

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

зі спеціальності 183 “Технології захисту навколишнього середовища”

Тема: Технологія очищення відхідних газів у теплоенергетиці

Завідувач кафедри

Пляцук Л.Д.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи

Пляцук Л.Д.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант  
з охорони праці

Фалько В.В.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Виконавець

студент групи

ТС.М–11 ТЗНС

Шкурат Ю.В.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Суми 2022

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природознавчих технологій  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Зав. кафедрою \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**  
Шкурат Юрій Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Технологія очищення відхідних газів у теплоенергетиці затверджена наказом по університету від “3” листопада 2022 р. № 1006 -VI
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 16 грудня 2022 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) патентна база щодо методів очистки відхідних газів; описання вапнякового методу очищення відхідних газів;
4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) метододи очистки відхідних газів; маркування палива; вили топок; схема вапнякового методу очистки; охорона праці на підприємствах теплоенергетики; екологічний вплив ТЕС на навколишнє середовище;
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд за досліджуваною проблематикою	Вересень 2022 р.	
2	Опис та пошук методів очищення відхідних газів	Вересень 2022 р.	
3	Опис маркування палива	Жовтень 2022 р.	
4	Пошук та вибір мтехнології очистки відхідних газів	Листопад 2022 р.	
5	Опис ваянкового методу очистки	Листопад 2022 р.	
6	Робота над розділом «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях»	27.11.22	
7	Робота над економічною частиною	05.12.22	
8	Оформлення роботи	16.12.22	

7. Дата видачі завдання 24.09.2022 року

Студент

\_\_\_\_\_

Шкурат Ю.В.

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

Пляцук Л.Д.

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра*

Робота складається зі вступу, семи розділів, висновку, списку використаних джерел. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра складає 41 с., у тому числі 5 таблиць і 5 рисунків, перлік джерел посилання 3 сторінки.

*Мета роботи* – підвищити відсоток очищення відхідних газів теплоенергетики, проаналізувати технологію спалювання твердого вугілля, зробити аналіз шкідливих та небезпечних факторів на виробництві, розрахувати рівень шуму на виробництві та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

*Об'єкт дослідження* – відхідні гази теплоенергетики

*Предмет дослідження* – підвищення рівня очистки відхідних газів теплоенергетики за допомогою вапнякового методу.

*Методи дослідження.* Методологічною основою роботи є пошук інформації на різних сайтах. У роботі було використано SWOT-аналіз.

**Ключові слова:** ВІДХІДНІ ГАЗИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ, ТВЕРДЕ ПАЛИВО, ВИРОБНИЧИЙ ШУМ, ВАПНЯКОИ МЕТОД ОЧИСТКИ, МЕТОДО ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ, ТЕХНОЛОГІЇ СПАЛЮВАННЯ.



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ ...	8
РОЗДІЛ 2 ТВЕРДЕ ПАЛИВО У ЕНЕРГЕТИЦІ .....	10
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЙ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ .....	13
3.1 Камерні топки.....	14
3.2 Топки с нерухомим шаром .....	16
3.3 Топки з циркулюючим киплячим шаром.....	17
3.4 Низькотемпературна вихрова технологія .....	20
РОЗДІЛ 4 ОЧИСТКА ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ	3
ВИКОРИСТАННЯМ ВАПНЯНОГО МОЛОКА .....	23
4.1 Характеристика поглинача. ....	26
РОЗДІ 5 ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ .....	28
5.1 Сучасна технологія котролю викидів електростанцій MAST.....	34
5.2 Технології чистого вугілля .....	36
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	42
.....	42
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що виникають під час очищення	42
відхідних газів у теплоенергетиці .....	42
6.2 Розрахунок очікуваних рівнів шуму від обладнання .....	44
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях на підприємствах теплоенергетики .....	46
ВИСНОВОК .....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	49

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

ТС 20320149

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

Розроб.	Шкурат
Перев.	Пляцук
Н.Конт	Батальцев
Затв.	Пляцук

Технологія використання  
альтернативних видів палива в  
транспортному секторі та її  
еколого-економічна оцінка

Літ.	Аркуш	Аркушів
	5	51

СумДУ, ТеСЕТ  
гр. ТСм-11

## ВСТУП

Промислова діяльність у 2021 році спричинила викиди 9,4 Гт CO<sub>2</sub>, що становить чверть глобальних викидів (не включаючи непрямі викиди від електроенергії, яка використовується для промислових процесів). За сценарієм чистих нульових викидів до 2050 року промислові викиди впадуть приблизно до 7 Гт CO<sub>2</sub> до 2030 р. – попри очікуване зростання промислового виробництва. Вже досягнуто невеликих покращень у сфері енергоефективності та використання відновлюваної енергії, а також зроблено деякі позитивні політичні та інноваційні кроки. Однак прогрес відбувається надто повільно. Підвищення матеріально-енергетичної ефективності, швидше використання відновлюваних джерел палива, а також швидший розвиток і розгортання виробничих процесів з низьким вмістом вуглецю, включаючи уловлювання та зберігання вуглецю та водню, є критичними вимогами. Уряди можуть пришвидшити прогрес, у тому числі шляхом зменшення ризиків, пов'язаних із розробкою нових технологій і прийняттям обов'язкових політик щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub> та енергоефективності.

Промислові викиди зросли більш ніж на 70 % з 2000 року в результаті зростання глобального попиту на промислові товари в поєднанні з більш скромним підвищенням енергоефективності. Викиди тимчасово припинили зростання під час пандемії Covid-19, але з тих пір відновилися та перевищили рівень до пандемії, зростаючи на 3% у 2021 році. Для того, щоб продовжити сценарій чистого нуля, загальні прямі викиди промисловості повинні скоротитися майже на за квартал до 2030 року, або в середньому близько 3% на рік, що вимагає прискорених політичних дій.

На промисловий сектор припадало 38% (169 ЕДж) загального глобального кінцевого споживання енергії в 2021 році порівняно з 33% у 2000 році (це включає енергію, що використовується для доменних і коксових печей, а також сировину, які перераховані як окремі категорії в енергетичному балансі).

Підп. і дата	
Інв. Неодубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. Неодубл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк  
6

Зростання енергоспоживання за останнє десятиліття в основному було зумовлене триваючою тенденцією зростання виробництва в енергоємних підгалузях промисловості.

**Мета роботи** – Розробка технології очистки відхідних газів у теплоенергетиці.

**Задачі досліджень:** розглянути основні види топок ТЕС, методи очистки відхідних газів, розглянути маркування вугілля та вибрати конкретний метод очистки.

**Об’єкт досліджень:** відхідні гази теплоенергетики

**Предмет досліджень:** метод очистки відхідних газів теплоенергетики при спалюванні вугілля.

**Методи дослідження:** літературний пошук, теоретичний аналіз літературних даних, статистична обробка матеріалу, системний аналіз.

**Ключові слова:** теплоенергетики, відхідні гази, вугілля, топки, охорона праці, методи очистки відхідних газів, спалювання вугілля, вапняковий метод.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
				ТС 20320149
				Арк 7

## РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ЗА ДОСЛІДЖУВАНОЮ ТЕМАТИКОЮ

В даний час у світі існує багато способів очищення вуглекислого газу в газі сірка:

1. Абсорбційний метод. Тут відбувається очищення вихлопних газів Шляхом поділу газової суміші на складові частинки в умовах абсорбції одна або кілька шкідливих домішок, з гострим поглиначем, то утворення розчину. Абсорбент вступає в контакт з тим же газом, що очищається при проходженні через колонку насадок.

2. Адсорбційний метод. Цей метод заснований на поглинанні газу використовуючи тверді речовини. Внаслідок фізичної адсорбції або хімічної сили, поглинені молекули газу здатні прилипати до твердих поверхонь Але при використанні адсорбції недоліком цього способу є високі витрати енергії на десорбцію та наступні стадії.

3. Каталітичний метод. Цей метод використовується для перетворення Шкідливі домішки в речовинах, нешкідливих або менш шкідливих для людини і середовища, при використанні каталізаторів. можливо дорогоцінні метали або їх сполуки. Помітним недоліком є їх відносно невелика селективність.

4. Аміачний метод. Суть методу полягає в очищенні газу аміачною водою. Для утворення амонійних сполук, що вимагає додавання аміаку до газової суміші для взаємодії використовуйте діоксид сірки. Тверду фазу, зібрану на електрофільтрі, направляють до регенерація аміаку. Однією з головних переваг цього підходу є його відносність економічно, з недоліком втрати рідкісного продукту - аміаку.

5. Спосіб поливу вапняним молоком. Цей спосіб відноситься до поглинання, але цей метод найбільш популярний. При зрошенні потоку продуктів горіння з вапняним молоком можуть захоплювати до 80 - 90 % сірчаного ангідриду. Але недоліком цієї технології є те, що при застосуванні

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

вапняної суспензії у газоочистній споруді, відбувається утворення карбонатних відкладень.

Інв. Неподрл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

9

## РОЗДІЛ 2 ТВЕРДЕ ПАЛИВО У ЕНЕРГЕТИЦІ

Викид твердих частинок і кислотоутворюючих компонентів ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) залежить від мінеральної фракції, зв'язаного з паливом азоту і сірки в паливі. Найменший вміст у паливі є екологічною перевагою будь-якого палива. Крім того, сучасне паливо також оцінюється за вмістом горючого водню та вуглецю, причому останній утворює вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  під час спалювання, один із основних парникових газів. При цьому розглядаються три групи факторів: екотехнологія палива, його екологічний потенціал, його екологічність з навколишнім середовищем. Екологічний потенціал палива включає: вміст у ньому золи, азоту і сірки, а також вміст токсичних мікроелементів у мінеральній частині, таких як миш'як, ванадій, солі важких металів. До цієї ж групи відносяться вміст радіонуклідів (урану і торію, калію, фосфору) та інші фізико-хімічні властивості золи, що впливають на роботу газоочисного обладнання.

