Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
( назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри )

# Кваліфікаційна робота

на тему *«Дослідження викидів оксидів азоту в атмосферне повітря від котлоагрегатів теплових електростанцій та розробка заходів щодо їх зменшення»*

Виконав: студент ___2__курсу, групи *8.183З-з*_____

спеціальності
*183 Технології захисту навколишнього середовища*
освітньої програми
*Технології захисту навколишнього середовища*_____

спеціалізації
_____
(шифр і назва)

___*Л.Е. Дубова*_____
_
Керівник *доцент, к.ф.-м. н. Вагін А.В.*_____

Рецензент *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.В.*_____
(

Запоріжжя
2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**
**ім Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти _____*другий магістерський рівень*_____
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність ___*183 Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма ___*Технології захисту навколишнього середовища*
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри _____*МТЕТБ*_____
_____ *Ю.О. Бєлоконь*__

«____» _____ 2024 року

# З А В Д А Н Н Я
## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Дубова Лейла Ельдарівна*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *«Дослідження викидів оксидів азоту в атмосферне повітря від котлоагрегатів теплових електростанцій та розробка заходів щодо їх зменшення»*_____

керівник роботи_____*Вагін Андрій Вікторович*_____*к.ф.-м.н., доцент*____
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"__"*_____ 2024 року *№* _____

2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи *розробити заходи щодо зменьшення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря від котлоагрегатів ТЕЦ*_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, характеристика джерел викидів оксидів азоту в атмосферу та їх вплив на довкілля та здоров'я людини, характеристика ТЕЦ як джерела забруднення атмосфери, заходи щодо скорочення викидів оксидів азоту в атмосферу, економічна ефективність здійснення природоохоронних заходів, охорона праці та техногенна безпека, висновки, перелік джерел посилань.*_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*презентаційний матеріал на 14 слайдах (на 14 сторінках)*_____

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання прийняв |
|---|---|---|
| *Розділ 1* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 2* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 3* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 4* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 5* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Нормоконтроль* | *Вагін А.В., доцент* | |

7. Дата видачі завдання_____

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1* | *Вступ* | | |
| *2* | *Розділ 1* | | |
| *3* | *Розділ 2* | | |
| *4* | *Розділ 3* | | |
| *5* | *Розділ 4* | | |
| *6* | *Розділ 5* | | |
| *7* | *Презентація* | | |

**Студент** _____ *Лейла ДУБОВА*

**Керівник роботи** _____ *Андрій ВАГІН*

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

# Реферат

Кваліфікаційна робота: 72 стор., 11 табл., 3 рис., 19 джерел.

ВИКИДИ, ОКСИДИ АЗОТУ, АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ, ПАЛИВО, КОТЛОАГРЕГАТ, ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ, НОРМАТИВИ, ЗАХОДИ.

**Об'єкт дослідження** – забруднення атмосферного повітря викидами оксидів азоту ($NO_x$) від котлоагрегатів.

**Мета кваліфікаційної роботи** – розробити заходи щодо зменьшення викидів оксидів азоту в атмосферне повітря від котлоагрегатів ТЕЦ.

У кваліфікаційній роботі визначено вплив вмісту оксидів азоту в атмосфері на навколишнє середовище та здоров'я людини; виявлено джерела надходження оксидів азоту в атмосферу; ознайомлено із методами дослідження викидів забруднюючих речовин в атмосферу; вивчено нормування викидів оксидів азоту; проведено вимірювання фактичної концентрації оксидів азоту у викидах від котлоагрегатів ТЕЦ; проведено аналіз відповідності фактичних викидів оксидів азоту в атмосферне повітря до встановлених нормативів; досліджено заходи для зниження викидів оксидів азоту в атмосферне повітря та визначено економічну ефективність їх проведення. Для зменшення викидів оксидів азоту від котлоагрегатів проведено дослідження викидів $NO_x$ при різних умовах згорання природного газу. Визначено, що на процес утворення даних оксидів найбільший вплив здійснює регулювання значень коефіцієнту надлишку повітря та температури. У ході експериментальних досліджень визначено оптимальні значення коефіцієнту надлишку повітря та температури. Впровадження заходів регулювання процесу спалювання природного газу дозволило досягти нормативних значень концентрації оксидів азоту у викидах. Фактично викиди $NO_x$ при цьому були знижені на 25%.

# ЗМІСТ

ВСТУП . . . . . 7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В АТМОСФЕРУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ 9
1.1 Вплив вмісту оксидів азоту в атмосфері на навколишнє середовище та здоров'я людини . . . . . 9
1.2 Джерела надходження оксидів азоту в атмосферу . . . 13
1.3 Методи дослідження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря . . . . . 15
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЦ ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ . . . . . 24
2.1 Характеристика технологічного процесу . . . . . 24
2.2 Характеристика технологічного устаткування – котлоагрегатів . 26
2.3 Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря . . . . . 28
2.4 Параметри викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря. Характеристика газоочисного устаткування . . . . . 33
2.5 Нормування викидів оксидів азоту від котлоагрегатів, що працюють на газоподібному паливі . . . . . 35
2.6 Аналіз відповідності фактичних викидів оксидів азоту в атмосферне повітря до встановлених нормативів на викиди . . . . 41
3 ЗАХОДИ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В АТМОСФЕРУ . . . . . 43
3.1 Механізм утворення оксидів азоту при спалюванні палива . . 43
3.2 Способи очистки газів від оксидів азоту . . . . . 45
3.3 Методи зниження викидів оксидів азоту від котлоагрегатів . . 48
3.4 Вибір методу для зниження викидів оксидів азоту . . . 50
3.5 Дослідження викидів оксидів азоту при різних умовах згорання природного газу . . . . . 52

3.6 Розрахунок приземних концентрацій забруднюючих речовин від ТЕЦ 55
4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗДІЙСНЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ . . . . . 59
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА . . . . 65
ВИСНОВКИ . . . . . 69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ . . . . . 71

# ВСТУП

Ріст енергетичних потужностей у світі за останні півсторіччя відбувається в основному за рахунок теплових електростанцій (ТЕС), що працюють на мінеральній сировині.

На теплових електростанціях виробляється близько 76% електроенергії, що використовується на нашій планеті. Це обумовлено наявністю органічного палива майже у всіх районах Землі; можливістю його транспортування з місця видобування на електростанцію, що розташовується біля споживачів енергії; технічним прогресом на теплових електростанціях, що забезпечує спорудження ТЕС великої потужності; можливістю використання тепла відпрацьованого робочого тіла, і відпуску споживачам, крім електричної, також і теплової енергії (з парою або гарячою водою) [1].

У енергетичному балансі України ТЕС теплоелектроцентралі (ТЕЦ) є основним джерелом електричної та теплової енергії.

Особливістю ТЕЦ є те, що відпрацьований у турбіні пар або гаряча вода потім використовуються для опалення і гарячого водопостачання промислової і комунальної сфери міста.

Централізоване теплопостачання, що здійснюється з використанням тепла пари, частково відпрацьованої в проточній частині турбіни, забезпечує значну економію палива, покращує якість теплопостачання, зменшує забрудненість навколишнього середовища.

ТЕЦ будуються переважно у великих містах, оскільки ефективна передача пари або гарячої води через високі теплові втрати в трубах можлива на відстані не більш 20-25 км. Крім того, щоб зменшити втрати тепла, ТЕЦ необхідно доповнювати невеликими підстанціями, що повинні розміщатися поблизу від споживача. ТЕС та ТЕЦ, їх устаткування постійно набувають певного розвитку (реконструюються), стають дедалі потужними й складними [2].

При всіх зазначених недоліках, ТЕЦ являють собою установки із комбінованого виробництва електроенергії і тепла, у зв'язку з чим сумарний коефіцієнт корисного використання палива підвищується до 70-76% проти типових значень для ТЕС 35-40% [3].

Основними забруднюючими речовинами атмосфери при спалюванні природного газу на ТЕЦ є оксиди азоту, вуглецю, а при використанні у топках у якості палива вугілля та мазуту – іще і сполуки сірки та деяких важких металів. Оксиди азоту ($NO_x$) визначають на 40-60% токсичність продуктів згорання вугілля та мазуту і на 95-98 % - природного газу [4].

Актуальність даної кваліфікаційної роботи полягає у необхідності зменшення викидів оксидів азоту від котлоагрегатів, так як вони становлять небезпеку для навколишнього середовища та здоров’я людини.

Метою кваліфікаційної роботи було надати екологічну оцінку забруднення атмосферного повітря оксидами азоту від котлоагрегатів ТЕЦ, виконати розрахунок оксидів азоту в приземному шарі атмосфери; розробити заходи щодо зменшення цих викидів у атмосферне повітря.

