{\text{зовн}}$  – температура зовнішнього повітря, для м. Київ в теплий період становить  $t_{\text{зовн}} = 23^\circ\text{C}$  ;

$t_{\text{вн}}$  – температура внутрішнього повітря  $t_{\text{вн}} = 25^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{рз}}$  – температура повітря, що надходить до робочої зони  $t_{\text{рз}} = t_{\text{зовн}} = 23^\circ\text{C}$ ;

$m$  – коефіцієнт, приймаємо 0,53.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{\text{вид}} = 23 + \frac{25 - 23}{0,53} = 26,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Таблиця 6.1 – Допустимі і оптимальні параметри мікроклімату теплового пункту

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с	
		оптимальна	допустима				оптимальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж	Оптимальна, не більш ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
		Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних					
Холодний	Легка Іб	21-23	24	25	20	17	60-40	75	0,1	До 0,2
Теплий		22-24	28	30	21	19	60-40	60 (при 27°С)	0,2	0,3-0,1

Визначимо густину повітря,  $\text{кг/м}^3$ , за формулою (6.2)

$$\rho = \frac{353}{t + 273} \quad (6.2)$$

$$\rho_{\text{зовн.}} = \frac{353}{23 + 273} = 1,192 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{вид.}} = \frac{353}{26,77 + 273} = 1,178 \text{ кг/м}^3$$

Розподілений тиск обчислимо за формулою 4.3:

$$\Delta\rho_{1,2} = h \times (\rho_{\text{зовн.}} - \rho_{\text{вид.}}) \quad (6.3)$$

де  $h$  – відстань між осями прорізів,  $h = 10 \text{ м}$ .

$$\Delta\rho_{1,2} = 10 \times (1,192 - 1,178) = 0,14 \text{ кг/м}^2$$

Втрати тиску на прохід повітря через припливні прорізи можна визначити за формулою 6.4:

$$\Delta\rho_1 = \beta \times \Delta\rho_{1,2}, \text{ кг/м}^2 \quad (6.4)$$

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $\beta$  – різниця тисків, що використовується на прохід повітря через припливні прорізи,  $\beta = 0,3$ .

$$\Delta\rho_1 = 0,3 \times 0,14 = 0,042 \text{ кг/м}^2$$

Втрати тиску на прохід повітря через ліхтар,  $\text{кг/м}^2$ , обчислюємо за формулою 6.5:

$$\Delta\rho_2 = \Delta\rho_{1,2} - \Delta\rho_1^2 \quad (6.5)$$

$$\Delta\rho_2 = 0,14 - 0,042 = 0,098 \text{ кг/м}^2$$

Визначаємо площу прорізів у стіні  $F_{\text{прип}}$  і площа прорізів ліхтаря  $F_{\text{л}}$ ,  $\text{м}^2$ , за формулами 6.6 і 6.7 відповідно:

$$F_{\text{прип.}} = \frac{G_{\text{прип.}}}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \rho_{\text{зовн.}} \times \Delta\rho_1}{\varepsilon_1}}} \quad (6.6)$$

де  $G_{\text{прип.}}$  – кількість повітря, що повинна надходити в приміщення;

$$F_{\text{л.}} = \frac{G_{\text{вид.}}}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \rho_{\text{вид.}} \times \Delta\rho_2}{\varepsilon_2}}} \quad (6.7)$$

де  $G_{\text{вид.}}$  – кількість повітря, що видаляється.

$$F_{\text{прип.}} = \frac{42000}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,192}{8,7} \times 0,042}} = 19,97 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{л.}} = \frac{30000}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,178}{4,1} \times 0,098}} = 11,21 \text{ м}^2.$$

### 6.1.2 Виробниче освітлення

У проєкті передбачено штучне та природне освітлення. Згідно ДБН В.2.5-28:2018 [13], розряд і підрозряд зорової роботи ТЕЦ – відповідно Vб та VIIIв. Нормовані значення КПО та норми освітленості в системі суміщеного освітлення наведено в таблиці 6.2.