Екосумісність з навколишнім середовищем означає ступінь шкоди, завданої тим чи іншим шкідливим викидом, з урахуванням складу ґрунту в районі поширення такого викиду. Екотехнологічне паливо визначає можливість використання нових технологій для вирішення проблем, які виникають при традиційному спалюванні вугілля. Усі види твердого палива (вугілля, сланці, торф) містять мінеральні речовини, які при спалюванні утворюють золу та шлак. Шлак виводиться з топки в розплавленому стані (для печей з рідким шлаковідведенням) або потрапляє в холодну воронку котла. Зола видаляється з топки разом з продуктами згоряння, значна частина яких може бути уловлена в золоуловлювач. Зола-винос містить у своєму складі не тільки мінеральні речовини, а й горючу частину палива.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк  
10

Таблиця 2.2 – Теплові характеристики вугілля (буре, бігумне, антрацит)

Тип вугілля	Температура запалювання	Температура
Буре вугілля	250-450	130-170
Бігумне вугілля	400-500	200-300
Антрацит	700-800	380-400

Таблиця 2.3 – Середня емісія димових газів від спалювання вугілля

Забруднююча речовина	Антрацит	Буре вугілля
CO <sub>2</sub>	94,600	101,000
SO <sub>2</sub>	765	1,361
NO <sub>x</sub>	292	183
CO	89.1	89.1
Тверді частинки	1,203	3,254

При спалюванні такого вугілля, як антрацит, вміст горючої золи може досягати 10–20 % за масою. Це впливає на погіршення використання палива, а також призводить до збільшення викидів. З точки зору забруднення атмосфери твердими частками, зольність палива, а також характеристики реакційної здатності вугілля є важливими параметрами палива. Викиди діоксиду сірки виникають при спалюванні палива, що містить у своєму складі сірку. Це мазут і всі види твердого палива. Кількість SO<sub>2</sub>, що виділяється з димовими газами, прямо пропорційна споживанню палива та вмісту сірки у вихідному паливі. Оксиди азоту утворюються з азоту в повітрі (швидкий і термічний NO<sub>x</sub>) і азотистих компонентів у паливі (паливний NO<sub>x</sub>). Печі, які видаляють твердий шлак, мають високу частку палива – 95–100 %. Лише печі з рідким видаленням шлаку при T<sub>max</sub> понад 1600 °C характеризуються наявністю палива та термічного NO<sub>x</sub>. На кількість палива впливає реакційна здатність і вміст зв'язаного азоту в паливі.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

Арк

11

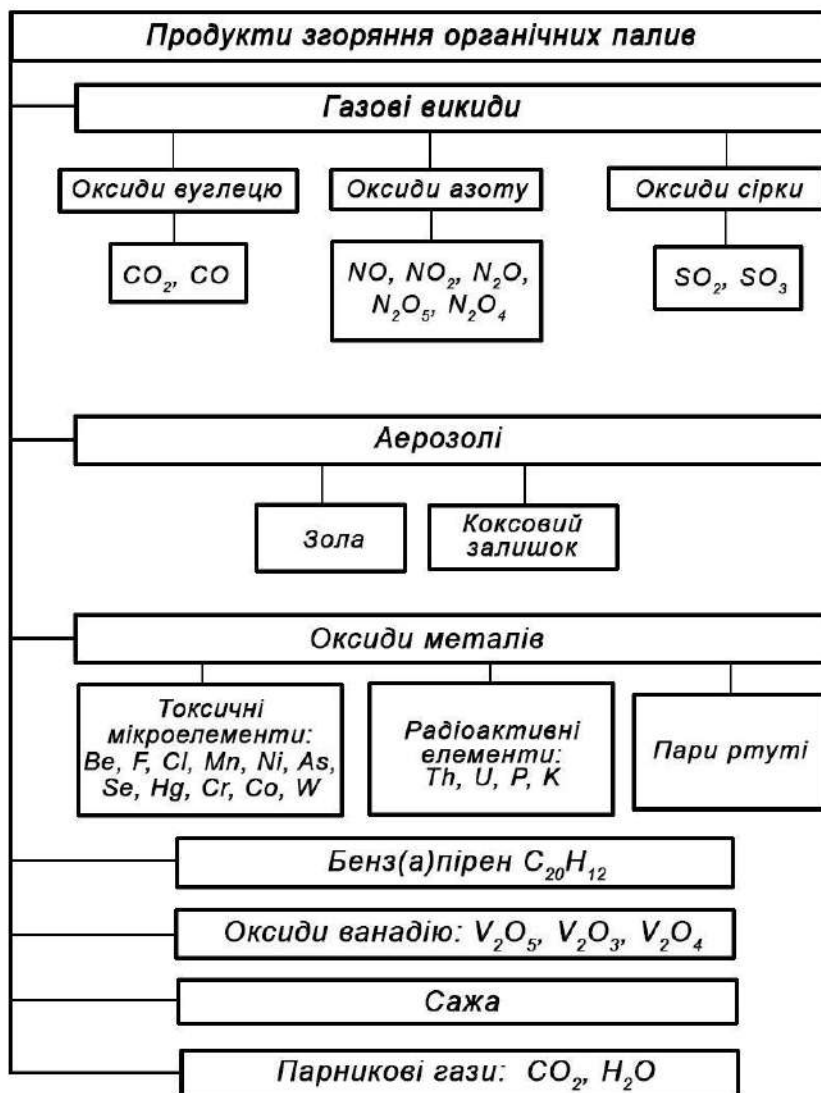


Рисунок 2.1 – Шкідливі викиди продуктів згоряння

Інв.Неподл.	Підп. і дата
Взаєм.інв.№	Інв.Недубл.
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----



### РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЙ СПАЛЮВАННЯ ВУГІЛЛЯ

Шляхи зменшення викидів в атмосферу включають використання екологічно чистих технологій спалювання вугілля на додаток до сучасних чистих методів. Тому проблема високоефективного спалювання проходить через весь етап розвитку теплоенергетики. Практично всі твердопаливні електростанції України шукають вирішення цього надскладного завдання. Основою традиційного парового котла є топовий пристрій, який перетворює хімічну енергію палива у фізичну теплоту продукту згоряння і передає її через поверхню, що нагрівається середовищем (парою або водою). За типом процесу печі піч поділяється на: піч із фіксованим паливним шаром, піч із псевдозрідженим шаром, піч із циркуляційним псевдозрідженим шаром, піч ящикового типу (факельна) для спалювання твердого, твердого пилу, газу або рідкого палива

З точки зору вмісту сірки, з точки зору горючої якості палива, викиди димових газів сьогодні значно обмежені в навколишнє середовище, низькі (біологічні відходи, торф - на 1 кг тонни), середні (антрацит і тверді вугілля - 10-30 кг/т) і високосірчисте (шлами, всі види продуктів бурого вугілля - понад 40 кг/т) паливо. Викиди двоокису сірки до 4000 мг/м<sup>3</sup> під час спалювання в стаціонарних і камерних топках перевищують діючі норми викидів котлів у 3500 мг/м<sup>3</sup>. Для нових – мета 200 мг/м<sup>3</sup>. Як бачимо, сіркоочистка димових газів необхідна для камерних печей і стаціонарних підлог.

Для печей з циркулюючим киплячим шаром і киплячим шаром більше 90% сірки може бути зв'язано вапняком, що подається в піч

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

13

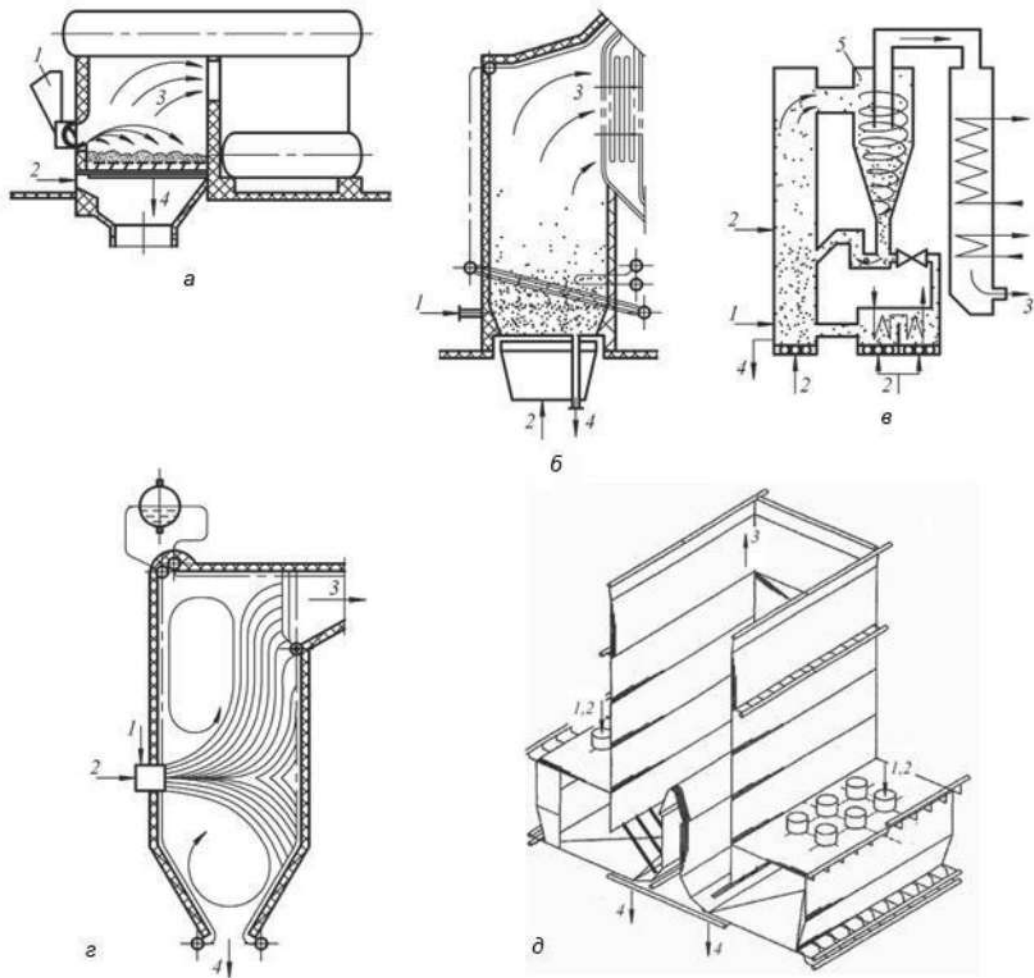


Рисунок 3.1 – Основні типи топок: а – топка з нерухомим шаром; б – топка із киплячим шаром; в – топка із циркулюючим киплячим шаром; г – камерна топка; д – арочна топка (з плавильними передтопками); 1 – подача палива; 2 – дугтя (подача повітря); 3 – вихід продуктів згоряння і золи виносу; 4 – відведення донної золи; 5 – циклон

### 3.1 Камерні топки

Принцип роботи коробчастої печі (рис. 1.2г) полягає в наступному: паливо і повітря надходять у топку через пальник у вигляді прямого або вихрового потоку, запалюються за рахунок променистого теплообміну з осердяч факела і

Підп. і дата

Взаєм.інв.№  
Інв.№дубл.

Підп. і дата

Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

Арк

14

гарячою стінкою, потім він розпилюється потоком високотемпературного продукту згоряння і далі спалюється тверде, рідке та газоподібне паливо для спалювання у факелі вздовж напрямку потоку у факелі. Тверде паливо необхідно подрібнити в порошок. Завдяки різним питомим швидкостям горіння (реакційній здатності) вони горять довше. При горінні час перебування частинок палива в топці визначають діленням об'єму топки на витрату продуктів згоряння при середній температурі топки. При однаковій продуктивності пари в котлах витрата продуктів згоряння незначно залежить від виду палива при номінальному навантаженні. Чим більше реакційноздатне паливо, тим менший об'єм топки необхідний для спалювання.

У камерних топках для спалювання тверде паливо необхідно подрібнювати до стану порошку в спеціальних подрібнювачах, бажана навіть невелика частка вихідного палива. Але до цього типу печей висуваються найжорсткіші вимоги до вологості та зольності палива, тому що умови стабільного розпалювання та горіння визначаються тепловим балансом нижньої частини топкового пристрою, де знаходиться сердечник факела. в основному вугілля, а вміст золи не перевищує 20–22 %, вміст води не повинен перевищувати 10–14 %. Високий рівень золи потребує спеціально сконструйованих печей або розпалювання смолоскипів за допомогою мазуту або природного газу. Вологість є критичною, оскільки вугільний пил осідає в трубах і проміжних силосах вище певного значення, хоча млин продувається нагрітим повітрям або продуктами згоряння, тобто таким чином паливо висушується до прийнятної вологості; у кожному У цьому випадку сушильна здатність установки обмежена.

Перевагами факельного (камерного) способу спалювання є:

- У камерній печі можна спалювати будь-яке паливо, навіть відходи вугілля, що утворюються при збагаченні;
- Зменшити підпалювання;
- Можливість виготовлення камерних печей будь-якої потужності, незалежно від продуктивності;

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

– Надійність роботи при низькому коефіцієнті надлишку повітря (навіть при спалюванні пиловугільного палива).