До задач досліджень входило визначення впливу вмісту оксидів азоту в атмосфері на навколишнє середовище та здоров’я людини; виявлення джерел надходження оксидів азоту в атмосферу; ознайомлення із методами дослідження викидів забруднюючих речовин в атмосферу; вивчення нормування викидів оксидів азоту; вимірювання фактичних концентрацій оксидів азоту у викидах від котлоагрегатів; аналіз відповідності фактичних викидів оксидів азоту в атмосферне повітря до встановлених нормативів; дослідження заходів для зниження викидів оксидів азоту в атмосферне повітря та визначення економічної ефективності їх проведення.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДЖЕРЕЛ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В АТМОСФЕРУ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ТА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

## 1.1 Вплив вмісту оксидів азоту в атмосфері на навколишнє середовище та здоров'я людини

Питання про вплив людини на якість атмосферного повітря перебуває в центрі уваги фахівців та екологів усього світу уже друге сторіччя. Адже найбільші глобальні проблеми сучасності – «парниковий ефект», руйнування озонового шару, випадання «кислотних дощів» – пов'язані із антропогенним забрудненням атмосфери. Довго основним «винуватцем» зміни клімату на планеті вважали викиди оксидів вуглецю. Проте останнім часом більшість вчених у області екології складнішою вважає проблему викидів оксидів азоту у навколишнє середовище. Більш того, дана проблема є важливішою і масштабнішою, адже в ході кругообігу в природі азот, крім інертної форми, молекули $N_2$, може переходити у відновлену форму і реагувати з іншими компонентами атмосфери [5].

Головними і найпоширенішими оксидами азоту в атмосфері є монооксид азоту (NO) і діоксид азоту ($NO_2$), закис азоту ($N_2O$) – відомий як парниковий газ, інші - $N_2O_3$, $N_2O_4$, $N_2O_5$ і пари $HNO_3$, істотно менш стійкі і швидко переходять в інші форми сполук азоту.

Монооксид азоту - прозорий безбарвний газ, що перетворюється на рідину при температурі -157,7 °С. Він малоактивний, погано розчинний у воді.

На відміну від NO, діоксид азоту – більш активний у хімічному відношенні газ червоно-бурого кольору з ядушливим і різким дратівним запахом.

У своїй інертній формі – у вигляді молекули $N_2$ – азот складає приблизно 78% земної атмосфери. Однак викид кожної зайвої молекули

активної азотистої сполуки у формі газів – оксидів, аміаку, або розчинів азотумісних солей – призводить до каскаду подій у навколишньому середовищі, кожне з яких позначається на балансі різних екосистем і здоров'ї людей [6].

Виділяють наступні проблеми із азотом:

1) потрапивши в атмосферу у формі закису азоту (відомого як «звеселяючого газу» $N_2O$) азот бере участь у прямій реакції руйнування озонового шару Землі;

2) $N_2O$ відомий як парниковий газ;

3) оксиди азоту – одні із основних пускових речовин фотохімічного смогу - повторного забруднення повітря, яке виникає внаслідок розкладання забруднюючих речовин сонячними променями, особливо ультрафіолетовими. До складу основних компонентів смогу входять озон, оксид азоту і сірки, численні органічні сполуки перекисної природи, які в сукупності називаються фотооксидантами. Внаслідок фотохімічних реакцій, в які залучаються сірчаний ангідрид, оксид азоту і інші речовини, утворюються тонкодисперсні аерозолі, що формують блакитний серпанок смогу;

4) в атмосфері монооксид азоту поступово перетворюється на діоксид шляхом взаємодії з озоном і гідроперекисними радикалами. Таким чином, діоксиди азоту накопичуються в нижніх шарах атмосфери. І потім, зв’язуючись із парами води, утворюють азотну кислоту, що разом із опадами випадає на Землю у вигляді кислотних дощів (pH<5,6) [5];

5) саме кислотні дощі вважають основною причиною сильного закислення озер і ставків, що приводить до загибелі риб і багатьох водних рослин. Доведено, що в сотнях озер Скандинавії з цієї причини пропала риба. Крім того, «кисла вода», сприяє кращій розчинності в ній таких небезпечних металів, як алюміній, кадмій, ртуть, свинець із ґрунтів і донних відкладень, а це веде до хвороб людей, що п'ють цю воду. Рослини на суходолі також страждають від кислотних дощів, хоча ця проблема менш вивчена;

6) діоксид азоту сильно подразнює слизисті оболонки дихальних шляхів. Вдихання отруйних парів $NO_2$ може призвести до серйозного отруєння. Він викликає сенсорні, функціональні і патологічні ефекти.

До сенсорних ефектів можна віднести нюхові і зорові реакції організму.

Функціональним ефектом є підвищений опір дихальних шляхів. Люди із хронічними захворюваннями легень відчувають ускладнення дихання вже при концентрації 0,038 мг/м$^3$.

Патологічні ефекти проявляються в тому, що впливом $NO_2$ людини стають більш сприятливими до дії патогенів, що викликають хвороби дихальних шляхів. У людей, підвержених впливові високих концентрацій діоксиду азоту, частіше спостерігаються катар верхніх дихальних шляхів, бронхіти, круп і запалення легень.

Крім того, $NO_2$ сам по собі може стати причиною захворювань дихальних шляхів. Потрапляючи в організм людини, $NO_2$ при контакті з вологою утворює азотисту й азотну кислоти, що роз'їдають стінки альвеол легень. При цьому стінки альвеол і кровоносних капілярів стають настільки проникними, що пропускають сироватку крові в порожнину легень. У цій рідині розчиняється вдихуване повітря, утворюючи піну, що перешкоджає подальшому газообміну. Виникає набряк легень, що найчастіше призводить до летального результату.

Тривалий вплив оксидів азоту викликає розширення клітин у корінцях бронхів (тонких розгалуженнях повітряних шляхів альвеол), погіршення опору легень до бактерій, а також розширення альвеол.

У районах з високим вмістом у атмосфері діоксиду азоту спостерігається підвищена смертність від серцевих і ракових захворювань, так як оксиди азоту можуть бути причиною появи деяких пухлин [7].

Проте у деяких випадках із $NO_x$ і залізовмісних ферментів усередині організму можуть синтезуватися корисні для нього компоненти. Фахівці вважають, що людський організм, так як і організм тварин, не може існувати

без наявності у ньому гомеопатичних доз $NO_x$ ($\approx 10^{-6}$ %), який, як установлено, є біологічним медитатором і хімічним переносником.

Монооксид азоту запускає хімічні і біологічні процеси; доведено, що без NO неможливим було б життя високорозвинених істот. Адже наявність NO забезпечує скорочення м'язів, роботу шлунку, перистатику кишечника; регулює роботу судинної системи – відповідає за розширення судин; запобігає утворенню тромбів. Більше того, його нестача призводить до гіпертонії, атеросклерозу; а надлишок – до інсульту.

Організм сам виробляє необхідну для його життєдіяльності кількість монооксиду азоту – він утворюється у епітелії кровоносних судин із амінокислоти аргіна і цитруліна під дією ферменту – синтетази оксиду азоту. До того ж, NO синтезуються із кисню і азоту повітря бактерії, що живуть у бронхах.

Але при ненормальному синтезі NO призводить до таких захворювань, як діабет та імпотенція [4].

Рослини більш стійкі (у порівнянні з людиною) до впливу чистого діоксиду азоту. Це пояснюється особливостями засвоєння $NO_2$, що відновлюється в хлоропластах і в якості $NH_2$-групи входить до складу амінокислот. При концентрації 0,17 - 0,18 мг/м$^3$ оксиди азоту використовуються рослинами як добрива. Ця здатність до метаболізування $NO_x$ людині не властива.

Найбільше впливу оксиду підвержені салатні культури, боби, буряк, злаки, виноград і декоративні насадження.

Негативний біологічний вплив $NO_x$ на рослини виявляється в знебарвленні листя, зів'янені квіток, припиненні плодоносіння і росту. Азотиста кислота, що утворюється при контакті оксиду із вологою у клітинах, викликає мутагенні ефекти.

Порушення росту рослин при вплив $NO_2$ спостерігається при концентраціях 0,35 мг/м$^3$ і вище. Руйнівна дія $NO_2$ на рослини підсилюється в присутності діоксиду сірки [8].

## 1.2 Джерела надходження оксидів азоту в атмосферу

Джерела надходження оксидів азоту в атмосферу можуть бути як природного, так і антропогенного походження.

Природні надходження в атмосферу оксидів азоту:

1) ґрунтова емісія оксидів азоту. У процесі діяльності денітрифікуючих бактерій, які живуть у ґрунті, з нітратів вивільняються оксиди азоту. Згідно сучасних даних, щорічно в усьому світі утворюється 8 млн. т оксидів азоту.

2) грозові розряди. Під час електричних розрядів у атмосфері через дуже високу температуру та перехід у плазмовий стан молекулярний азот і кисень повітря з'єднуються в оксиди азоту. У стані плазми атоми і молекули іонізуються і легко вступають у хімічну реакцію. Загальна кількість оксидів азоту, що утворюється таким способом, становить 8 млн. т за рік.

3) горіння біомаси. Це джерело утворення $NO_x$ може бути як природним, так і штучним. Найбільша кількість біомаси згорає в результаті випалювання лісу (з метою утворення виробничих площ) та пожеж у саванні. При горінні біомаси в повітря надходить 12 млн. т оксидів азоту за рік.

Інші джерела природних викидів оксидів азоту менш значні і мало піддаються оцінці. До них відносяться: окиснення аміаку в атмосфері, розклад закису азоту, що міститься в стратосфері, внаслідок чого відбувається зворотне надходження оксидів у тропосферу, фотолітичні та біологічні процеси в океанах. Ці природні джерела спільно продукують за рік 2-12 млн. т оксидів азоту [9].