У ТЕЦ проводяться наступні заходи для оптимізації виробничого освітлення робочих місць:

- передбачено пристрій аварійного освітлення від джерел живлення, незалежних від загальної освітлювальної мережі;
- передбачено пристрій переносного освітлення на напругу 12 В для ремонтних робіт на обладнанні;
- у приміщеннях, у яких використовують різні напруги, розетки мають відповідні напругам маркування і конструктивні особливості.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 -Нормативні показники природного та штучного освітлення ТЕЦ, згідно ДБН В.2.5-28:2018

Розряд і під- розряд зоро- вої роботи	Освітленість, лк		КПО, %	
	Штучне		Природне	Комбіноване
	Комбіноване	Загальне	Верхнє і бічне	Верхнє і бічне
Vб	-	200	3 і 1	1,8 і 0,6
VIIIв	-	50	0,7 і 0,2	0,5 і 0,2

### 6.1.3 Виробничий шум та вібрації

Джерелами вібрації є устаткування і машини, які навмисно створюють вібрацію для технологічних процесів (вібростенди, вібростата, вібротрамбівки, вібродробарки та інші), а також устаткування і машини, в яких вібрація є небажаним супутнім чинником (вентилятори, компресори, насоси, верстати, автомобілі тощо).

Причиною шуму та вібрації в ТЕЦ є робота димососів, електрофільтрів, турбін тощо. Згідно ДСН 3.3.6.037-99 [14], допустиме значення рівня звуку не повинно виходити за межі 80 дБА. Фактичне значення шуму за результатами вимірювання в тепловому пункті складає 75 дБА, що відповідає нормам.

Заходи боротьби з шумом і вібрацією включають в себе установку звукоізоляції технічного обладнання, установку обладнання на віброізолюючі підставки, правильне балансування обертових частин обладнання.

Нове обладнання поставляється відбалансованим, укомплектованим шумоізолюючими кожухами.

Також рівень шуму і вібрації контролюється за допомогою приладу ИШВ-003.

### 6.1.4 Електробезпека

У ТЕЦ основними причинами нещасних випадків від дії електричного струму є дотик неізольованої від землі людини до неізольованих струмопровідних частин електроустановок, що перебувають під напругою.

Електроустановки живляться від трифазної чотирьохпровідної електромережі змінного струму промислової частини напруги 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Згідно ГОСТ 12.1.038-92 [15], дозволені норми рівня напруг дотику ( $U_0$ ) і струму, що проходить через тіло людини ( $I_0$ ) дорівнюють: при нормальному режимі роботи електричного устаткування  $U_0 = 2$  В, а  $I_0 = 0,3$  мА; при аварійному  $U_0 = 36$  В,  $I_0 = 6$  мА

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення сили струму, мА:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_{\text{л}} + R_0}, \quad (6.8)$$

де  $U_{\phi}$  – фазна напруга, В;

$R_{\text{л}}$  – загальний опір тіла людини, Ом;

$R_0$  – опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

Якщо фазна напруга  $U_{\phi} = 220$  В, загальний опір тіла людини  $R_{\text{л}} = 3000$  Ом, опір робочого заземлення нейтралі  $R_0 = 4$  Ом, тоді

$$I_{\text{л}} = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73 \text{ мА.}$$

Напруга дотику, В

$$U_{\partial} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}}, \quad (6.9)$$

$$U_{\partial} = 73 \cdot 10^3 \cdot 3000 = 219 \text{ В.}$$

При порівнянні отриманих значень розрахунків з допустимими впливає висновок, що при недотриманні вимог ПБЕ в ТЕЦ можуть бути електричні травми з важкими наслідками.

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції передбачені захисні технічні заходи: заземлення, занулення, захисне відключення. Кожна частина електроустановки, що підлягає заземленню або зануленню, приєднана за допомогою окремого відгалуження до мережі заземлення або занулення зварюванням або болтовим з'єднанням.