До недоліків можна віднести:

– підвищені концентрації оксидів сірки та азоту;

– обмежена нижня межа продуктивності (теплова потужність при спалюванні пиловугільного палива не нижче 20 МВт), тобто не можна спалювати пиловугільний палива в малих печах, особливо при зміні режиму роботи;

– збільшення витрат енергії на власні потреби через необхідність попередньої підготовки палива (система пилоприготування).

### 3.2 Топки с нерухомим шаром

У цій системі горіння (рис. 1.2а) паливо вільно розміщене на решітці, а повітря вдувається знизу. Швидкість газоповітряного потоку в шарі така, що його підйомна сила менша ваги частинок палива. Це досягається завдяки їх великому розміру (понад 6 мм). Теплотворна здатність палива важлива для підтримки горіння, тому антрацит і камінь з зольністю не більше 25 %, буре вугілля з вологістю не більше 30%, а також торф і брикети з бурого вугілля, відходи деревини і торф'яні брикети, якщо паливо містить дрібні фракції, що є критичним, оскільки це збільшує втрати залученого незгорілого вуглецю і, що більш важливо, перешкоджає вільному проходженню через шар окислювача.

В результаті в шарі з'являються окислені ділянки. В результаті виникають зони неоднорідного горіння, через що відбувається локалізоване недогорання та виділення вуглекислого газу з димовими газами, а також зони перегріву (результат – прискорене руйнування решітки). Тому вміст дрібних частинок у паливі в стаціонарних шарах суворо регламентований: клас розміру 0–6 мм не перевищує 10–20 % за масою<sup>96</sup>. У стаціонарних шарах брикетне паливо буре вугілля та торф з низьким вмістом золи більш придатні для спалювання. Брикетування високозольного палива не приведе до ефективного спалювання,

Підп. і дата					
Інв. Недубл.					
Взаєм. інв. №					
Підп. і дата					
Інв. Неподрл.					
Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	
ТС 20320149					Арк 16

тому що шар шлаку, який утворюється на поверхні частково спаленого вугілля, блокує проникнення окислювача на глибину. Стаціонарні печі в основному використовуються в муніципальних і промислових котельнях, але в 1990-х роках більшість їх було переобладнано для спалювання природного газу.

### 3.3 Топки з циркулюючим киплячим шаром

Для організації процесу горіння в киплячому шарі наявність дрібнодисперсних часток у паливі не має значення, на відміну від нерухомого шару, коли ефективність горіння значно знижується. Це тому, що дрібні частки (менше 0,5 мм) виносяться з шару і не повертаються. Горіння дрібних часток припиняється, оскільки температура верхнього простору нижча, ніж нижнього. Уловлювання цих дрібних частинок і повернення їх у шар для допалювання не є дуже ефективним, оскільки циклони можуть захоплювати до 70 % пилоподібних частинок. Якісний стрибок стався, коли паливо почало дробитися нижче 0–3 мм, а швидкість газу на секцію топки збільшилася до 5–7 м/с. При сильному потоці частинок розміром 0,1–1 мм, що викидаються з шару, ефективність циклонного сепаратора зростає до 99 % і більше, оскільки добре вловлювані частинки заданого розміру затримують більш дрібні частинки. Так виник плавильний котел ЦКШ (рис. 1.2в)

Відрізняються вони тим, що циклонний сепаратор встановлюється безпосередньо після топкової установки, звідки всі незгорілі частки повертаються в піч (рисунок 1.3). Тобто частинки «замкнені» в системі «вогнище-циклон-вогнище», поки не згорять. Централізовані печі за економічністю не поступаються камерним, але зберігають усі екологічні переваги.

Тому печі з центральним нагрівальним елементом мають більш високий ступінь згоряння палива (приблизно 98–99 % проти 90–95 % у камерних печей). Вони характеризуються низьким коефіцієнтом надлишку повітря.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
ТС 20320149										

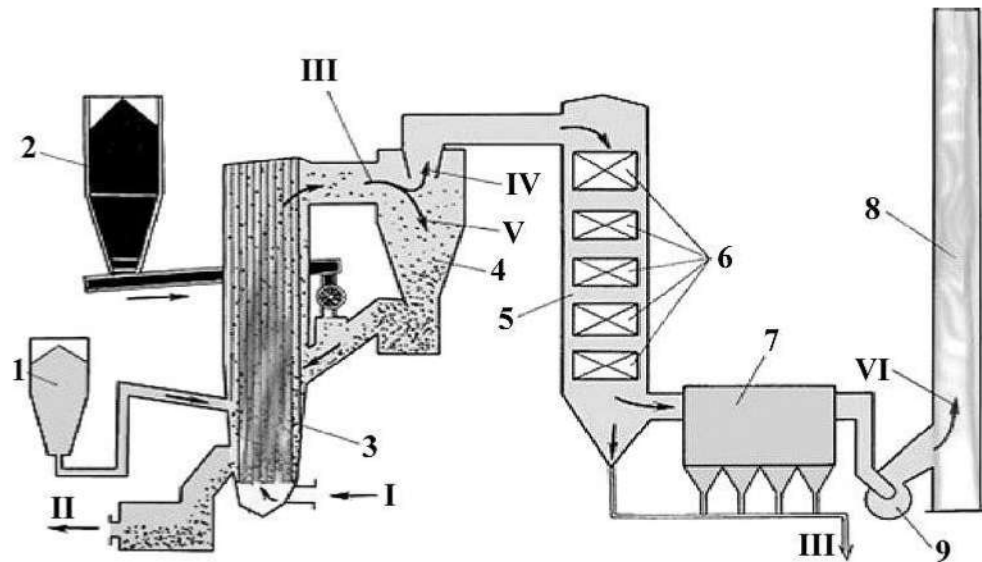


Рисунок 3.1 – Організація процесу горіння в ЦКШ:

1 – бункер з вапняком; 2 – бункер з вугіллям; 3 – киплячий шар; 4 – циклон;  
 5 – шахта конвективна; 6 – поверхні нагріву; 7 – електричні фільтри; 8 – труба;  
 9 – димосос; I – дуття (подача повітря); II – шлак, що направляється на  
 шлаковідвал; III – продукти згоряння та частинки повітря; IV – продукти  
 згоряння, що направляються в конвективну шахту; V – повернення частинок на  
 допалювання; VI – пилогазові викиди в атмосферу.

Дослідження, спрямовані на застосування технології ЦКШ, починаються з середини 1970-х років. У 1979 році у Фінляндії був побудований перший енергетичний котел з циркуляційним киплячим шаром.

Сьогодні розробниками цієї технології є Foster Wheeler, Babcock & Wilcox, а основним споживачем таких реакторів ЦКШ є Китай. Індія та В'єтнам також виявили великий інтерес до цієї технології через свої великі запаси вугілля.

Вимоги до якості палива ЦКШ не суворіші, ніж у псевдозрідженому шарі, але ефективність спалювання твердого палива, особливо твердого палива, що містить дрібні частинки, як правило, вища. Завдяки тривалому утриманню вапняку в печі ця технологія має кращі показники зв'язування оксидів сірки. Залежно від викидів NOx через зону відновлення між первинним і вторинним входами продувки.

Підп. і дата
Інв. № доубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----



Масштаби топки централізованого опалення обмежені, і вона використовується для великих агрегатних котлів потужністю 300 МВт і вище, а також малих парових і водогрійних котлів, як нерухомий і киплячий шар. Регулювання навантаження таких силових установок з ЦКШ становить 40-100%. Варто зазначити, що для роботи котлів циркуляційного киплячого шару за зольністю шламових відходів із зольністю не більше 60% накопичено до 150 млн. тонн (близько 70 млн. тонн умовного палива), що є придатним. для спалювання.

Утилізація таких відходів розширить паливну базу теплової енергії та вирішить екологічну проблему рекультивації територій, зайнятих звалищами. Агломерація високозольного осаду є необхідною умовою для його спалювання в ЦКШ. Це можна забезпечити в процесі сушіння завдяки природному складу глини.

Процес спалювання в циркулюючому киплячому шарі вважається процесом з низьким рівнем викидів забруднюючих речовин. Завдяки йому діоксид сірки можна ефективно вловлювати за рахунок використання вапняку. У той же час умови в печі дуже сприятливі для процесу абсорбції. Таким чином, у циркулюючому киплячому шарі оксиди сірки можна вловлювати дуже ефективно порівняно з введенням вапна в піч, де спалюється пиловугільний порошок. Крім того, з азоту повітря не утворюються «гарячі» оксиди азоту. Крім того, поступова подача повітря знижує рівень NOx.

Основними перевагами котелень центрального опалення є:

- паливо з високим вмістом золи та низькою теплотворною здатністю та паливо з низьким вмістом летючих речовин можна ефективно спалювати, температура в топці стабільна, вміст вуглецевого шару низький, а час перебування коксової золи в реакції становить достатньо довго;
- ефективне зв'язування сірки за рахунок дешевого способу подачі вапняку в топку;
- низькі викиди оксидів азоту (не більше 200-300 мг/м<sup>3</sup>), при цьому не потребують спеціальних засобів денітрифікації;

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

- спрощена схема підготовки палива, можливість спалювання палива різної якості в одному котлі, швидкий запуск з «гарячого» стану, хороші динамічні характеристики;
- котел компактно встановлений, оскільки відсутні сірчані та азотні очисники, що дає можливість розмістити котел центрального опалення в існуючій котельні.

### 3.4 Низькотемпературна вихрова технологія

Ця технологія є сучасною та ефективною технологією використання енергії твердого органічного палива

Перевагами технології низькотемпературного вихрового спалювання є стабільне залучення і згоряння твердого палива без проміння газу і мазуту, покращені екологічні показники та усунення шлаку. Технологія низькотемпературного вихрового спалювання може бути реалізована шляхом модернізації котла традиційної коробчатої топки.

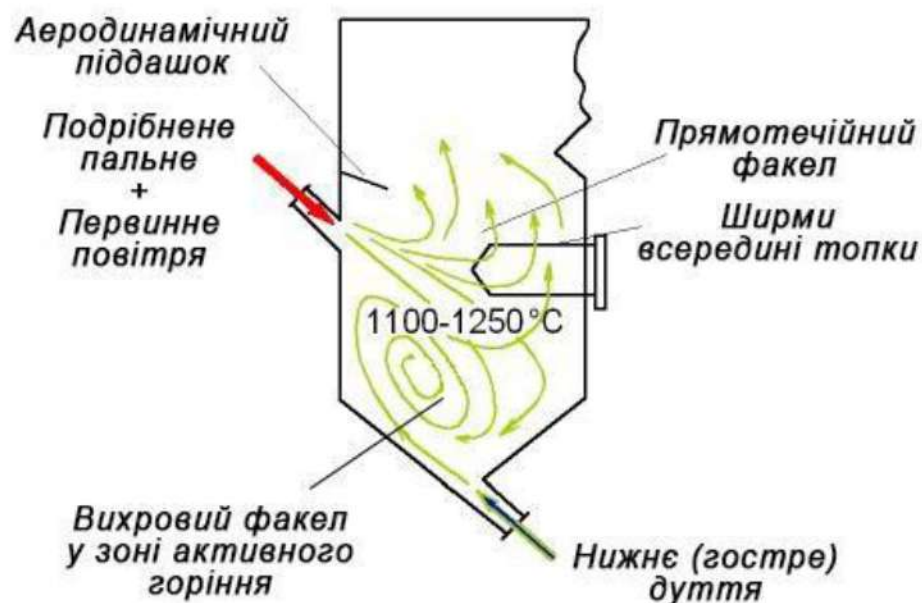


Рисунок 3.4.1 – Низькотемпературна вихрова топка В. В. Померанцева

При звичайній технології спалювання пиловугільного палива основна частина палива спалюється в активній зоні горіння. Ця зона розташована біля

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149



пальників і займається завдяки невеликому об'єму камерної печі. Однак у печах, що використовують технологію зони низькотемпературного вихрового горіння, це займає більший об'єм топкового простору. Таким чином, завдяки активній аеродинаміці в печі створюється можливість збалансувати рівні температури в об'ємі вихрової зони та знизити максимальну температуру на 100–300°C. За рахунок повторюваних циклів спалювання часток палива, додаткового введення окислювача та зниження рівня температури харчової топки забезпечується підвищення показників викидів сірки та оксидів азоту, а також підвищення ефективності золоуловлювача.