Оксиди азоту техногенного походження утворюються при згоранні палива. Процес утворення $NO_x$ із кисню та азоту повітря, що подаються у топку, починається при температурі 300-400 $^0$C. Його кількість швидко підвищується із ростом температури.

При горінні палива утворюється переважно монооксид азоту – на 93-95 %, інше – $NO_2$, $N_2O$. Однак у повітрі значна частина NO перетворюється на діоксид – набагато більш небезпечну сполуку [10].

Сумарна концентрація оксидів азоту залежить від виду застосовуваного палива. При використанні природного газу концентрація $NO_x$ у продуктах згорання складає 0,2-0,8 г/м$^3$, вугілля – 0,6-1,4 г/м$^3$, мазуту – 0,5-1,3 г/м$^3$.

При високотемпературному згоранні органічного природного палива відбуваються реакції двох типів: між киснем повітря й азотом, що міститься в паливі (у вугіллі вміст азоту складає в середньому близько 1%, у нафті і газі - 0,2-0,3%), і між киснем повітря й азотом, що також міститься в повітрі.

Основними стаціонарними джерелами викидів $NO_x$ є підприємства теплоенергетики, хімічні підприємства із виробництва азотної кислоти чи вибухових речовин, металургійні заводи, де використовуються ванни травлення, сталеплавильні цехи, машинобудівні підприємства.

Техногенні світові викиди оксидів азоту в атмосферу складають за рік близько 70 млн. т, приблизно 30% з них приходиться на частку США, 25% - на частку країн Західної Європи [11].

Головними пересувними джерелами викидів техногенних оксидів азоту в атмосферу є автотранспорт і інші види транспорту (близько 40%). Так, легковий автомобіль, що рухається із постійною швидкістю, при спалюванні 1 кг бензину виділяє у атмосферу близько 55 г оксидів азоту, а літак викидає у повітря 40 г $NO_x$ із розрахунку на 1 кг використаного палива [12].

У середньому питомі викиди $NO_x$ для легкових автомобілів становлять 1,1 г на 1 км шляху [12].

Додатковим джерелом викидів техногенних оксидів азоту є сільське господарство, що інтенсивно використовує хімічні добрива, у першу чергу ті, що містять сполуки азоту. Внесок цієї галузі світового господарства в забруднення атмосфери оксидами азоту врахувати важко. За деяким даними,

надходження оксидів азоту в атмосферу із сільськогосподарських полів порівняно із промисловими викидами.

Оксиди азоту зберігаються у атмосфері протягом 4-5 діб. Серед $NO_x$, що присутні в атмосфері, влітку переважають NO, а взимку – $NO_2$ [11].

Повітряні маси переносять дані речовини на значні відстані – відбувається трансграничне забруднення навколишнього середовища. Наприклад, викиди підприємств Японії досягають західного узбережжя США; до 80% забруднень цими оксидами атмосфери Швеції та Норвегії пов'язано із викидами паливоспалюючих установок Англії; а у тропічних лісах Венесуели випадають кислотні дощі, що переносяться північними вітрами [12].

## 1.3 Методи дослідження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря

При проведенні інструментальних замірів джерел викидів забруднюючих речовин у атмосферу використовуються наступні засоби вимірювання: пневмометрична трубка; мікроманометр; V – подібний манометр; термометр лабораторний 0 - 350 $^0$C; барометр-анероїд з ціною поділок 1 мм.рт.ст.; ареометр загального призначення; спирт етиловий; трубки гумові, внутрішній діаметр 5 мм.

Проведення вимірювання починається із вибору місця вимірювання швидкості газу в газоходах. При цьому керуються наступними правилами:

- вимірювання проводяться в сталому потоці газу;
- місце для вимірювання обирають на прямолінійній ділянці газоходу;
- ділянка повинна мати довжину не менш 5-6 діаметрів газоходу до місця вимірювання й 3-4 діаметра після місця вимірювання;
- не слід вибирати місце вимірювання поблизу й, особливо, після засувок, дроселів, дифузорів, колін і вентиляторів.

Щільність спирту в мікроманометрі перевіряється ареометром. Для знаходження коефіцієнта розподілу швидкостей по перетину газохід розбивають на ряд рівних за площею ділянок.

Пневмометричну трубку встановлюють у газохід. Кінці пневмометричних трубок, призначених для вимірювання повного напору газу, повинні бути спрямовані назустріч газовому потоку.

Пневмометричні трубки з'єднують із мікроманометром гумовими шлангами. Шланг повного тиску приєднують до штуцера мікроманометра зі знаком " + ", а шланги статичного тиску до штуцера зі знаком " - ".

Для проведення вимірів устаткування встановлюється й з'єднується в єдину схему. Одну пневмометричну трубку вставляють у газохід на відстані 3-10 см від центра газоходу, щоб уникнути зіткнення пневмометричних трубок при роботі. Іншу пневмометричну трубку переміщують по діаметру газоходу спочатку від ближньої стінки до дальньої, а потім навпаки, трубку зупиняють в кожній точці вимірювання. Вимірювання проводиться одночасно. Показання мікроманометра записується в журнал, вимірювання за другим діаметром проводять аналогічно. Результати паралельних замірів у кожній точці вимірювання не повинні розрізнятися більш ніж на 15%.

При проведенні вимірювання одночасно визначають температуру газів і розрідження в газоході, фіксують атмосферний тиск. Результати усіх замірів записуються в журнал. Вимірювання проводять протягом 20 хвилин через 3-5 хвилин і результати усереднюють.

Розрахунок швидкості газу визначається за формулою:

$$W = \sqrt{\frac{2 \times g \times P_Д}{У}}, \qquad (1.1)$$

де W - швидкість газу в газоході, м/с;

$P_д$- динамічний напір газу в даній точці, мм ртутного стовпчика (мм.рт.ст.);

g - прискорення вільного падіння (g = 9,81 м/с$^2$);

У - щільність газу при робочих умовах, кг/м$^3$.

Динамічний напір визначається за формулою:

$$Р_д = В \times Y \times К \times К', \quad (1.2)$$

де В – відлік за шкалою мікроманометра, мм;

Y - коефіцієнт, що залежить від кута нахилу вимірювальної трубки мікроманометра;

К - коефіцієнт пневмометричної трубки;

К'- коефіцієнт, що враховує виправлення на фактичну щільність спирту:

$$К' = \sqrt{\frac{У_С}{У_ж}}, \quad (1.3)$$

де $Y_с$ - щільність спирту для мікроманометра;

$Y_ж$ - щільність спирту в мікроманометрі.

Щільність газу при робочих умовах розраховується за формулою:

$$Y_t = 0{,}359 \times Y_o \times \frac{P_p + P_a}{273 + t}, \quad (1.4)$$

де $Y_o$ - щільність газу при нормальних умовах (t= 0°С, Р=760 мм.рт.ст.), кг/м$^3$;

$Р_р$ - надлишковий тиск (розрідження) газу в газоході, мм.рт.ст.;

t - температура газу в газоході, $^0$С;

$Р_а$ - атмосферний тиск, мм.рт.ст.

Щільність газу при нормальних умовах розраховували за формулою:

$$Y_{\hat{i}} = \frac{1}{100} \times \left( \frac{am_1}{22,4} + \frac{bm_2}{22,4} + \frac{cm_3}{22,4} + ... + \frac{km_n}{22,4} \right), \quad (1.5)$$

де $m_1, m_2,..,m_n$ - значення молекулярної маси компонентів газової суміші;

a, b, k - концентрація компонентів газової суміші, %;

22,4 - мольний об'єм при нормальних умовах, $м^3$/кмоль.

Точка замірів динамічного напору визначається за формулою:

$$D_x = D\sqrt{\frac{2x-1}{2}}, \quad (1.6)$$

де $D_x$ - діаметр газоходу, на якому лежать точки замірів, мм;

x - порядковий номер кільця.

Кількість газу, що проходить у газоході за одиницю часу, розраховується за середньою швидкістю газу в газоході й площею його перетину за формулою:

$$V = 3600 \times W_{ср} \times F, \quad (1.7)$$

де V - об'ємна витрата газу в робочих умовах, $м^3$/с;

$W_{ср}$ - середня швидкість газу в газоході, м/с;

F - площа перетину газоходу, $м^2$.

При дотриманні всіх правил погрішність вимірювання становить ±5%. Максимальна помилка при вимірюванні швидкості й об'єму газу в газоході не повинна перевищувати 10% [10].

Газоаналізатор «TESTO-350» – це прилад для вимірювання концентрації димових газів: $O_2$, CO, $CO_2$, а також тиску, відносної вологості

та швидкості потоку газу, і – на замовлення – NO, $NO_2$, $SO_2$.

«TESTO-350» застосовується для контролю газових викидів і для налагоджувальних робіт на великих промислових установках спалювання палива потужністю більше 500 кВт.

Вимірювальна система складається із зонду, конденсатоуловлювача, шлангів та шнутцерів.

Основною перевагою цього аналізатора є його конструкція із уніфікованих блоків, що дає можливість вимірювачу вільно обирати конфігурацію вимірювальної системи відповідно до вимірювальних завдань на практиці. Прилад має малі габарити та характеризується високою швидкістю дії.

При тривалих вимірюваннях до «TESTO-350» підключається блок пробопідготовки Testo-339, яких очищує газову пробу від пилу, охолоджує і осушує її. Таким чином, «TESTO-350» забезпечує точне вимірювання $NO_2$ і $SO_2$. Точність вимірювання складає ±0,5 %.