### 6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

В даному проєкті обладнання працює у автоматичному режимі (контроль, управління та регулювання). Це дозволяє мінімізувати контакт працівників з обладнанням.

Доступ до приміщення осіб з кваліфікаційною групою з електробезпеки нижче II дозволено тільки під наглядом особи, що обслуговує ці установки.

Заходи, які передбачені проєктом, для уникнення аварійних ситуацій:

– працівники, які виконують небезпечні роботи, проходять обов'язковий медичний і психофізіологічний відбір. Допуск на виконання небезпечних робіт здійснюється за нарядом-допуском;

– постійний контроль за технічним станом обладнання забезпечуватиметься оперативним персоналом станції;

– персонал ознайомлений з документацією щодо правил безпеки, зберігання та експлуатації обладнання.

Також обов'язково всі працівники, які працюють на даному об'єкті, проходять інструктаж з охорони праці.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.2 Пожежна безпека

В даному проекті всі технічні рішення були прийняті, згідно НАПБ В.01-034-99/111 [16]. Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою підбункерного приміщення – Д; за ступенем вогнестійкості – Ша.

Золошлаки твердого палива розглядаються як нейтральні, що не володіють токсичним ефектом та подразнюючою здатністю.

Золошлакові відходи від діючих котлоагрегатів транспортуються по системі гідрозоловидалення на золовідвал. Золошлаки відносять до IV класу небезпеки. За даним проектом передбачається уловлену летку золу від котлоагрегатів не відправляти на золовідвал, а відпускати споживачу для подальшого використання.

Брухт чорних і кольорових металів передається на утилізацію спеціалізованим підприємствам.

Відходи футерованих і теплоізоляційних матеріалів та будівельного сміття складаються на звалище будівельних відходів, згідно з «Переліком будівельних відходів IV класу небезпеки, дозволених для складування і захоронення на звалище будівельного сміття».

Постійний контроль за технічним станом обладнання, в тому числі і знову проєктованого, буде забезпечуватися персоналом, відповідальним за його експлуатацію.

Місця проведення вогневих робіт повинні бути забезпечені засобами пожежогасіння (вогнегасники, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, сокири, лопати та ін.), а також має бути очищене від горючих речовин та матеріалів у радіусі 5-14 м при висоті точки зварювання від 2 до 10 м і вище.

Балони з газом під час їх зберігання, транспортування та експлуатації захищені від вії прямих сонячних променів і інших джерел тепла. Балони, встановлені в приміщеннях, будуть знаходитися від приладів опалення та печей на відстані не менше 1 м, а від джерел тепла з відкритим вогнем – не менше 5м. Зберігання в одному приміщенні кисневих балонів та балонів з горючими газами забороняється.

Будівлю захищено від прямого удару блискавки стрижньовими блискавковідводами. В наявності план евакуації на випадок виникнення аварійних ситуацій.

## 6.3 Висновки до розділу 6

В даному розділі розроблено технічні рішення, спрямовані на забезпечення здорових і безпечних умов праці та пожежної профілактики під час експлуатації основного і допоміжного обладнання.

З метою виключення або зменшення негативного впливу параметрів мікроклімату на здоров'я працівників, згідно ДСН 3.3.6.042-99[12], встановлено оптимальні та допустимі

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення з урахуванням важкості виконуваної роботи та періоду року. Роботи в даній ТЕЦ за важкістю відносяться до категорії легкої Іб.

Заходи боротьби з шумом і вібрацією включають в себе установку звукоізоляції технічного обладнання, установку обладнання на віброізолюючі підставки, правильне балансування обертових частин обладнання.

Нове обладнання поставляється відбалансованим, укомплектованим шумоізолюючими кожухами.

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції передбачені захисні технічні заходи: заземлення, занулення, захисне відключення. Кожна частина електроустановки, що підлягає заземленню або зануленню, приєднана за допомогою окремого відгалуження до мережі заземлення або занулення зварюванням або болтовим з'єднанням.