Низькі рівні температури в зоні активного горіння та поступове додавання окислювачів до палива призводять до зменшення оксидів азоту. Температура згоряння продукту в низькотемпературній вихровій топці не перевищує 1100–1250°C. За таких умов розуміються невеликі кількості «гарячих» оксидів азоту. У порівнянні з традиційною технологією спалювання концентрація оксиду азоту в топці НТВ знижена в 1,2–2,0 рази. Крім того, ця технологія створює сприятливі умови для включення оксидів сірки. Тривале знаходиться у верхній зоні та великі реакційноздатні поверхні частинок золи сприяють з'єднанню оксидів сірки з основними оксидами (CaO, MgO) мінеральної фракції палива. На 20–50 % вище включення SOx (залежно від марки палива) забезпечується технологією прямого спалювання. Слід також зазначити, основними недоліками є високі питомі енерговитрати, підвищена механічна неадекватність за рахунок видалення великих часток і корозії поверхонь нагріву в топці, неефективна робота на паливах з підвищеною вологістю і зольністю з урахуванням покриття внутрішніх поверхонь топки. Є зола від спікання, яку важко видалити.

### 3.5 Топки з киплячим шаром

У таких печах використовується паливо з розміром частинок від 0–6 мм до 0–25 мм (можна використовувати біологічні відходи – макс. 50 мм). У цьому шарі вага частинок врівноважується підйомною силою газоповітряного потоку, тому

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

відбувається інтенсивний тепло та масообмін-псевдозрідження по поперечному перерізу та висоті шару. Площа живого поперечного перерізу, отже, швидкість газу в гіперпросторі мала (не перевищує 1,0–2,5 м/с), тому більшість частинок, винесених з цього шару, повертаються в цей шар. Середня температура цього шару не перевищує 950 °С, палаючі частинки не перегріваються, оскільки їх частка в цьому шарі невелика і вони оточені інертними газами. За таких умов оксиди азоту не утворюються у великих кількостях, а оксиди сірки можуть з'єднуватися з хімічно інертним гіпсом через вапняк, який подається в цей шар. Киплячий шар не виключає високоякісного палива: в моді успішне спалювання вугілля і вуглецевих відходів із зольністю не більше 70 %, а також низькозольністю з вмістом води не більше 60 %.

Підготовка палива, головним чином для палива з низькою реакцією, використовує метод гранулювання частинок палива. Через тривалий час перебування в топці і обмежену температуру горіння (нижче температури плавлення золи) частинки палива розміром до 13–25 мм в киплячому шарі згорають повністю. У зарубіжних країнах дуже поширені топки в парових і водогрійних котлах продуктивністю не більше 100 т/год.

Порівняно з пиловугільними котлами топки киплячого шару мають такі переваги:

- Високий коефіцієнт конвективної тепловіддачі;
- Тривале перебування частинок палива в киплячому шарі забезпечує спалювання подрібненого палива, відходів виробництва, високозольного вугілля;
- Можливість створення більш компактних печей без систем пилоуловлення;
- Зменшити викиди оксиду сірки в атмосферу шляхом додавання в цей шар вапняку для зв'язування сірки;

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

22

## РОЗДІЛ 4 ОЧИСТКА ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАПНЯНОГО МОЛОКА

Дивлячись на типову схему роботи ТЕС (рис.4.1), ми бачимо, що у ній використовується звичайний електрофільтр 20. У запропонованому мною методі замість цього електрофільтра 20, будемо використовувати рукавний фільтр зі схемою вапнякового (вапняного) методу очищення димових газів з отриманням гіпсового в'язучого.

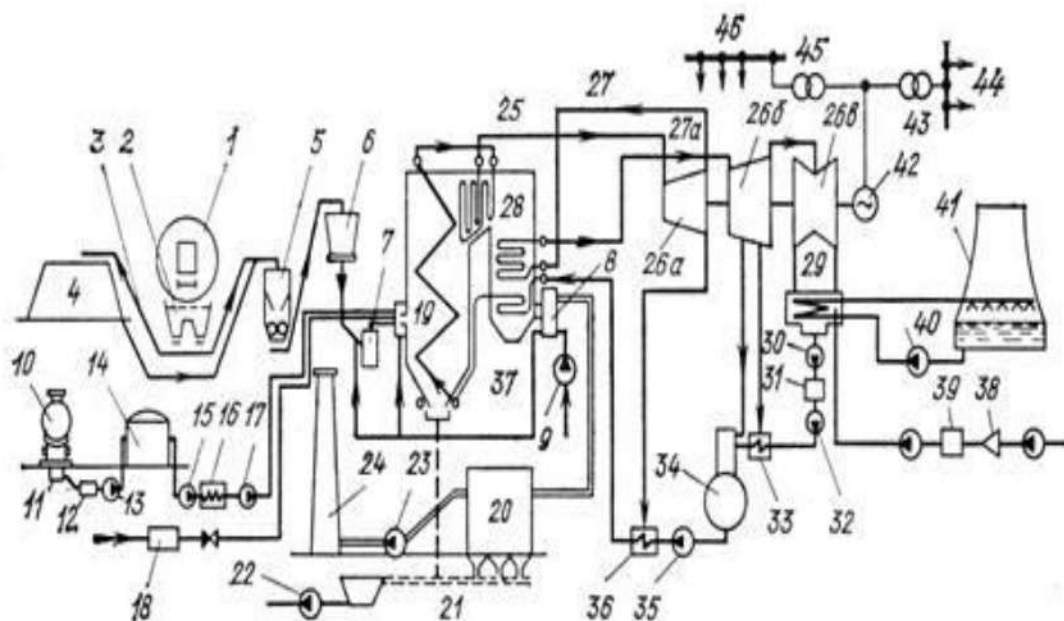


Рисунок 4.1 – Технологічна схема ТЕС, де 1 – вагоноперекидач; 2 – прийомні бункери; 3 – вузол пересипання; 4 – вугільний склад; 5 – дробильне відділення; 6 – бункери сирого вугілля котельні; 7 – млин; 8 – повітропідігрівник; 9 – дуттьовий вентилятор; 10 – залізничні цистерни; 11 – міжреєчний лоток, що обігривається; 12 – прийомний резервуар; 13 – перекачувальні насоси; 14 – основний резервуар; 15 – насос першого підйому; 16 – підігрівники; 17 – насос другого підйому; 18 – газорегулювальний пункт; 19 – топка котла; 20 – електрофільтр (замість цього електрофільтра ми будемо використовувати

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

ектрофільтр з ваянковим методом очистки); 21 – канали гідрозоловидалення; 22 – багерний насос; 23 – димосос; 24 – димар; 25 – паропровід свіжої пари; 26 а – парова турбіна; 26 б – циліндр середнього тиску; 26 в – циліндр низького тиску; 27 – «холодний» паропровід проміжного перегрівника; 27 а – «гаряча» лінія проміжного перегріву; 28 – проміжний пароперегрівник; 29 – конденсатор турбіни; 30 – конденсатні насоси I східця; 31 – фільтри установки очищення конденсату; 32 – конденсатний насос II східця; 33 – група підігрівників низького тиску (ПНТ); 34 – деаератор; 35 – насос; 36 – група підігрівників високого тиску (ПВТ); 37 – економайзер; 38 – іонообмінний фільтр хімводоочищення;

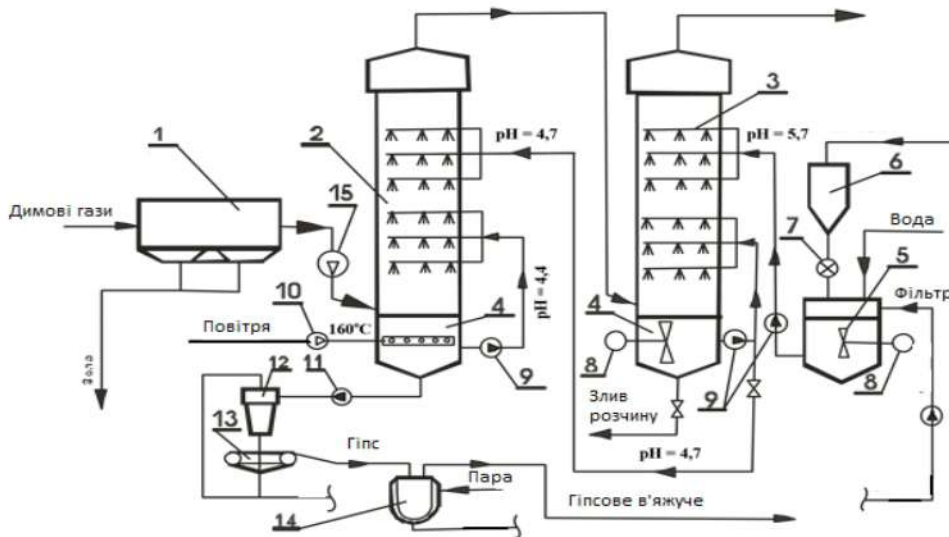


Рисунок 4.2 – Схема вапнякового (вапняного) методу очищення димових газів теплової електростанції з отриманням гіпсового в'язучого

1 – електрофільтр (рукавний фільтр); 2, 3 – абсорбери форсуночні першого та другого ступенів очищення; 4 – збірка суспензії абсорбера; 5 – збірка для виготовлення свіжої суспензії; 6 – збірка порошку вапняку; 7 – дозатор вапняку; 8 – мішалка з електроприводом; 9 – циркуляційні насоси; 10 - повітродувка;

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

Арк

24

11 - насос подачі відпрацьованої суспензії; 12 – гідроциклон; 13 – стрічковий вакуум-фільтр; 14 – автоклав; 15 – димосос.

В абсорбері першого ступеня відбувається повне відпрацювання і окислення сульфїту кальцію, що утворився при цьому, в сульфат  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (гіпс) за рахунок кисню повітря, що нагнітається в збірку абсорбера 2 повітродувкою 10.

Частина насиченої сульфатом кальцію суспензії виводиться зі збірки абсорбера 2 за допомогою насоса 11 (у кількості, еквівалентному поглиненому діоксиду сірки) подається в гідроциклон 12. Тут відбувається поділ суспензії на пульпу та фільтрат. Згущена пульпа з Т: Ж  $\approx 1:2$  направляється на вакуумфільтр 13, на поверхні якого залишаються кристали  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (двоводний гіпс). Гіпс завантажується в автоклав 14 де відбувається його зневоднення до  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  (гіпсового в'язучого).

Гіпсове в'язуче після сушіння в сушильному барабані, помелу в кульовому млині, прямує на упаковку або на виробництво гіпсокартону, що може виявитися рентабельним. Усього утворюється 10–18 тонн/год кінцевого продукту.