Прилад дає можливість проводити вимірювання у великих діапазонах значень концентрацій димових газів для контролю промислових процесів, а також забезпечує високу точність вимірювань граничних значень газових викидів (табл. 1.1).

Газоаналізатор «TESTO-350» має вбудовану пам'ять до 500 вимірювань. Можлива передача даних на принтер через інфрачервоний промінь, а також безпосередньо на комп’ютер для подальшої професійної обробки.

Перед аналізом димових газів ($^0C$, $O_2$, $CO_2$, CO, $NO_2$, $SO_2$) зонд повинен знаходитися на повітрі. Прилад переходить у режим самоконтролю (в фазу ініціації), тривалість якого 60 сек. При цьому вимірювальні ячейки продуваються свіжим повітрям.

Після завершення самоградуювання, прилад автоматично переходить у підменю «Вибір палива» для введення необхідного типу палива (мазут, природний газ, зжатий газ, дрова/кокс).

Таблиця 1.1 – Діапазон та похибка вимірювань основних характеристик газових викидів газоаналізатором «Testo-350»

| № | Показник | Діапазон вимірювань | Похибка |
|---|---|---|---|
| 1 | Температура | -40…+1000 $^0$C (до +1200 $^0$C) | ±0,5 $^0$C (0…+100 $^0$C) ±0,5 % (більше +100 $^0$C) |
| 2 | $O_2$ | 0…21 % | ±0,2 % |
| 3 | CO | 0…10000 млн$^{-1}$ | ±20 ppm (до 400 млн$^{-1}$) ±5% (до 2000 млн$^{-1}$) ±10% (до 10000 млн$^{-1}$) |
| 4 | NO | 0…30000 ppm | ±5 ppm (до 100 ppm) ±5% (до 2000 ppm) ±10% (до 30000 ppm) |
| 5 | $NO_2$ | 0…500 млн$^{-1}$ | ±10 ppm (до 100 млн$^{-1}$) ±5% (більше 100 млн$^{-1}$) |
| 6 | $SO_2$ | 0…5000 млн$^{-1}$ | ±20 ppm (до 400 млн$^{-1}$) ±5% (до 3000 млн$^{-1}$) ±10% (до 30000 млн$^{-1}$) |
| 7 | Різниця тиску | 0…100 гПа | ±0,1 гПа (0…20 гПа) ±0,5% (20…100 гПа) |

Зонд вставляється у газохід і вмикається насос. Необхідно слідкувати, щоб вихід газу на дні аналізатора не був закритий і газ міг без перешкод виходити із приладу. Далі зонд розміщується у центрі газового потоку (центр потоку відповідає максимальній температурі). Відбувається вимірювання параметрів, значення яких виводяться на екран, а потім вносяться у пам'ять.

Після закінчення кожного вимірювання необхідно продувати вимірювальні ячейки свіжим повітрям, увімкнувши насос. Продувати слід до тих пір, доки концентрація $O_2$ не досягне 20 %, а концентрації $CO_2$, CO, $NO_2$, $SO_2$ зменшаться до 20 млн$^{-1}$ і нижче.

Вимірювання тиску можливе лише при вимкненому насосі. Прилад не можна підключати і відключати від блоку живлення через влив зміни напруги на результати вимірювань. Для ліквідації динамічного напору у шлангах слід вичекати 30 сек. Крім того, струснувши зонд, видаляють утворений конденсат.

Зонди диференційного тиску працюють за принципом віднімання меншого тиску від більшого. Діапазон вимірювань – від 0 до 100 гПа.

Вимірювання тиску починається із введення нульової точки, що дорівнює барометричному тиску. При цьому зонд не повинен знаходитися у газоході. Після введення нульової точки заборонено змінювати місце розміщення газоаналізатора. Датчик тиску градується 2-3 секунд, після чого на дисплеї з'являється поточне значення тиску. Далі зонд уставляється у газохід. Після стабілізації вимірювального параметра значення слід записати у пам'ять.

Трубки Прандтля (Піто) використовуються разом із зондами диференціального тиску для вимірювання швидкості та диференційного тиску. Головною перевагою цих датчиків є їх простота. Трубки Прандтля виготовлені із металу, що визначає їх механічну стійкість та довговічність.

Дані датчики придатні для роботи у складних умовах експлуатації, при високій температурі, при дуже забрудненому повітряному потоці і агресивному газовому середовищі. Для екстремальних умов експлуатації трубки Прандтля виготовляються із нержавіючої сталі ($t_{max}$ = 500 $^0$C).

Трубка Прандтля сполучається із датчиком за допомогою двох силіконових шлангів. Датчик вимірює сумарний тиск, який виводиться у від'ємна камеру диференціального зонду тиску. Чистий статичний тиск, що вимірюється через бокові отвори трубки Прандтля, підводиться у додатну камеру зонду тиску.

Результуюча величина повного і статичного тиску є динамічним тиском, що залежить від швидкості потоку. Цей динамічний тиск виводиться на дисплей і використовується для подальших розрахунків.

Додатня величина тиску відповідає надлишковому тиску, а від'ємна - недостатньому (розрідження) відносно до барометричного тиску у момент градування датчика тиску.

Зонд тиску також використовують для вимірювання швидкості потоку. Прилад може одночасно вимірювати і показувати тиск у газоході та

швидкість потоку.

Вимірювання вологості засновано на вимірюванні ємності сенсору залежно від відносної вологості. Відносна вологість характеризується відношенням поточної абсолютної вологості до максимально допустимої граничної вологості при заданій температурі і виражається у процентах.

Залежно від завдання можна вибрати один із зондів: зонд для вимірювання вологості повітря до +70 $^0$C; зонд для вимірювання вологості повітря димових газів до +140 $^0$C при тривалих вимірюваннях.

При вимірюваннях у дуже забрудненому, корозійноактивному чи дуже вологому димовому газі, для захисту ємності датчика необхідно замінити пористий ковпачок із нержавіючої сталі на пористий тефлоновий ковпачок.

Провівши вимірювання експериментально необхідних параметрів, далі здійснюються розрахунки необхідних величин.

Для визначення коефіцієнту корисної дії (ККД) використовується формула:

$$ККД=100-Q\,, \tag{1.8}$$

де Q – втрата тепла із газами, що відходять. Визначається за формулою:

$$Q_2 = \left[ (AT - VT) \times \left( \frac{A_2}{(21 - O_2)} \right) + B \right] - K_k, \tag{1.9}$$

де AT – температура димових газів;

VT – температура навколишнього повітря;

$A_2$, B – коефіцієнти, що залежать від типу палива;

$K_k$ – фактор конденсації;

21 – концентрація кисню в повітрі;

$O_2$ – виміряна концентрація кисню.

Для визначення коефіцієнту надлишку повітря використовують формулу:

$$\alpha = \frac{CO_{2max}}{CO_2}, \qquad (1.10)$$

де $CO_{2max}$ – максимальне значення вмісту діоксиду вуглецю для даного виду палива;

$CO_2$ - розрахункове значення $CO_2$.

Вимірювання концентрації указаних газів відбувається в ppm. Перерахунок величини ppm у мг/м$^3$ проводиться за формулами:

1) для монооксиду вуглецю (CO):

$$CO = \frac{(21 - O_{2ннор})}{(21 - O_2)} \times CO(млн^{-1}) \times 1{,}25, \qquad (1.11)$$

де 21 – концентрація кисню в повітрі;

$O_2$ – виміряна концентрація кисню;

CO (млн$^{-1}$)- - заміряне значення монооксиду вуглецю в (млн$^{-1}$);

2) для оксидів азоту ($NO_x$):

$$NO_x = \frac{(21 - O_{2норм})}{(21 - O_2)} \times [NO(ppm) + NO_2(млн^{-1})] \times 2{,}05, \qquad (1.12)$$

де NO(ppm) – заміряне значення монооксиду азоту в ppm;

$NO_2$ (млн$^{-1}$)- - заміряне значення двооксиду азоту в (млн$^{-1}$);

3) для двооксиду сірки:

$$SO_2 = \frac{(21 - O_{2ннор})}{(21 - O_2)} \times SO_2(млн^{-1}) \times 2{,}93, \qquad (1.13)$$

де $SO_2$ (млн$^{-1}$)- заміряне значення двооксиду сірки в (млн$^{-1}$) [10].

# 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЦ ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

## 2.1 Характеристика технологічного процесу

Технологічний процес основного виробництва полягає у спаленні природного газу для виробництва тепла та електроенергії.

Основним паливом є природний газ; аварійним – мазут.