В даному проекті обладнання працює у автоматичному режимі (контроль, управління та регулювання). Це дозволяє мінімізувати контакт працівників з обладнанням.

В даному проекті всі технічні рішення були прийняті, згідно НАПБ В.01-034-99/111 [16]. Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою підбункерного приміщення – Д; за ступенем вогнестійкості – Ша.

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Проект виконано з метою обґрунтування та доведення необхідності проведення реконструкції існуючої системи газоочищення Дарницької ТЕЦ-4 (м. Київ) із заміною існуючих мокрих золовловлювачей з трубою Вентурі на високоефективні електрофільтри.

1 Попередньо проведено аналіз екологічних показників експлуатації об'єкту з визначенням особливостей його експлуатації та обґрунтування позитивних характеристик роботи ТЕЦ-4 після реконструкції системи газоочищення

2 В проекті детально описані методи очищення димових газів від сірки та розглянуто декілька варіантів очищення димових газів від шкідливих компонентів і особливо від оксидів азоту NO<sub>x</sub>

3 Проведено порівняння даних установки для очищення димових газів із заміною «мокрих» скрубєрів на електрофільтри

4 Описано та проаналізовано використання двох методів очищення димових газів від сірки: мокрим та сухим методом

5 Розглянуті два варіанти азотоочистки:

селективне каталітичне відновлення з трьома варіантами розміщення установки: при високому вмісту пилу, при низькому вмісту пилу та кінцева;

селективне некаталітичне відновлення з двома варіантами впорскування відновлювального агента: через вприскуючі розпилювачі (форсунки), які передбачені у вигляді стінових розпилювачів з одним або декількома соплами

6 Детально описано принцип роботи та проаналізовано умови і характеристики експлуатації електрофільтру, описані його основні елементи та технічні характеристики

7 Використовуючи нормативні матеріали, проектну документацію та паспортні дані енергетичного парового котла ТП-15, виконано розрахунки технологічних характеристик електрофільтру для різних видів вугілля: АШ Донецького басейну та Г(Р) Волинського басейну. За результатами розрахунків визначено, що встановлений на котлі ТП-15 енергетичного блоку №6 Дарницької ТЕЦ-4 (м. Київ) електрофільтр типу ЕГУВВ1 дозволяє здійснювати ефективне очищення димових газів на 99,9% при відхиленні на значну величину теплотворної здатності реального вугілля від проектного на яке розрахована експлуатація даного котла, оскільки реальна площа активного перетину електрофільтру становить 175 м<sup>2</sup>, що майже на 70% вище за необхідну площу активного перетину електрофільтру

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Розроблено основні заходи та засоби щодо організаційно-технічного забезпечення охорони праці. Зроблено розрахунок аерації підбункерного приміщення

9 Виконано креслення, на яких наведено розрізи газоочисної установки (електрофільтр) та монтажно-технологічна схема системи золовидалення котла

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Офіційний сайт ТОВ «Євро-реконструкція». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tec4.kiev.ua/about> (05.06.2021).
- 2 Міністерство екології та природних ресурсів України «Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв в галузях промисловості» - 2000.
- 3 Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 22.10.2008 р. № 541 «Технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт».
- 4 Ганз С. Н. Очистка промышленных газов: Справочник / С.Н.Ганз, И.В.Кузнецов. – К.: [УкрНИИНТИ](#), 1967.- 75 с.
- 5 Левитов В. И. Дымовые электрофилтры: Справочник /В.И. Левитов, И.К. Решидов, В.М.Ткаченко. - М: Энергия, 1980.- 448 с.
- 6 Алиев, Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справочник / Г.М.-А.Алиев -А. - М.: Металлургия, 1986.- 544с.
- 7 СОУ-НМІПЕ 40.1.02.307:2005 «Установки спалювання на теплоелектростанціях і в котельнях»
- 8 РД 34.02.306-91 «Правила організації контролю за викидами на теплових електростанціях і котельнях»
- 9 РД 34.02.308-89 «Методика визначення ступеня очищення димових газів в золоуловлювальній установках»
- 10 Ужов В. Н. Очистка промышленных газов электрофилтрами: производственное изд. Изд 2-е, перераб. и доп./ В.Н.Ужов. - М: Химия, 1967.- 344 с.
- 11 Тепловой расчет котлов: нормативный метод. Издание 3-е, НПО, ЦКТИ, СПб, 1998.-256 с.
- 12 ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
- 13 ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»
- 14 ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- 15 ГОСТ 12.1.038-92 «Предельно допустимые значения напряжений прикосновения токов».
- 16 НАПБ В.01-034-99/111 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України».