Для приготування свіжої суспензії вапняку використовується попередньо приготовлена з шматкового вапняку вапнякова мука з розміром частинок 40–70 мкм. З бункера 6 збірник 5 для приготування свіжої суспензії, вапняне борошно подається дозатором 7. Витрата вапняного борошна 611 т/ч. Для приготування суспензії використовується свіжа технічна вода, а також повернення фільтрату та конденсат всього 100–120 тонн/год.

За аналогічною технологією можна очищати гази чорної та кольорової металургії. При цьому як хемосорбент можна використовувати суспензію вапна або вапняне молоко.

Очищення димових газів від завислих речовин проводиться в електрофільтрі 1. Далі гази, що містять 0,25-0,40% об.  $\text{SO}_2$ , не більше 200 мг/нм<sup>3</sup> золи і 650 мг/нм<sup>3</sup> оксидів азоту, димососом 15 направляються в порожнистий форсуночний абсорбер 2 першого ступеня очищення. Температура газів на вході

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподр.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149



до абсорберу дорівнює 100–160 °С. Далі гази очищаються в абсорбері другого ступеня 3. Загальна міра очищення від SO<sub>2</sub> становить 90–98 %. У цьому вміст золи в димових газах знижується до 50 мг/нм<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> – до 400 мг/нм<sup>3</sup>, температура газів – до 50–56°С. Частково зменшиться концентрація оксидів азоту (до 600 мг/м<sup>3</sup>) з допомогою часткової розчинності NO<sup>2</sup>.

Вибір конструкції абсорберів визначений вибором як поглинач суспензії вапняку та утворення нерозчинних продуктів реакцій – кристалогідратів сульфіту та сульфату кальцію CaSO<sub>3</sub> · 2H<sub>2</sub>O, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O. Кількість суспензії, що подається, в кожному ступені очищення становить 10 тис. м<sup>3</sup>/ч. У кожному ступені абсорбції SO<sub>2</sub> за допомогою циркуляційних насосів 9 здійснюється рециркуляція частини суспензії. Забір суспензії проводиться зі збірок абсорберів другого та першого ступеня. При цьому використовується багатоярусне зрошення абсорберів з поповненням циклу зрошення абсорбера другого ступеня свіжої суспензією поглинальної зі збірника 5. Підтримується значення рН свіжої суспензії, що подається в абсорбер 3 рН = 5,7, рН = 4,7 в збірці абсорбера; в абсорбері 2 рН = 4,7 у верхніх ярусах зрошення, рН = 4,4 у збірнику абсорбера першого ступеня. Частина відпрацьованої суспензії, що містить CaSO<sub>3</sub> · 2H<sub>2</sub>O та невідпрацьований вапняк, циркуляційним насосом передається на зрошення абсорбера 2.

#### 4.1 Характеристика поглинача.

У вапняному методі використовується суспензія вапна СаО з концентрацією 100–150 г/л (розчинність СаО при 0оС 0,13 г на 100 г води; при 80 °С – 0,66 г/100 г води) або вапняне молоко з концентрацією 150-200 г /л розчину (розчинність Са(ОН)<sup>2</sup> при 0°С 0,176 г на 100 г води; при 20оС - 0,16 г/100 г води; при 80 °С - 0,092 г/100 г води).

Враховуючи малу розчинність СаО або Са(ОН)<sup>2</sup> у суспензії (розчині) містяться переважно у твердій фазі .

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

26

У вапняковому методі використовується суспензія вапняку (крейди, доломіту, мергелю), до складу яких входить  $\text{CaCO}_3$ , вміст якого в перерахунку на  $\text{CaO}$  коливається в інтервалі 43–18 % мас. (у міліні міститься 96 % мас.  $\text{CaCO}_3$ , 2 % мас.  $\text{MgCO}_3$  і 2% мас.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Карбонат кальцію нерозчинний, концентрація суспензії 100-150 г/л. У природному вапняку, доломіті, мергелі крім карбонату кальцію ( $\text{CaO}$  та  $\text{CO}_2$ ) містяться:

– природний вапняк (% мас.):  $\text{CaO}$  – 42,61;  $\text{CO}_2$  – 41,58;  $\text{MgO}$  – 7,90;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,33;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,05;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,83;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  – 0,54;  $\text{TiO}$  – 0,06;  $\text{MnO}$  – 0,05;  $\text{SiO}_2$  – 5,11;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,04;  $\text{S}$  – 0,09;  $\text{SO}_3$  – 0,05;  $\text{Cl}_2$  – 0,02;  $\text{H}_2\text{O}$  – 0,76;

– доломіт ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) містить (% мас.):  $\text{CaO}$  – 30,4;  $\text{MgO}$  – 21,7;  $\text{CO}_2$  – 47,9;

– мергель (осадова гірська порода глинисто-карбонатного складу) містить (% мас.):  $\text{CaO}$  – 18,18 – 50,44;  $\text{MgO}$  – 0,26 – 1,95;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,52 – 9,92;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,44-3,30;  $\text{SiO}_2$  – 8,02-53,32;  $\text{SO}_3$  – 0,05-0,75.

Приготування вапняного або вапнякового розчину (суспензії) проводиться у спеціальних ємностях із мішалками. Вапняк необхідно подрібнити до частинок розміром 0,1 мм і менше.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк  
27

## РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

За останні два десятиліття промислова активність зростає вражаючими темпами, що спонукало зростання попиту на промислові товари з боку більшої кількості населення та економіки світу. Історично ця тенденція була загальною, але не єдиною, що свідчить про те, що зростання та промислове виробництво не є неминучим зв'язком, особливо коли економіки досягають економічної зрілості. Очікується, що попит на матеріали в Китаї знизиться до середини 2020-х років, але це, ймовірно, буде компенсовано зростанням попиту з інших ринків, що розвиваються.

Багато промислових процесів включають хімічні реакції та високотемпературне нагрівання, які неможливо повністю декарбонізувати за допомогою сучасних комерційно доступних технологій. Приблизно 60% скорочення викидів у важкій промисловості до 2050 року за сценарієм чистого нуля походить від технологій, які, як було доведено, працюють, але наразі не готові до ринку. Численні зусилля щодо промислових інновацій тривають у всьому світі (дивіться сторінки про цемент, сталь, хімічні речовини, алюміній і папір для отримання додаткової інформації). Основні моменти 2021 року включають першу партію сталі без википних речовин і дві окремі тестові партії алюмінію з інертних анодів.

У навколишньому середовищі найбільшими забруднювачами є викиди в атмосферу, на які припадає близько 40% загальних викидів України. Нині більшу частину електроенергії виробляють теплові електростанції, які споживають більше третини палива у світі. Тенденція використання переважно теплових електростанцій збережеться і в наступному десятилітті. Вплив ТЕС на навколишнє середовище неоднорідний залежно від виду використаного палива. На сьогодні ТЕС України вимагає такої енергоносії: енергетичне вугілля – 53 %, природний газ – 41 %, мазут – 6 %. При спалюванні твердого палива в

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неодубл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

28



атмосферу надходять сірчистий ангідрид, сірчистий газ, газоподібні продукти згорання.

Вугільна електростанція потужністю 100 МВт щорічно викидає в атмосферу близько 5000 тонн діоксиду сірки (за умови нейтралізації 80%) і 10000 тонн оксидів азоту. На поверхні території електростанції утворилося близько 400 тис. тонн золи, з яких утворилося близько 80 тонн важких металів, таких як миш'як, свинець, кадмій і ванадій. При використанні окремого палива в атмосфері викидаються оксиди азоту, сірчана кислота і тійний ангідрид, солі натрію, сполуки ванадію, газоподібні і тверді продукти неповного згорання палива, радіоактивні елементи. Природний газ є найбільш екологічно чистим видом палива в порівнянні з твердими і рідкими речовинами, але в цьому випадку містить оксиди азоту, сірчаний ангідрид і газоподібні продукти неповного згорання

Великі ТЕС займають площу близько 3-4 квадратних кілометрів, чинять значний негативний вплив на навколишній ландшафт, змінюють тепловий баланс території, де вони розташовані. 1 000 000 кіловат споживає 40 000-4 500 000 тонн вугілля на рік, для чого необхідно розкрити 30-35 га кар'єрів. Сама ТЕС разом із зовищами, під'їзними шляхами та водами займає площу близько 300 га. Крім того, кожна стадія вугільного виробництва електроенергії (комплекс очищення шахтних вод, вуглезбагачувальна фабрика з відстійником шламу, сховище відходів збагачення) займає велику площу. Теплове забруднення ТЕС зумовлене скиданням тепла в системі охолодження, внутрішнього тепла відпрацьованими газами, внутрішнього тепла шлаків і недостатнім спалюванням.

Вплив енергетики на навколишнє середовище виражається не тільки у великій кількості шкідливих речовин, що викидаються щороку, але й у природному використанні важливих територій і водних ресурсів, руйнуванні територіальних ландшафтів, приємному кліматі, найбільшій кількості вторинних ресурсів, а також 25 великих ТЕС із 300 млн т золошлакових відходів. Небезпека для навколишнього середовища традиційної енергії на

Підп. і дата
Взаєм. інв. №
Інв. № дубл.
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

29

органічному паливі зазвичай не враховується в ціні постачання електроенергії. У багатьох європейських країнах (Швеція, Фінляндія, Нідерланди) вже стягують екологічні дані розміром 10–30 % від вартості спалювання нафти, громадяни сплачують цей податок за недосконалість енергетики.

Теплоелектростанції (ТЕС), що вибирає органічне паливо, течію залишаються основним джерелом промислової електроенергії, забезпечуючи позитивний імпульс для світового економічного зростання. Найважливішим питанням майбутнього розвитку теплової енергетики у світі, як і раніше, залишається подальше технічне вдосконалення ТЕС для підвищення економічності, надійності та екологічної чистоти виробництва електроенергії та тепла. Практично всі вугільні електростанції можна і потрібно вдосконалювати за рахунок підвищення ефективності та впровадження відомих і нових технологій захисту навколишнього середовища, зокрема технологій уловлювання шкідливих речовин у процесах виробництва палива, спалювання та видалення газоподібних і твердих продуктів згоряння, реагентно-безкоштовна технологія очищення води тощо.

Однак у міру зростання світової економіки належним чином організоване та постійне впровадження дедалі ефективніших, але дорожчих заходів захисту навколишнього середовища допоможе уникнути надмірного впливу цих витрат на ціни електроенергії, як показали прогнози дослідження.

1. Прогноз зовнішніх умов майбутнього розвитку світової теплоенергетики визначає довгострокову спрямованість її технологічного розвитку:

2. В майбутньому викиди шкідливих речовин будуть близькі до нуля, а теплоенергоефективність та екологічна безпека твердого палива значно підвищаться;

3. Значне підвищення ефективності в секторі виробництва електроенергії з природного газу;

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

4. Розвиток спільного виробництва електроенергії та інших видів енергії; Розробка економічно ефективних технологій отримання енергії з некондиційної та відновлюваної органічної речовини;

5. Розробка технологій уловлювання та зберігання парникових газів.

Перспективна технологія ТЕС на природному газі, орієнтована на велику електроенергетику, інтенсивно розвивається за такими основними напрямками: Високотемпературні газотурбінні установки (ГТУ) Основними завданнями досліджень і розробок в галузі газотурбінної техніки є підвищення потужності, к.к.д., екологічних показників газових турбін, створення «гнучких» газотурбінних установок, що працюють на продуктах газифікації різних видів палива, і експлуатація газових турбін. у складі великих комбінованих і гібридних електростанцій.