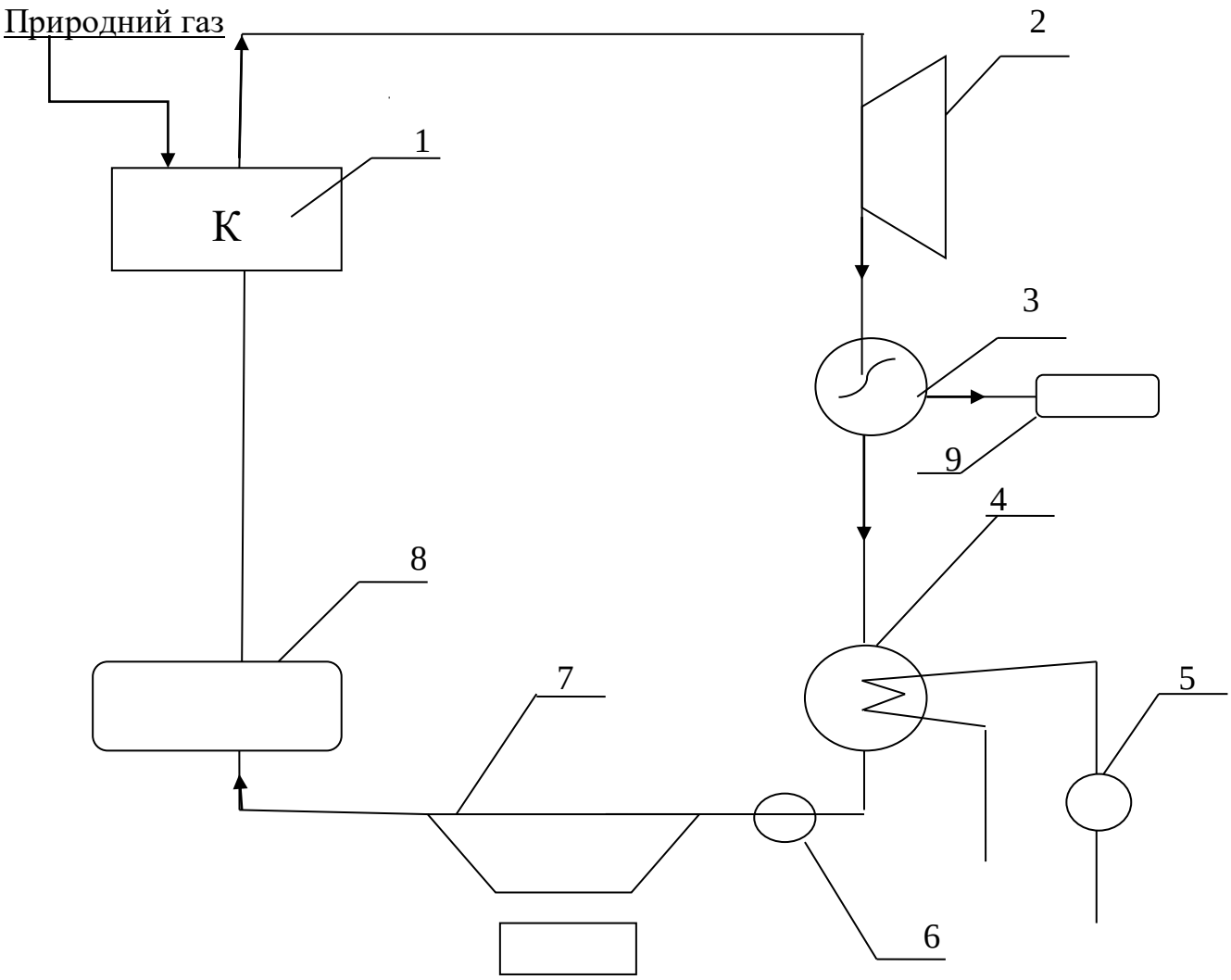
Технологічний процес на ТЕЦ здійснюється в такий спосіб (рис. 2.1): природний газ по газопроводах подається на енергетичні котли, де спалюється в топках котлів, виділяючи при цьому теплову енергію. Дане тепло сприймається поверхнями нагрівання котлоагрегату, по яких циркулює живильна вода.

На турбінах потенційна енергія пари перетворюється у кінетичну, яка, у свою чергу, перетворюється на механічну енергію обертання ротора турбіни. Ротор турбіни за допомогою сполучної муфти з'єднаний із електричним генератором, де виробляється електрична енергія. Дана енергія через трансформаторну підстанцію передається в енергосистему міста й найближчих споживачів, що безпосередньо одержують електроенергію із генераторною напругою 6 кВт.

Відпрацьована пара, що ще зберігає значний потенціал, надходить на конденсатори турбін. Тут вона, конденсуючись, віддає тепло, що залишилося в ній, мережній циркуляційній воді системи централізованого теплопостачання міста, що циркулює по трубних елементах конденсаторів.

Відпрацьована пара, що ще зберігає значний потенціал, надходить на конденсатори турбін. Тут вона, конденсуючись, віддає тепло, що залишилося в ній, мережній циркуляційній воді системи централізованого теплопостачання міста, що циркулює по трубних елементах конденсаторів.

Для конденсації пару у конденсатор подається вода із річки; для подачі цієї води використовується окремий, так званий циркуляційний насос.




1 – котел;
2 – турбіна;
3 – генератор;
4 – конденсатор;
5 – насос циркуляційний;
6 – насос живильний;
7 – живильний бак з водогрійним котлом;
8 – споживачі тепла;
9 – споживачі електроенергії.

Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва електро- та теплової енергії

Конденсована пара конденсованим насосом передається у живильний бак з водогрійними котлами (у тому випадку, коли теплова потужність турбіних установок не забезпечує підтримання необхідної температури мережної води).

Сюди ж надходить і додаткова вода, що поповнює втрати пари та води через різні нещільності. Так як потрапляння різних солей негативно впливає на протікання технологічного процесу за рахунок утворення накипу на стінках труб, ця додаткова вода попередньо проходить очистку, де з неї видаляються розчинені солі.

Нагріта до заданої диспетчером температури, мережна вода надходить у магістральні теплопроводи системи централізованого теплопостачання, і далі до споживачів тепла. Пройшовши споживачів, мережна вода по зворотних мережних трубопроводах повертається на станцію, знову нагрівається й весь цикл повторюється.

Такий режим роботи ТЕЦ найбільш економічний, так як дозволяє одержувати два види енергії й максимально використовувати потенційну енергію пари.

Циркуляція мережної води, як по теплофікаційній установці станції, так і по магістральних мережах системи централізованого теплопостачання здійснюється мережними насосами великої продуктивності.

Заповнення втрат мережної води системи централізованого теплопостачання й втрат пари й конденсату, мають місце в технологічному процесі виробництва хімічно очищеною водою, що виробляється на водопідготовчій установці.

Облік споживаного палива, води, електроенергії здійснюється комерційними приладами обліку, експлуатація й перевірка яких проводиться у відповідності до діючих нормативних документів.

## 2.2 Характеристика технологічного устаткування – котлоагрегатів

Основним теплотехнічним устаткуванням є енергетичні та водогрійні газомазутні котлоагрегати.

Енергетичні газомазутні парові котли барабанні, вертикально-водотрубні з природною циркуляцією. Димові гази продуктів спалювання,

що містять азоту оксиди, вуглецю оксид, метан, вуглецю діоксид видаляються димососами через димові труби в атмосферу.

Газомазутні водогрійні котли – водотрубні, прямоточні із примушеною циркуляцією. Димові гази продуктів спалювання, що містять азоту оксиди, вуглецю оксид, метан, вуглецю діоксид, видаляються в атмосферу природнім шляхом через димові труби.

На ТЕЦ знаходяться в експлуатації 8 енергетичних котлоагрегатів різних параметрів, 5 водогрійних котлів потужністю 100 і 180 Гкал.

У число пристроїв і механізмів, що забезпечують роботу котлів, входять:

- пристрої із підготовки палива (забезпечують подачу палива належної якості і кількості);
- дуттєві вентилятори (подають повітря для горіння);
- димососи (слугують для відведення продуктів горіння через димоходи в атмосферу);
- димососи рециркуляції димових газів (повертають частину димових газів назад в цикл; для регулювання температури перегрітої пари);
- регенеративні повітряпідігрівачі (дозволяють підвищити температуру повітря, що подається в топку, за рахунок відбору тепла від димових газах, що відходять).

Сам котел і весь комплекс перерахованого устаткування складають котельну установку.

У викидах у атмосферу при роботі будь-яких котлоагрегатів, що працюють на природному газі, присутні такі забруднюючі речовини, як азоту оксид, вуглецю оксид та метан.

Водогрійний котел газомазутний котел призначений для покриття піків навантажень, теплофікації. По своїй конструкції, котел прямоточний, баштового типу. На котлі є 2 двосвітні екрани, кожен із 44 труб. Циркуляція мережевої води здійснюється по наступній схемі: вода із вхідного колектора надходить в бокові і двосвітні екрани, далі в конвективну поверхню і звідти в

тильний і фронтові екрани та вихідний колектор котла. Котел обладнаний 20 комбінованими газомазутними пальниками.

## 2.3 Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря

Загальне число діючих джерел викиду забруднюючих речовин в атмосферу - 54, з них 49 - організованих, 5 – неорганізованих. Загальне число забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу – 24. Загальна кількість пилоочисних установок – 4.

Характеристика джерел викидів забруднюючих речовин наводиться по технологічним процесам.

Енергетичні газомазутні парові котли барабанні, вертикально-водотрубні з природною циркуляцією. Димові гази продуктів спалювання, що містять азоту оксиди, вуглецю оксид, метан, вуглецю діоксид видаляються димососами через димові труби в атмосферу. За котлами встановлено по дві вентиляційні системи (джер. №№1÷8).

Газомазутні водогрійні котли – водотрубні, прямоточні із примушеною циркуляцією. Димові гази продуктів спалювання, що містять азоту оксиди, вуглецю оксид, метан, вуглецю діоксид, видаляються в атмосферу природнім шляхом через димові труби. За котлами встановлено по дві вентиляційні системи (джер. №№ 9÷13).