					ТП 71 89 04 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



# ДОДАТОК А

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Магери Арини Юріївни

(прізвище, ім'я. по-батькові студента)

№ з/п	Найменування праць	Рукописні або друківані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1	Проблема водопостачання прісною водою в Україні та її вирішення	друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 20–23 квіт. 2021 р. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – Т. 1. – 334 с.	2 с	Голіяд М.Н.
2	Окремий випадок розрахунку втрат тиску в магістральних трубопроводах стисненого повітря	друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 1. – 224 с. ISBN 978-966-622-998-7 (Т.1)	1 с	Голіяд М.Н.
3	Особливості застосування біопаливних пелет для процесів теплопостачання	друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 1.с196.	1 с	Варламов Г.Б., Чжан Вейце
4	Экономические и экологические аспекты использования биомассы в процессе	друк.	Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 14–18 вересня 2020 р.) / УКРНДІЕП.	1 с	Варламов Г. Б., Романова К. О., Чжан Вэйце.

5	енергопроизводства Переробка твердих побутових відходів: проблеми і перспективи	друк.	– ПП «Стиль-Іздат», 2020. С. 58–68. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів 2020 року. У 2 т. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т. 1. – 224 с. ISBN 978-966-622-998-7 (Т.1)	1 с	Гавриш А.С.
---	--	-------	---	-----	-------------

Авторка

Арина МАГЄРА

## ДОДАТОК Б

### ПЕРЕВІРКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ НА АКАДЕМІЧНУ ДОБРОЧЕСНІСТЬ



Ім'я користувача:  
Боженко Михайло Федорович

ID перевірки:  
1008264509

Дата перевірки:  
10.06.2021 22:10:03 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
10.06.2021 22:11:30 EEST

ID користувача:  
100005082

Назва документа: bakalavr\_Magera

Кількість сторінок: 51 Кількість слів: 12389 Кількість символів: 94362 Розмір файлу: 976.26 KB ID файлу: 1008335416

## 15.2% Схожість

Найбільша схожість: 7.4% з Інтернет-джерелом (<http://web.kltcc.if.ua/wp-content/uploads/2019/01/%D0%86%D0%BD%...>)

10% Джерела з Інтернету

64

Сторінка 53

11.1% Джерела з Бібліотеки

61

Сторінка 53

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0.32% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 10 слів та 0%)

0.23% Вилучення з Інтернету

37

Сторінка 54

0.15% Вилученого тексту з Бібліотеки

54

Сторінка 54

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

18

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ТП 71 89 04 ПЗ	Пояснювальна записка	73	
3	A1	ТП 71 89 04 001 TX1	Схема газоочисної установки. Розташування обладнання. План на відм. 0,000	1	
4	A1	ТП 71 89 04 002 TX1	Розташування обладнання. Розрізи 1-1, 2-2	1	
5	A1	ТП 71 89 04 001 TX2	Система золовидалення. Монтажно-технологічна схема	1	
6	A1	ТП 71 89 04 001 TX3	Компресорна станція. Монтажно-технологічна схема	1	

				ТП 71 89 04		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного прокту	Аркуш	Аркушів
Студентка	Магєра					1
Керівн.	Варламов				КПП ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, Кафедра ТПТ	
Консульт.	-					
Н.контр.	Боженко					
Зав.каф.	Варламов					