1. Комбіновані або парогазові установки (ПГУ), що поєднують газотурбінний і паротурбінний цикли.

2. Високотемпературні паливні елементи.

3. Гібридні установки на основі поєднання ПГУ з високотемпературними паливними елементами.

Основні напрямки вдосконалення газових турбін включають підвищення початкової температури газу перед газовою турбіною за рахунок використання більш ефективних високотемпературних конструкційних матеріалів і створення більш ефективної системи теплового захисту для високотемпературних компонентів газової турбіни при цьому при покращенні екологічно чистого процесу спалювання палива. Промислово розроблені енергетичні газові турбіни дотепер мають ККД 35–36,5 % при температурах 1260–1400 °С. У стадії демонстраційних досліджень і промислових зразків відбувається нове покоління газових турбін на металокерамічній основі з робочими температурами вище 1500 °С і рівнями ККД вище 40 %.

Важливим напрямком використання енергоефективних ГТУ є використання їх у складі потужних парогазових електростанцій ТЕС і ТЕЦ. Робочі парогазові установки, які реалізують високотемпературний цикл

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк  
31

газової турбіни Брайтона та відводять тепло в двоконтурній турбіні за циклом Ранкіна (підвійний цикл тиску), забезпечують робочу електричну ефективність на рівні 48–52 %.

Інноваційні зусилля останніх років є багатообіцяючими, і наразі очікується, що більшість ключових технологій з майже нульовими викидами досягнуть комерційного проникнення на ринок між серединою 2020-х і початком 2030-х років. Однак, оскільки в наступному інвестиційному циклі важливо забезпечити впровадження методів майже нульового виробництва на виробничих лініях, це може бути недостатньо швидко для деяких технологій. Прискорення розробки та розгортання ключових технологій з низьким рівнем викидів шляхом забезпечення достатнього фінансування науково-дослідних і демонстраційних зусиль буде мати вирішальне значення для переведення промислового сектора на траєкторію нульового чистого сценарію.

Уряди можуть сприяти зусиллям зі скорочення викидів CO<sub>2</sub>, ухвалюючи плани переходу промислового сектора та обов'язкову політику викидів, наприклад, ціну на вуглець, яка робить певні винятки для промисловості. Така політика буде важливою як у короткостроковій перспективі – для стимулювання недорогого скорочення викидів, як-от перехід виробництва електроенергії з вугілля на відновлювані джерела енергії – так і в довгостроковій перспективі, оскільки навіть за низької жорсткості вона може стати стимулом для промисловості інвестувати в низькоефективну методів виробництва вуглецю, і дають сигнал, що заохочує до підготовки та адаптації, оскільки жорсткість з часом зростає.

Наступний інвестиційний цикл може мати величезний вплив на траєкторію викидів від промисловості протягом наступних трьох десятиліть, і сьогодні необхідні дії, щоб закласти основу для плавного переходу. Політики повинні розглянути обов'язкове будівництво, готове до модернізації, і сприяти переобладнанню до технологій з майже нульовими викидами. У той же час більша відповідність принципам чистого фінансування, згаданим у стратегіях

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неодубл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

приватного сектора, може обмежити ризик як для інвесторів, так і для виробників.

Оскільки промислові компанії реагують на попит, промислова продукція з майже нульовими викидами може бути відкладена на ринку, якщо попит надто низький. Створення попиту на матеріали з майже нульовими викидами може вирішити цю проблему, сформувавши у фірм впевненість у тому, що якщо вони інвестують у технології виробництва з майже нульовими викидами, на їхню продукцію знайдеться покупець. У найближчій перспективі створення обмеженого за часом попиту на матеріали з низьким рівнем викидів, які забезпечують суттєве скорочення викидів, але ще не досягли майже нульового рівня викидів, може стати важливим кроком для каталізації переходу.

Початкова політика повинна гарантувати довгострокову підтримку для перших учасників ринку – приклади включають вуглецеві контракти на різницю, довгострокові контракти на державні закупівлі та попередні ринкові зобов'язання. Пізніше така політика, як вимога щодо мінімальної зростаючої частки ринку для матеріалів з майже нульовим і низьким рівнем викидів, може допомогти збільшити частку ринку цих виробників. Приватні фірми також можуть сприяти цій тенденції, приєднуючись до ініціатив щодо придбання промислової продукції з майже нульовим рівнем викидів.

Забезпечення скоординованого планування та державного фінансування для інфраструктури, необхідної для технології майже нульових викидів, також буде важливим.

Інновації у 2020-х роках матимуть вирішальне значення для розробки та зниження вартості промислових процесів і технологій, які можуть забезпечити суттєве скорочення викидів після 2030 року. З боку урядів і фінансових інвесторів необхідна посиленна підтримка науково-дослідних і дослідницьких робіт і демонстрацій, особливо для просування широкомасштабної демонстрації та впровадження технологій, які вже показали перспективу. Державно-приватне партнерство може допомогти в цій меті.

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неодубл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

33



Розгортання найкращих доступних технологій може допомогти підвищити енергоефективність промисловості, і його слід здійснювати, якщо це економічно, пам'ятаючи про довгострокову потребу переходу до проривних технологій із майже нульовими викидами. Ефективніше використання енергії, наприклад, за допомогою технологій рекуперації відпрацьованого тепла та газу та когенерації, а також покращення операційної енергоефективності, може зменшити викиди, а також знизити вартість ресурсів для промисловості.

Поліпшення збору, прозорості та доступності статистичних даних про енергоефективність і викиди CO<sub>2</sub> у промисловості сприятиме дослідницькій, регулятивній та моніторинговій діяльності. Участь промисловості та координація уряду є важливими для покращення збору даних і звітності. Уряди також повинні прояснити шляхи для більшого обміну даними таким чином, щоб не наражати галузі на ризик порушення законодавства про конкуренцію.

### 5.1 Сучасна технологія контролю викидів електростанцій MATS

MATS або Стандарти токсичності ртуті та повітря – це набір стандартизованих вказівок, опублікованих EPA для регулювання викидів у навколишнє середовище з усіх електростанцій у США. Ці правила були введені через занепокоєння щодо відсутності обмежень на викиди, що викидаються електростанціями, особливо старими установками без технології контролю викидів.

З моменту свого відкриття і до сьогодні великомасштабне виробництво електроенергії суттєво змінило те, як ми живемо, працюємо та розважаємося. Виробництво значної кількості електроенергії неможливо без винаходу електростанцій.

Незважаючи на свою життєво важливу роль у виробництві електроенергії, електростанції, як і більшість промислових об'єктів, викидають відпрацьовані гази та інші забруднювачі навколишнього середовища. Це часто становить ризик для здоров'я працівників підприємства та мешканців у зоні дії електростанції.

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподр.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

34

У США Агентство з охорони навколишнього середовища (ЕРА) встановило стандарти максимальних рівнів викидів, дозволених електростанціями. На щастя, для операторів доступні різні технології контролю викидів електростанцій, про які йтиметься далі в цій статті.

Основні речовини, що спричиняють забруднення повітря на електростанціях, можна класифікувати на сполуки металів ртуті, нертутні метали, токсичні гази та тверді забруднювачі повітря.

Основними видами забруднення повітря ТЕС є

1. Меркурій
2. Кислі гази
3. Діоксид сірки (SO<sub>2</sub>)
4. Миш'як
5. Нікель
6. Хром
7. Оксиди азоту (NO<sub>x</sub>)
8. Сажа

Ці хімічні сполуки становлять серйозну довгострокову небезпеку для здоров'я людей, які зазнали впливу.

Вплив навіть низьких рівнів ртуті в навколишнє середовище може мати серйозні наслідки для здоров'я постраждалих людей. Проковтування або вдихання цього токсичного металу через забруднене повітря чи воду призведе до пошкодження систем органів майже будь-якої людини та збільшить ризик розвитку деяких видів раку протягом життя.

Незважаючи на те, що миш'як шкідливий лише при надходженні значної кількості, тривалий вплив цього металу, наприклад, на працівників електростанцій, пов'язаний із хронічними захворюваннями печінки, раком і розладами психічного здоров'я.

У той час як короточасний вплив хрому спричинить виразки шкіри, подразнення дихальних шляхів і гострі проблеми з диханням, постійний вплив

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

35

сполуки збільшить загальний ризик розвитку раку носа та легенів протягом усього життя.

Сажа, яка є дисперсним вуглецем, що утворюється в результаті неповного згоряння різних вуглеводневих сполук, є основним забруднювачем, що утворюється електростанціями. Перебуваючи в повітрі, сажа практично невидима, однак вона осідає у вигляді чорної плівки на будь-якій відкритій поверхні. Сажа пов'язана з гострими труднощами з диханням, загостренням астми у сприйнятливих людей і раком, пов'язаним із професійною діяльністю.

MATS встановлює стандарти контролю викидів електростанцій для всіх електростанцій, що працюють на вугіллі та нафті, використовуючи стандарт мінімально досяжної технології контролю (МАСТ)

Досягнення стандарту МАСТ — це двоетапний процес, у якому «мінімальний рівень МАСТ» визначається шляхом розгляду контролю над забрудненням із уже існуючих джерел і регулювання ЕРА з урахуванням витрат та інших змінних. Час для досягнення стандартів МАСТ для старих установ зазвичай становить 3-4 роки.

У квітні 2020 року ЕРА запропонувало спеціальний електронний інструмент для звітування про дотримання його стандартів забруднення, який дозволяє підприємствам зручно повідомляти про свій прогрес MATS. Клієнтський інструмент системи планування збору та моніторингу викидів (ECMPS) дає операторам електростанцій можливість подавати свої звіти у портативному форматі PDF до грудня 2023 року.

## 5.2 Технології чистого вугілля

Вугілля широко використовується як паливо в більшості частин світу. При спалюванні вугілля щороку виділяється близько 15 мільярдів тонн вуглекислого газу. Спроба використовувати вугілля без збільшення рівня вуглекислого газу в атмосфері є серйозною технологічною проблемою. Термін «чисте вугілля» все частіше використовується для надкритичних вугільних електростанцій оскільки

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

36



викиди CO<sub>2</sub> менші, ніж для старих електростанцій, але все ще набагато більші, ніж для ядерних або відновлюваних джерел енергії.

Приблизно 26% потреб у первинній енергії задовольняється вугіллям і 37 % електроенергії виробляється з вугілля, у порівнянні з 23 % для природного газу. Вугілля є найпоширенішим і найпоширенішим у світі джерелом викопного палива. У всьому світі працює близько 2000 ГВт вугільних генеруючих потужностей, а до 2030 року очікується, що ще 500 ГВт будуть працювати онлайн.

Однак щороку при спалюванні вугілля утворюється понад 15 мільярдів тонн вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), який викидається в атмосферу, причому більша частина цього надходить від виробництва електроенергії.

Розробка нових технологій «чистого вугілля» намагається вирішити цю проблему, щоб величезні світові ресурси вугілля могли використовуватися майбутніми поколіннями, не сприяючи глобальному потеплінню. Значна частина проблеми полягає в комерціалізації технології, щоб використання вугілля залишалось економічно конкурентоспроможним, незважаючи на витрати на досягнення низьких і, зрештою, «майже нульових» викидів. Технології і дорогі, і енергоємні.