На зварювальній ділянці котлотурбінного цеху зварювальні роботи ведуться методом ручного дугового зварювання із застосуванням електродів. Заліза оксид, марганець та його сполуки, фториди добре і погано розчинні, водень фтористий, азоту діоксид та вуглецю оксид, що утворюються в процесі зварювальних робіт, видаляються в атмосферу через трубу природною тягою (джер.14).

У механічній майстерні котельного цеху знаходиться в експлуатації заточувальний верстат. Абразивно-металевий пил виділяється в атмосферу

через трубу природної тяги (джер. 15).

У турбінному відділі установлено 5 виробничих турбін, 3 із яких потужністю по 24 МВт, інші – 12 МВт та 2 МВт. Турбіни працюють у теплофіксаційному та протитисковому режимах, виробляючи енергію і забезпечуючи подавання пару на бойлери, а також промислові ділянки. Надлишкові тепловиділення, що містять незначну кількість масляного аерозолю, видаляються в атмосферу через 5 витяжних шахт розмірами 1 м×1,5 м, які приведені до одного умовного джерела (джер. 16).

У ремонтній майстерні турбінного відділення експлуатується один заточувальний верстат. При його роботі утворюється пил абразивно-металевий, видалення якого із приміщення у атмосферу відбувається через витяжну трубу (джер. 17).

Мазутне господарство має у своєму розпорядженні 2 мазутосховища об’ємом 400 м$^3$ із витяжними шахтами для видалення парів граничних вуглеводнів. Характеристика сховищ допускає приведення до одного умовного джерела викидів. При зберіганні мазуту в атмосферу виділяються вуглеводні граничні (джер. 18).

Насосна станція перекачки мазуту слугує для його циркуляції та подачі при аварійному режимі на котлоагрегати. Пар граничних вуглеводнів насосної станції видаляється через дверну виїмку (джер. 19).

Для зберігання мазуту також використовуються дві вертикальні ємності об’ємом 2000 м$^3$ кожна. Пари граничних вуглеводнів видаляються із приміщення в атмосферу через витяжні труби. (джер. 20, 21).

Ремонтно-механічна ділянка спеціалізується на виготовленні запчастин, ремонті котлоагрегатів, теплотрас. На ділянці встановлено 2 заточувальних верстати. Запилене повітря, що містить пил абразивно-металевий, із приміщення видаляється в атмосферу вентиляційною установкою (джер. 22).

Зварювальні роботи ведуться методом ручного дугового зварювання із застосуванням електродів. Заліза оксид, марганець та його сполуки, фториди

добре і погано розчинні, водень фтористий, азоту діоксид та вуглецю оксид, що утворюються в процесі зварювальних робіт, видаляються в атмосферу вентиляційною установкою (джер. 23).

На зварювальному посту електроцеху зварювальні роботи ведуться методом ручного дугового зварювання із застосуванням електродів. Заліза оксид, марганець та його сполуки, фториди добре і погано розчинні, водень фтористий, азоту діоксид та вуглецю оксид, що утворюються в процесі зварювальних робіт, видаляються в атмосферу через трубу природною тягою (джер. 24).

Верстатний парк електроцеху оснащений одним заточувальним верстатом. Абразивно-металевий пил виділяється в атмосферу через витяжну трубу (джер. 25).

У електроцеху виконується зарядка акумуляторних батарей:

– батарея №1 слугує для живлення ланцюгу управління, сигналізації, знаходиться у режимі постійної підзарядки. У атмосферу із приміщення вентиляційною установкою видаляються пари кислоти сірчаної (джер. 26);

– батарея №2 живить силові ланцюги соленоїдів, забезпечує аварійне обслуговування, знаходиться у режимі постійної підзарядки; у атмосферу із приміщення вентиляційною установкою видаляються пари кислоти сірчаної (джер. 27);

– у атмосферу із приміщення приготування електроліту осьовим вентилятором видаляється пар кислоти сірчаної (джер. 28);

– батарея №3 слугує для включення масляних вимикачів потужністю 110 кВт, живлення ланцюгів захисту сигналізації. Батарея знаходиться у режимі постійної підзарядки; у атмосферу із приміщення вентиляційною установкою видаляються пари кислоти сірчаної (джер. 29).

У хімічному цеху є хімічна лабораторія, зварювальний пост і склад для зберігання вапна.

У хімічній лабораторії готуються і проводяться аналізи із витяжних шаф. Пари водню хлористого та аміаку від витяжних шаф, розміщених у

приміщенні хімічної лабораторії, видаляться у атмосферу засобом витяжної вентиляції (джер. 30).

На зварювальному посту хімічного цеху зварювальні роботи ведуться методом ручного дугового зварювання із застосуванням електродів. Заліза оксид, марганець та його сполуки, фториди добре і погано розчинні, водень фтористий, азоту діоксид та вуглецю оксид, що утворюються в процесі зварювальних робіт, видаляються в атмосферу через трубу природною тягою (джер.31).

На території хімічного цеху розміщується склад для зберігання вапна. Місце вивантаження вапна із залізничних вагонів обгороджено. Склад вапна є площинним неорганізованим джерелом викидів у атмосферу кальцію оксиду (джер. 34).

Лабораторія металів та зварювання проводить розчинення металевої стружки у сірчаній, азотній, соляній та фосфорній кислотах чи їх суміші залежно від марки сталі, а також марки бабіту. Пари водню хлористого, сірчаної та азотної кислоти видаляються в атмосферу засобом витяжної вентиляції (джер. 32).

У лабораторії також встановлено заточувальний верстат. Запилене повітря, що містить пил абразивно-металевий, видаляється із приміщення витяжною установкою і очищується у циклоні із зворотнім конусом №3 (джер. 33).

У ремонтно-будівельному цеху проводиться деревообробка, для чого використовується наступне обладнання: пилорама, 2 фрезерних, 2 круглопильних, 2 рейсмусових верстати, 1 фугувальний верстат. Система аспірації запиленого повітря передбачає позмінну роботу пилорами і деревообробних станків. Максимальні разові викиди мають місце при роботі круглопильних верстатів. Запилене повітря, що містить пил деревини, надходить через місцеві відсоси деревообробних верстатів на витяжний пиловий вентилятор і, пройшовши очистку у циклоні типу ЦОЛ, викидається в атмосферу (джер. 54).

Цех здійснює прийом та обробку вантажів, забезпечує сировиною і матеріалами підрозділи підприємства. До структури цеху входять: депо стоянки тепловозів, відкрита стоянка спеціального транспорту (спеціальні машини: поливо-мийна, прибиральна, бульдозер, автонавантажник, дорожній каток, трактори); ділянка зберігання МПМ, ремонтний бокс.

У депо стоянки тепловозів знаходиться три тепловози, два із яких у резерві. Вихлопні труби тепловозів при роз'їздах є джерелами викидів у атмосферу вуглецю оксиду, азоту діоксиду, сажі, ангідриду сірчаного, що надходять в атмосферу через площину воріт (джер. 40). У приміщенні депо відстою установлений заточувальний верстат. При його роботі утворюється пил абразивно-металевий, видалення якого із приміщення у атмосферу відбувається через витяжну трубу (джер. 41).

Відкрита стоянка спецмашин слугує для відстоювання і роз'їздів на лінію і є при в'їзді-виїзді джерелом неорганізованого викиду в атмосферу вуглецю окису, азоту двоокису, сажі, ангідриду сірчаного, граничних вуглеводнів, бенз(а)пірену (джер. 42), що містяться у вихлопних газах.

На території паливно-транспортного цеху розміщена закрита стоянка автотранспорту, що має 5 неорганізованих джерел викидів. Вихлопні гази автотранспорту, що містять вуглецю окис, азоту двоокис, сажу, ангідрид сірчаний, граничні вуглеводні, бенз(а)пірену, виділяються при в'їзді-виїзді автотранспорту, видаляються через трубу природною тягою (джер. 35) і ворота (джер. 36-39).

У розчинно-бетонному вузлі (РБВ) є дві ємності для зберігання цементу, куди із автоцементовозу за допомогою пневмотранспорту закачується цемент. Крім того, на території розміщений склад інертних матеріалів.

РБВ є джерелом організованих (силосу зберігання цементу) викидів у атмосферу пилу цементного (джер. 43, 44), і неорганізованих (зберігання і переміщення інертних матеріалів – піску і щебеню) викидів пилу неорганічного, який містить двоокису кремнію більше 70% (джер. 45, 46, 47).

Ділянка зберігання паливо-мастильних матеріалів (ПММ) обладнана ємностями для зберігання бензину, дизпалива, гасу і паливно-роздавальними колонками. Бензин, дизпаливо та гас зберігаються у трьох підземних ємностях об'ємом 24 м$^3$ кожна. Ємності обладнані дихальними клапанами і є джерелами викиду в атмосферу парів бензину (джер. 48), дизпалива у перерахунку на керосин (джер. 49) і керосину (джер. 50).

## 2.4 Параметри викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря. Характеристика газоочисного устаткування

У таблиці 2.1 наведений перелік забруднюючих речовин, що викидають в атмосферу джерелами викидів ТЕЦ, а також коди цих речовин. Для кожної речовини наведені: максимально разові гранично припустимі концентрації (ГДК$_{м.р.}$), середньодобові гранично допустимі концентрації (ГДК$_{с.д.}$); орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ) – при відсутності ГДК$_{м.р.}$ і ГДК$_{с.д}$; клас небезпеки й потужність викиду (т/рік).

Параметри всіх джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, представлені в таблиці 2.1. Таблиця складена на підставі даних про якісну й кількісну характеристики викидів, представлених у матеріалах інвентаризації. Валові викиди забруднюючих речовин від основного устаткування перелічені на номінальне навантаження.

На підприємстві експлуатуються 4 газоочисні установки (ГОУ) (табл. 2.2): циклон із зворотним конусом № 3; нестандартний циклон ЦОЛ; 2 фільтри рукавні ФР - 8.

Циклон із зворотним конусом № 3 призначений для очищення запиленого повітря, що містить пил абразивно-металевий від заточного верстату лабораторії металів та зварювання (джер. 33). Середній експлуатаційній ступінь очищення пилогазоочисного устаткування становить 90,0%.

Запиленої повітря, що містить пил деревини, надходить через місцеві

відсмоктувачі деревообробних верстатів і пилорами на осьовий вентилятор і, пройшовши очищення в циклоні типу ЦОЛ, викидається в атмосферу, (джер.54). Середня експлуатаційна ступінь очищення становить 94,0%.

Таблиця 2.1 - Перелік забруднюючих речовин, що викидають в атмосферне повітря

| № | Найменування речовин | код | ГДК$_{м.р.}$ мг/м$^3$ | ГДК$_{с.д.}$ мг/м$^3$ | ОБРВ мг/м$^3$ | Клас небезпеки | Валовий викид т/рік |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Діоксид азоту | 04001 | 0,085 | 0,04 | | 2 | 786,387 |
| 2 | Азоту (1) оксид | 04002 | 0,4 | 0,06 | | 3 | 0,505 |
| 3 | Аміак | 04003 | 0,2 | 0,04 | | 4 | 0,005 |
| 4 | Азотна кислота | 04004 | 0,4 | 0,15 | | 2 | 0,001 |
| 5 | Сірки діоксид | 05001 | 0,5 | 0,05 | | 3 | 0,204 |
| 6 | Сульфатна кислота | 05004 | 0,3 | 0,1 | | 2 | 0,197 |
| 7 | Оксид вуглецю | 06000 | 5 | 3 | | 4 | 180,466 |
| 8 | Вуглецю діоксид | 07000 | | | | | 77290,8 |
| 9 | Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок | 03000 | 0,5 | 0,3 | | 3 | 6,445 |
| 10 | Сажа | 03004 | 0,15 | 0,05 | | 3 | 0,028 |
| 11 | Залізо та його сполуки | 01003 | | 0,04 | | 3 | 0,012 |
| 12 | Манган та його сполуки () | 01104 | 0,01 | 0,001 | | 2 | 0,001 |
| 13 | Неметанові леткі органічні сполуки | 11000 | 1 | | | 4 | 0,204 |
| 14 | Метан | 12000 | | | 50 | | 6,965 |
| 15 | Бенз(а)пірен | 13101 | | 0,00001 | | 1 | 2,7E-07 |
| 16 | Водню хлорид (соляна кислота) | 15003 | 0,2 | 0,2 | | 2 | 0,001 |
| 17 | Фтор та його сполуки | 16000 | 0,02 | 0,005 | | 2 | 0,006 |
| 18 | Фтористий водень | 16001 | 0,02 | 0,005 | | 2 | 0,001 |
| | Разом | | | | | | 981,399 |

Таблиця 2.2 - Характеристика газоочисного устаткування

| № джер. викиду | Назва ГОУ | Забруднюючі речовини, по яким проводиться очищення | Концентрація на вході в ГОУ, мг/м$^3$ | Концентрація на виході в ГОУ, мг/м$^3$ | Ефективність роботи ГОУ, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 33 | циклон із зворотним конусом № 3 | пил абразивно-металевий | 80 | 8 | 90 |
| 43 | фільтр рукавний ФР - 8 | пил цементу | 1833 | 11 | 99,4 |
| 44 | фільтр рукавний ФР - 8 | пил цементу | 1833 | 11 | 99,4 |
| 54 | циклон типу ЦОЛ | пил деревини | 500 | 30 | 94 |

Для очищення запиленого повітря, яке містить пил цементу від ємностей зберігання цементу застосовують фільтри рукавні ФР - 8, (джер. 43, 44). Ефективність очищення складає 99,4%.

## 2.5 Нормування викидів оксидів азоту від котлоагрегатів, що працюють на газоподібному паливі

Для забезпечення безпечного для біоти стану навколишнього середовища у всіх промислово розвинених країнах затверджені вимоги до допустимих концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери, а у багатьох країнах установлений регламент безпосередньо на їх викиди промисловими джерелами та засобами транспорту.

Найбільш перспективним і прийнятим у світі заходом дотримання екологічної безпеки є нормування міри допустимого забруднення, а звідси і якості навколишнього середовища.

Нормування якості – це встановлення меж, в яких допускається зміна природних властивостей.

Основою нормування є параметр гранично допустимої концентрації (ГДК) - концентрації хімічних речовин у середовищі, які при повсякденному

впливі протягом тривалого часу не викликають патологічних змін або захворювань.

Ще у 1949 році професор В.А. Рязанов сформулював основні критерії шкідливості атмосферних забруднень:

– допустимим може вважатись тільки такий вміст тієї чи іншої речовини у атмосферному повітрі, який не справляє на людину прямого або посереднього впливу, не знижує її працездатності, не впливає на самопочування та настрій;

– звичка до шкідливих речовин повинна розглядатись як негативний момент і бути доказом неприпустимості дослідженого рівня вмісту;

– неприпустимий такий вміст шкідливих речовин, який негативно впливає на рослинність, тварин, клімат місцевості, прозорість атмосфери, побутові умови життя населення.

ГДК – це кількість шкідливої речовини у тому чи іншому природному середовищі (воді, повітрі, ґрунті), яка віднесена до маси або об’єму його конкретного компоненту, що при постійному контакті або дії за визначений інтервал часу не справляє впливу на здоров’я людини і не призводить до негативних наслідків у його нащадків.

Відрізняють максимальну разову та середньодобову концентрацію забруднюючих речовин.

Максимальна разова концентрація ($ГДК_{м.р}$) не повинна викликати рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, змін біоелектричної активності головного мозку, світової чутливості ока) при короткочасному впливі атмосферних забруднень (20 хвилин).

Середньодобова концентрація ($ГДК_{с.д}$) не повинна справляти прямого або посереднього впливу (загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного) при необмежено тривалому вдиханні повітря [12].

Величини ГДК відрізняються щодо різних умов. Здійснюється так зване роздільне нормування забруднюючих речовин.

Для атмосферного повітря населених місць встановлюється $ГДК_{а.п}$. Це максимальна концентрація домішки, яка віднесена до періоду усереднення, що при періодичній дії або протягом усього життя людини не справляє на неї негативного впливу. В умовах великих промислових міст та курортів максимальні разові концентрації $ГДК_{м.р}$ дорівнюють 0,8 $ГДК_{а.п}$.

Для робочої зони встановлюється $ГДК_{р.з}$. Під робочою зоною розуміють простір у двох метрах від підлоги, де розташовані місця постійного або тимчасового перебування працівників. $ГДК_{р.з}$ – це концентрація забруднюючої речовини, яка при щоденній (крім вихідних) роботі протягом 8 годин або при іншій тривалості робочого дня, але не більше 41 години на тиждень потягом робочого стажу, не може викликати захворювань або відхилень у стані здоров′я, які виявляються сучасними методами досліджень.

Ще один варіант ГДК – ГДК на території підприємства. Вона дорівнює 0,3 $ГДК_{р.з}$, тобто на території підприємства вимагається більш висока якість повітря у порівнянні з повітрям робочої зони.

Природно, що $ГДК_{а.п}$ менше $ГДК_{р.з}$. У останньому випадку мова йде про обмежене перебування людини у забрудненій зоні, тоді як $ГДК_{а.п}$ визначає безпечне перебування людини при необмеженому за часом вдиханні забруднюючої речовини. Тому $ГДК_{р.з} > ГДК_{а.п}$.

Якщо для деяких видів забруднювачів ГДК не визначено, для них вводять ОБРВ – орієнтовно безпечні рівні впливу, які визначаються розрахунковими методами.

Сумісна присутність у повітрі забруднювачів спричиняє у деяких випадках ефект посилення дії по-перше, через схожість токсичної дії ряду речовин, по-друге, через взаємне посилення (синергічний ефект) дії різних речовин.

Ефект сумації мають, наприклад, ацетон та фенол; озон, двоокис азоту та формальдегід; сірчаний ангідрид та сірководень; окис вуглецю, двоокис азоту, сірчаний ангідрид та фенол. Ефект синергізму добре видно з

наступного прикладу: сірчаний ангідрид ослаблює захисні механізми системи дихання і тим самим робить організм більш сприйнятливим до канцерогенів, і негативний вплив від сумісної присутності іще й $NO_2$ та фенолу збільшується приблизно в два рази.