Оскільки багато вугільних електростанцій наближаються до виходу з експлуатації, їх заміна дає багато можливостей для «чистішої» електроенергії. Поряд з ядерною енергетикою та використанням відновлюваних джерел енергії, одна надія на це – технології «чистого вугілля», такі як уловлювання та секвестрація вуглецю, які також називають уловлюванням і зберіганням вуглецю (обидва скорочено CCS) або уловлюванням, використанням і зберіганням вуглецю (CCUS). Це передбачає геологічне зберігання CO<sub>2</sub>, як правило, на глибині 2–3 км, як постійне рішення. Однак у своїй «Перспективі енергетичних технологій» за 2014 рік Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) зазначає: «CCS просувається повільно через високі витрати та відсутність політичних і фінансових зобов'язань». В енергетичних технологіях перспективи 2020CCUS є досить малопрофільним, і в Сценарії сталого розвитку близько 2 мільярдів тонн на рік вловлюється від спалювання вугілля до 2070 року (загалом

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

37

10 Гт/рік). У 2020 році близько 40 мільйонів тонн CO<sub>2</sub> щороку вловлювалися та секвеструвалися з усіх джерел, приблизно така ж потужність CCS будувалася.

Отже, термін «чисте вугілля» все частіше використовується для надкритичних і надкритичних вугільних електростанцій без CCS, які працюють з тепловою ефективністю 42-48%. Вони також відомі як вискоефективні установки з низьким рівнем викидів (HELE). Капітальні витрати на ультранадкритичну (USC) технологію HELE на 20–30 % більші, ніж на субкритичну установку, але вища ефективність зменшує викиди та витрати на паливо приблизно до 75 % субкритичних установок. Надкритичний парогенератор працює при дуже високій температурі (близько 600 °C) і тиску (понад 22 МПа), де рідка і газова фази води більше не розрізняються. У Японії та Південній Кореї близько 70 % вугільної енергії надходить від надкритичних і надкритичних установок.

Спалювання вугілля, наприклад для виробництва електроенергії, призводить до утворення різноманітних відходів, які необхідно контролювати або принаймні враховувати. Так звані технології «чистого вугілля» — це різноманітні відповіді на екологічні проблеми кінця 20-го століття, включно з глобальним потеплінням через викиди вуглекислого газу в атмосферу. Однак багато з елементів фактично застосовуються протягом багатьох років, і тут вони будуть лише коротко згадані:

1. Очищення вугілля шляхом «промивання» вже деякий час є стандартною практикою в розвинених країнах. Це зменшує викиди золи та діоксиду сірки при спалюванні вугілля.
2. Електрофільтри та тканинні фільтри можуть видалити 99 % золи-винесення з димових газів – ці технології широко використовуються.
3. Десульфурація димових газів зменшує вихід діоксиду сірки в атмосферу до 97%, завдання залежить від рівня сірки у вугіллі та ступеня зменшення. Він широко використовується там, де це необхідно, у розвинених країнах.

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

4. Пальники з низьким рівнем викидів  $\text{NO}_x$  дозволяють вугільним установкам зменшити викиди оксиду азоту до 40 %. У поєднанні з методами повторного спалювання викиди  $\text{NO}_x$  можна зменшити на 70 %, а селективне каталітичне відновлення може очистити 90 % викидів  $\text{NO}_x$ .

5. Підвищення ефективності установки – до 46 % теплової ефективності зараз (і 50% очікується в майбутньому) означає, що нові установки створюють менше викидів на кВт-год, ніж старі.

6. Передові технології, такі як інтегрований комбінований цикл газифікації (IGCC) і спалювання під тиском у киплячому шарі (PFBC), все ще дозволяють підвищити теплову ефективність – до 50% у майбутньому.

7. Ультрарізне вугілля (UCC) за допомогою нових технологій переробки, які знижують вміст золи нижче 0,25 %, а вміст сірки – до дуже низьких рівнів, означає, що пиловугільне вугілля може використовуватися як паливо для дуже великих суднових двигунів замість важкого палива. На стадії розробки є принаймні дві технології UCC. Відходи з UCC можуть бути проблемою.

8. Газифікація, включаючи підземну газифікацію вугілля (UCG) на місці, використовує пару та кисень для перетворення вугілля на оксид вуглецю та водень.

9. Секвестрація відноситься до видалення рідкого вуглекислого газу, після захоплення, в глибокі геологічні шари.

Деякі з них спричиняють експлуатаційні витрати та втрату енергоефективності без супутньої вигоди для оператора, хоча зовнішні витрати майже напевно все більше враховуватимуться через податки на викиди вуглецю чи подібне, що змінить економіку спалювання вугілля.

Проте відходи можна використовувати продуктивно. У 1999 році ЄС використовував половину своєї золи-винесення та золи-винесення в будівельних матеріалах (де зола-винесення може замінити цемент), а також використовував 87 % гіпсу з десульфурації димових газів.

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

39

Сьогодні в центрі уваги приділяється вуглекислий газ від спалювання вугілля, оскільки він причетний до глобального потепління, а низка міжнародних угод вимагає скорочення викидів, незважаючи на зростання попиту на енергію.

Технології CCS знаходяться в авангарді заходів, спрямованих на отримання «чистого вугілля». CCS включає два різні аспекти: захоплення та зберігання

Існує ряд засобів для уловлювання вуглекислого газу з газових потоків, але вони ще не оптимізовані для масштабу, необхідного для електростанцій, що спалюють вугілля. У минулому основна увага приділялася отриманню чистого CO<sub>2</sub> для промислових цілей, а не зниженню рівня CO<sub>2</sub> у викидах електростанцій.

Там, де є вуглекислий газ, змішаний з метаном зі свердловин природного газу, його відділення добре доведено. Використовується кілька процесів, у тому числі гарячий карбонат калію, який є енергоємним і потребує великої установки, процес моноетаноламіну, який дає вуглекислий газ високої чистоти, амінне очищення та мембранні процеси.

На заводі з виробництва водню в США для уловлювання вуглецю використовується технологія вакуумної адсорбції.

У звіті Global Status of CCS 2021 Global CCS Institute зазначив, що в експлуатації було 27 комерційних проектів CCS, хоча лише один із них стосувався виробництва електроенергії з вугілля (плюс електростанція Petra Nova, яку зупинили в резерві в травні 2020 року – див. нижче ). Решта цих комерційних об'єктів вловлюють промислові викиди від установок переробки природного газу, хімічного виробництва, заводів по виробництву етанолу та сталі, а також виробництва добрив і водню. Разом вони вловлюють близько 40 Мт/рік. Global CCS публікує базу даних об'єктів .

Вловлення вуглекислого газу з потоків димових газів після згоряння в повітрі є набагато складнішим і дорожчим, ніж з потоків природного газу, оскільки концентрація вуглекислого газу в кращому випадку становить лише близько 14 %, а азот — більшу частину, а димовий газ гарячий. Основний процес обробляє вуглекислий газ як будь-який інший забруднювач, і коли димові гази пропускають через розчин аміну, CO<sub>2</sub> поглинається. Пізніше його можна

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

вивільнити шляхом нагрівання розчину. Цей процес амінної очистки також використовується для видалення CO<sub>2</sub> із природного газу. Це пов'язано зі значними витратами енергії. Для нових електростанцій це зазначається як 20-25% від виробництва заводу, як через зниження ефективності заводу, так і через енергетичні потреби фактичного процесу.

Жодна електростанція комерційного масштабу не працює з цим процесом (завод Petra Nova у США призупинив CCS – див. детальнішу згадку нижче). На електростанції Mountaineer потужністю 1300 МВт у Західній Вірджинії, яка щорічно викидає 8,5 млн. тонн CO<sub>2</sub>, пілотний проект Alstom вартістю 100 мільйонів доларів США успішно очистив менше 2 % відхідного газу заводу для відновлення CO<sub>2</sub> за допомогою технології охолодженого аміну. Були плани вловити та секвеструвати 20 % CO<sub>2</sub> завод, але від цього відмовились у 2011 році через відсутність державної підтримки.

Коли вугілля спалюється в кисні, а не в повітрі, це означає, що димовий газ складається здебільшого з CO<sub>2</sub> і, отже, його легше вловлювати аміним скруббером – приблизно вдвічі дешевше, ніж у звичайних установках. Низка киснево-паливних систем працює в США та інших країнах, а проект FutureGen 2 передбачає кисневе спалювання. Така установка має повітродоздільну установку, котельний острів, установку компресії та очищення кінцевих димових газів.

Установки комбінованого циклу інтегрованої газифікації (IGCC) — це засіб використання вугілля та пари для виробництва водню та монооксиду вуглецю (CO) з вугілля, які потім спалюються в газовій турбіні з вторинною паровою турбіною (тобто комбінований цикл) для виробництва електроенергії. Якщо газифікатор IGCC подається киснем, а не повітрям, димовий газ містить висококонцентрований CO<sub>2</sub>, який можна легко вловити після спалювання, як зазначено вище.

Підп. і дата
Інв. Неодубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неодубл.

Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149



## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що виникають під час очищення відхідних газів у теплоенергетиці

При використанні систем очищення відхідних газів у теплоенергетиці серед небезпечних та шкідливих фізичних факторів присутні:

- підвищена температура обладнання та обладнання, що може викликати опіки різного ступеня;
- забруднення повітря робочої зони;
- підвищення або зниження температури, вологості, рухливості повітря Робочі зони, які можуть призвести до зниження здоров'я працівників;
- може посилити шум, вібрацію, підвищений рівень звуку та ультразвук Погіршення стану здоров'я і розвиток хронічного захворювання при тривалому впливі Захворювання і порушення роботи нервової системи;
- збільшення напруженості електричного або магнітного поля може призвести до порушення гомеостазу;
- електричне обладнання та елементи мережі можуть спричинити Ураження електричним струмом і спричинити більш серйозні травми;
- неконтрольований викид токсичних/корозійних / горючих рідин, які при потрапінні на шкіру можуть призвести до опіків.

До засобів колективного захисту від статичної електрики відносяться:

- 1) заземлюючі пристрої;
- 2) зволожуючі пристрої;
- 3) антиелектростатичні речовини;
- 4) екрануючі пристрої;
- 5) нейтралізатори статичної електрики.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

42

Під час експлуатації електроустановок необхідно дотримуватись вимог пожежної безпеки, встановлених Правилами пожежної безпеки в Україні. Вимоги чинних норм галузевих правил безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів міністерств і відомств не повинні суперечити цим Правилам та послаблювати їхню дію [1].

Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом (електрозахисні засоби), від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального (далі – ЗІЗ) та колективного захисту згідно [2]

Для освітлення приміщень слід використовувати, як правило, найбільш економічні розрядні лампи. Використання ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або техніко-економічної недоцільності використання розрядних ламп. Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні. Вибір джерел світла за кольоровими характеристиками слід провадити за додатком Е. Застосування ксенонових ламп у приміщеннях не дозволяється. [4]

За наявності в одному приміщенні робочих і допоміжних зон слід передбачати локалізоване загальне освітлення (за будь-якої системи освітлення) робочих зон і менш інтенсивне освітлення допоміжних зон [4]

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10 % нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення. При цьому освітленість повинна бути не менше 200 лк при розрядних лампах, не менше 75 лк - при лампах розжарювання. Створювати освітленість від загального освітлення в системі комбінованого більше 500 лк при розрядних лампах і більше 150 лк при лампах розжарювання допускається тільки за наявності обґрунтувань. [4]

Засоби індивідуального захисту від шуму

- 1 Внутрішнього використання – втулки, вкладки, тампони;

Підп. і дата
Інв. №дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. №подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Арк

43

- 2 Зовнішнього використання – навушники, шоломи, костюми;
- 3 Мішані, які вставляються при вході в слуховий прохід.

## 6.2 Розрахунок очікуваних рівнів шуму від обладнання

Устаткування теплових електростанцій (ТЕС) створює шум у всьому звуковому діапазоні, сприйманому людиною. Основними джерелами шуму на теплових електростанціях є турбіни, дутьові вентилятори, димососи, млини, градирні, компресори, насоси, трубопроводи, клапани тощо.

Максимальні значення рівнів звуку у зонах обслуговування машинних залів ТЕС досягають 100–110 дБ А.

За санітарними нормами 80 дБ – допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства.

Отже, середній рівень звуку у машинних залах ТЕС перевищує допустимий рівень на 3–9 дБ А. Обслуговуючий персонал електростанцій не знаходиться постійно в машинному залі, проте частина ремонтного персоналу може піддаватися впливу підвищеного шуму на повний робочий день. Виробничий шум на робочих місцях і в приміщеннях ТЕС, що обслуговуються, в основному перевищує допустимі значення.

Таблиця 6.1. Рівні звуку, що створюються обладнанням енергоблоків

Вид обладнання	дБ
Турбіна	94
Генератор	106
Редуктор	104
Поживний насос	99
Конденсатний насос	98
Насос газового охолодження	101

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

Арк

44



Таблиця 6.2 – Додавання рівнів звукового тиску

Різниця двох додаваних рівнів	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка $\Delta L$ до більш високого рівня	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

Важливо зауважити, що усі ці прилади не знаходяться в одному приміщенні. Співробітники не знаходяться весь час на робочому місці але негативний вплив на людину все одно присутній.

Проаналізувавши таблицю 6.1 ми бачимо що всі наведені прилади перевищують норму допустимого шуму на робочому місці.

Для розрахунку сумарного шуму у приміщенні, ми будемо використовувати таку формулу

При двох різних джерелах шуму  $L_1 > L_2$ :

$$L_S = L_1 + \Delta L \quad (6.1)$$

$$L_{\text{різн1}} = 106 - 101 = 5$$

Отже, використовуючи данні із таблиці 6.2  $\Delta L_{\text{доп1}} = 1.2$

Тепер знаходимо сумарний рівень звукового тиску для двох джерел  $L_{s1}$ , додаючи до  $\Delta L_1$ , значення звукового тиску найбільш інтенсивного джерела:

$L_{s1} = 106 + 1,2 = 107,2$  дб. Далі шукаємо різницю між знайденим  $L_{\text{різн2}}$  двох джерел із наступним значенням звукового тиску:

$$L_{\text{різн2}} = 107,2 - 94 = 13,2, \text{ отже } \Delta L_2 = 0,3, \text{ тоді } L_{s2} = 107,2 + 0,3 = 107,5 \text{ Дб};$$

$$L_{\text{різн3}} = 107,5 - 104 = 3,2, \text{ отже } \Delta L_3 = 1,8, \text{ тоді } L_{s3} = 107,5 + 3,2 = 110,7 \text{ Дб};$$

$$L_{\text{різн4}} = 110,7 - 99 = 11,7, \text{ отже } \Delta L_4 = 0,4, \text{ тоді } L_{s4} = 110,7 + 0,4 = 111,1 \text{ Дб};$$

$$L_{\text{різн5}} = 111,1 - 98 = 13,1, \text{ отже } \Delta L_5 = 0,3, \text{ тоді } L_{s5} = 111,1 + 0,3 = 111,4 \text{ Дб};$$

Далі знаходимо сумарний рівень тиску від даних п'яти джерел за формулою

$$L_{\text{сер}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \times L_i} \quad (6.2)$$

Підп. і дата
Інв. Недубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. Неподрл.

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

$$L_{сер} = 10 \times \lg(10^{0.1 \times 94} + 10^{0.1 \times 104} + 10^{0.1 \times 106} + 10^{0.1 \times 99} + 10^{0.1 \times 98} + 10^{0.1 \times 101}) = 109.74 \text{ дБ};$$

### 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях на підприємствах теплоенергетики

Пожежі в світовому масштабі завдають величезної матеріальної шкоди, нерідко забирають життя людей. Головне завдання будь-якої серйозної компанії або будь-якого підприємства-максимально забезпечити пожежну безпеку споруд і будівель.

Забезпечення пожежної безпеки приміщень, будівель і споруд в даний час має на увазі активне застосування інноваційних інженерних технологій і сучасного обладнання.

Для цього керівники використовують спеціально розроблений комплекс заходів, що ставить за мету-своєчасне оповіщення про пожежу, а також запобігання загоряння і забезпечення безпечної та оперативної евакуації людей у разі пожежі, а саме:

Встановлення різних систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією;

- 1 монтаж систем пожежної та охоронної сигналізації;
- 2 встановлення систем, що контролюють доступ;
- 3 установка комплексів димовидалення та пожежогасіння;
- 4 обробка і просочення дерев'яних та інших легкозаймистих конструкцій спеціальним вогнетривким складом;
- 5 установка системи відеоспостереження

Встановлювана система пожежної сигналізації призначається для своєчасного виявлення вогнища загоряння. Активується автоматична установка пожежогасіння і одночасно розблоковуються двері на шляхах евакуювання.

Сигналізація проектується з повним урахуванням складності (в архітектурному плані) сучасних будівель, приміщень і споруд.

Підп. і дата	
Інв. №дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. №подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

Пожежна безпека приміщень, будівель і споруд в певній мірі визначається рівнем його вогнестійкості, що залежить від вогнестійкості основних елементів конструкції будівлі.

Питання забезпечення пожежної безпеки споруд та будівель - складова частина нормативних документів у проектуванні конструкцій майбутніх підприємств, будівель, споруд.

Основна проблема такої безпеки-приведення існуючих пожежонебезпечних об'єктів в стан, що виключає можливість загорянь на об'єкті.

Посадова особа підприємства, яке несе відповідальність за протипожежну безпеку приміщення (будівлі, споруди), в обов'язковому порядку зобов'язана забезпечити тотальну перевірку місця, де проводяться вогневі або інші пожежонебезпечні тимчасові роботи, протягом 4–5 годин після їх закінчення.

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата						Арк
					ТС 20320149					47

## ВИСНОВОК

У цій дипломній роботі було розглянуто очищення відхідних газів теплоенергетики. Було розглянуто тверде паливо яке використовується на ТЕС. Також було наведено шкідливі речовини які потрапляють у повітря. Були наведені технології спалювання твердого палива, а саме: камерні топки, тапки с нерухомими шаром, топки з циркулюючим шаром, топки з киплячим шаром. Розглядаючи технології спалювання було наведено переваги та недоліки топок. Для очистки відхідних газів було обрано метод з використанням вапняного молока у результаті чого ми отримуємо не тільки великий % очистки відхідного газу а і гіпсове в'язуче.

Інв. Неподрл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата						Арк 48
					ТС 20320149					
Вил	Арк	№ докум.	Підп.	Дат						

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів” НПАОП 40.1-1.21-98. Посилання: [[https://dnaop.com/html/2029/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F\\_40.1-1.21-98](https://dnaop.com/html/2029/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_40.1-1.21-98)]

2 Правила експлуатації електрозахисних засобів” НПАОП 40.1-1.07-01 (колишній ДНАОП 1.1.10-1.07-01). Посилання: <https://uis.zp.ua/wp-content/uploads/2018/12/NPAOP-40.1-1.07-01-Pravila-ekspluatatsiyi-elektrozahisnih-zasobiv.pdf>

3 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99ДБН.В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»

4 Загальні викиди забруднюючих речовин і парникових газів господарювання, які мають великі спалювальні установки. Державна служба

5 Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку : XVIII Міжнародна науково-практична конференція : Посилання [[https://drive.google.com/file/d/13xQlpQ0ZwARNlv0HiUNyvIe1H9\\_-OWDQ/view](https://drive.google.com/file/d/13xQlpQ0ZwARNlv0HiUNyvIe1H9_-OWDQ/view)].

6 Батальцев Є. В. Моделювання техногенного впливу на навколишнє природне середовище об’єктами теплоенергетики : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Сумський державний університет. Суми, 2021. 168 с.Посилання: [<https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/83581>]

7 CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion: database documentation / International energy agency. 2020. Посилання [[https://iea.blob.core.windows.net/assets/474cf91a-636b-4fde-b416-56064e0c7042/WorldCO2\\_Documentation.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/474cf91a-636b-4fde-b416-56064e0c7042/WorldCO2_Documentation.pdf)]

8 Воронов Г. К. Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах: конспект лекцій / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 118 с. Посилання [<https://eprints.kname.edu.ua/55731/1/2020%20%D0%BF%D0%B5%D1%87.%2052%D0%9B.pdf>]

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149

9 Сігал О. І., Плашихін С. В., Бикоріз Є. Й., Ніжник Н. А. Зниження рівня викидів забруднюючих речовин при спалюванні твердого палива та ТПВ. *Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики* : сб. трудов / Інститут промислової екології. Київ : ИПЦ АЛКОН НАН України, 2020. С. 126-130.

Посилання: [http://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/12/sbornik\_2020.pdf#page=126]

10 Матвеев Ю. Б., Гелетуха Г. Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні: аналітична записка БАУ № 22 / Біоенергетична асоціація України. 2019. 48 с. Посилання [https://saf.org.ua/wp-content/uploads/2019/04/position-paper-uabio-22-ua.pdf]

11 Вольчин І. А., Гапонич Л. С., Згоран І. П. Вибір технології десульфуризації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій. *Наукові праці НУХТ*. 2018. том 24, № 4. С. 154-168. Посилання: [https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-4-18]

12 Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла: монографія / М. М. Табаченко, В. І. Самуся, Р. О. Посилання [http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/3333]

13 Гічов Ю.О. Вторинні енергоресурси промислових підприємств: Ч.І: конспектлекцій. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. 56 с. Посилання:[https://nmetau.edu.ua/file/17.\_gichov\_yu.o.\_vtorinni\_energoresursipromislivih\_pidpriemstv.\_chastina\_i.pdf]

14 Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Є. Т. Базеєв, Б. Д. Білека, Є. П.Васильєв та ін.; наук. ред.: В. М. Клименко, Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал. Київ,2013. 399 с. Посилання [http://energetika.in.ua/ua/books/book-3]

15 Герасимов Г. Г. Енергоощадність в теплоенергетиці: навч. посіб. Рівне: Червінко А.В., 2014. 382 с. Посилання: [https://ep3.nuwm.edu.ua/4736/1/V52.pdf]

16 Кузнєцов С. І. Комплексне очищення газових викидів теплоенергетичних підприємств від пилу, двооксиду сульфуру і монооксиду

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подл.

Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 20320149

Арк  
50



карбону: автореф. дис. ... канд. хім. наук: 21.06.01 / Нац. техн. ун-т Укр. &quot; Київський політехнічний ін-т&quot; Київ, 2015. 24 с.

17 Кошлак Г. В. Розвиток наукових основ утилізації відходів теплових електричних станцій для зменшення техногенного навантаження на довкілля: дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.01, 05.14.06 / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2016. 332 с. Посилання: [<http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/6924>].

18 Вовчак В., Тесленко О., Самченко О., Сушкова Д. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України: керівництво з відбору проектних технологій для житлово-комунального господарства України / за ред. С. Єрмілова. Київ: «Поліграф плюс», 2016. 134 с. Посилання: [[https://saee.gov.ua/sites/default/files/Handbook\\_PT.pdf](https://saee.gov.ua/sites/default/files/Handbook_PT.pdf)]

Інв.Неподл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 20320149