Для урахування ефекту сумації використовують формулу:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + ... + \frac{C_n}{ГДК_n} \le 1, \qquad (2.1)$$

де $C_1$, $C_2$, $C_n$ - концентрації шкідливих речовин, які мають ефект сумації;

$ГДК_1$, $ГДК_2$, $ГДК_n$ - відповідні їм ГДК.

Для кожного промислового підприємства для всіх його джерел забруднення встановлюється гранично допустимий викид (ГДВ) на кожний вигляд забруднюючої речовини.

ГДВ – кількість кожної забруднюючої речовини, що викидається окремим джерелом за одиницю часу, при якому приземна концентрація цієї забруднюючої речовини в житловій зоні не перевищує ГДК.

Розмірність ГДВ - грам за секунду (г/с), валовий викид (т/рік) [21].

В Україні із азотовмісних сполук нормуються $NO_2$, NO, $NH_3$, $HNO_3$ (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Характеристики контролюємих у викидах у атмосферу азотвмісних сполук

| Назва | Хімічна формула | Стан | $ГДК_{max}$, мг/м$^3$ | $ГДК_{с.д}$ мг/м$^3$ | Клас небезпеки |
|---|---|---|---|---|---|
| Азоту діоксид | $NO_2$ | Газ | 0,085 | 0,04 | 2 |
| Азоту монооксид | NO | Газ | 0,4 | 0,06 | 3 |
| Аміак | $NH_3$ | Газ | 0,2 | 0,04 | 4 |
| Кислота азотна | $HNO_3$ | Аерозоль | 0,4 | 0,15 | 2 |

У США ГДК для оксиду азоту становить 0,1 мг/м$^3$. Інший федеративний стандарт обмежує концентрацію $NO_x$ у викидах для електростанцій 300 мг/м$^3$ – для роботи на вугіллі, і 220 мг/м$^3$ – для використання газоподібного палива.

У Англії та Фінляндії ГДК оксидів азоту у газах, що відходять від ТЕС, працюючих на вугіллі, дорівнюють 200, на рідкому паливі – 150 і на газоподібному – 100 мг/м$^3$ [9].

Відповідно до Наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища України №541 від 22 жовтня 2008 року, для теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт, установлено іще й технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин.

Даний документ встановлює поточні та перспективні технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних теплосилових установок, призначених для вироблення енергії при спалюванні твердого, рідкого та газоподібного палива, а також відходів вуглезбагачення, за винятком тих установок, у яких продукти згоряння безпосередньо використовуються у виробничих процесах.

Технологічний норматив допустимого викиду забруднюючої речовини від установок визначається як гранична масова концентрація забруднюючої речовини у сухих відхідних газах, приведена до нормальних умов (температура 0 ºС, тиск 101,32 кПа) та визначеного вмісту кисню (6% у разі спалювання твердого палива, 3% у разі спалювання газоподібного та рідкого палива, 15% у разі спалюванні газоподібного та рідкого палива у газових турбінах). Він вимірюється в міліграмах забруднюючої речовини на кубічний метр відхідних газів (мг/м$^3$).

Масові концентрації оксидів азоту (в перерахунку на діоксид азоту) для існуючих установок під час спалювання рідкого та газоподібного палива не повинні перевищувати встановлених значень технологічних нормативів допустимих викидів (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 - Поточні технологічні нормативи допустимих викидів оксидів азоту (в перерахунку на $NO_2$)

| Тип палива | Тип теплосилової установки | Технологічні нормативи допустимих викидів оксидів азоту (в перерахунку на $NO_2$), мг/ $м^3$ |
|---|---|---|
| Рідке | Паровий котлоагрегат | 500 |
| | Водогрійний котлоагрегат | 500 |
| Газоподібне | Паровий котлоагрегат | 500 |
| | Водогрійний котлоагрегат | 500 |

Поточні технологічні нормативи допустимих викидів оксидів азоту (у перерахунку на $NO_2$), що наведені в таблиці, дійсні до 31 грудня 2017 року.

З 1 січня 2018 року вміст оксидів азоту (у перерахунку на $NO_2$) у відхідних газах не повинен перевищувати значень, установлених для модернізованих установок.

Модернізована установка – теплосилова установка, введена в експлуатацію на основі проектно-кошторисної документації на модернізацію, затвердженої в установленому порядку після 1 січня 2009 року.

Масові концентрації оксидів азоту (у перерахунку на $NO_2$) не повинні перевищувати встановлених значень технологічних нормативів допустимих викидів для модернізованих установок, наведених у таблиці 2.5.

Теплосилові установки з номінальною тепловою потужністю більше 500 МВт:

- які до 31 грудня 2015 року працюватимуть не більше 2000 годин на рік (змінне середнє за п'ять років), повинні забезпечувати вміст оксидів азоту (у перерахунку на $NO_2$) у відхідних газах не вище 600 мг/куб.$м^3$;
- які з 1 січня 2016 року працюватимуть не більше 1500 годин на рік (змінне середнє за п'ять років), повинні забезпечувати вміст оксидів азоту (в перерахунку на $NO_2$) у відхідних газах не вище 450 мг/ $м^3$.

Таблиця 2.5 – Перспективні технологічні нормативи допустимих викидів оксидів азоту (в перерахунку на $NO_2$) для модернізованих установок

| Тип палива | Номінальна теплова потужність установки (Р), МВт | Технологічні нормативи допустимих викидів оксидів азоту (в перерахунку на $NO_2$), мг/ $м^3$ |
|---|---|---|
| Тверде | | |
| до 1 січня 2016 року | $50 < P \leq 500$ | 600 |
| | $P > 500$ | 500 |
| після 1 січня 2016 року | $50 < P \leq 500$ | 600 |
| | $P > 500$ | 200 |
| Рідке | $50 < P \leq 500$ | 450 |
| | $P > 500$ | 400 |
| Газоподібне | $50 < P \leq 500$ | 300 |
| | $P > 500$ | 200 |

## 2.6 Аналіз відповідності фактичних викидів оксидів азоту в атмосферне повітря до встановлених нормативів на викиди

Для оцінки відповідності фактичних викидів забруднюючих речовин до встановлених для них нормативів було проведено експериментальне дослідження вмісту оксидів азоту у газах, що відходять від котлоагрегатів при спалюванні природного газу.

Для цього використовували газоаналізатор «TESTO-350» та розрахункові методи визначення концентрації даних оксидів у викидах.

Результати експерименту представлені у таблиці 2.6.

Проаналізувавши отримані дані, можна зробити висновки:

1) по водогрійним котлам фактичні концентрації оксидів азоту не перевищують встановлених для них нормативних значень;

2) викиди $NO_x$ від енергетичних котлів у 2-5 раз перевищують викиди від водогрійних;

3) для джерела викиду № 1 та 2 (енергетичні однобарабанні котли Манн) фактична концентрація оксидів азоту перевищує встановлені для даних котлоагрегатів технологічних нормативів;

4) для джерел викидів № 3-7 значення фактичних концентрацій оксидів азоту близькі до граничних, до технологічних нормативів;

5) для досягнення нормативних показників необхідно проведення заходів щодо зниження викидів оксидів азоту.

Таблиця 2.6 – Порівняльна характеристика фактичної концентрації оксидів азоту до встановлених для котлоагрегатів технологічних нормативів

| Назва джерела викиду забруднюючих речовин | № джерела | Висота джерела викиду | Діаметр джерела викиду | Характеристики пилогазоповітряної суміші | | | Концентрація, | | Норматив, мг/м$^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Об'єм, м$^3$/с | Швидкість м/с | Температура, $^0$C | ppm | мг/м$^3$ | |
| Енергетичні котли | | | | | | | | | |
| К-1 | 1 | 44 | 2,84 | 70,8 | 11,182 | 173,6 | 167 | **541** | 500 |
| К-2 | 2 | 44 | 2,84 | 62,7 | 9,903 | 168,6 | 164 | **523** | 500 |
| К-3 | 3 | 44 | 2,84 | 60,7 | 9,587 | 164,4 | 144 | 465 | 500 |
| К-4 | 4 | 44 | 2,84 | 72,0 | 11,372 | 164,4 | 147 | 487 | 500 |
| К-5 | 5 | 44 | 2,84 | 64,6 | 10,171 | 87,3 | 100 | 240 | 500 |
| К-6 | 6 | 45 | 2,84 | 59,9 | 9,461 | 136,3 | 91 | 213 | 500 |
| К-7 | 7 | 44 | 2,84 | 65,8 | 10,392 | 140,8 | 146 | 485 | 500 |
| К-9 | 8 | 44 | 2,62 | 65,8 | 12,211 | 141,8 | 95 | 216 | 500 |
| Водогрійні котли | | | | | | | | | |
| ПВК-1 | 9 | 55 | 3,2 | 74,9 | 9,318 | 68,0 | 55 | 115 | 500 |
| ПВК-2 | 10 | 55 | 3,2 | 75,4 | 9,380 | 72,0 | 49 | 108 | 500 |
| ПВК-3 | 11 | 55 | 3,2 | 75,3 | 9,368 | 85,0 | 52 | 112 | 500 |
| ПВК-4 | 12 | 55 | 3,2 | 75,3 | 9,368 | 87,4 | 58 | 123 | 500 |
| ПВК-5 | 13 | 120 | 6,0 | 131,9 | 4,667 | 123,9 | 60 | 157 | 500 |

# 3 ЗАХОДИ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ОКСИДІВ АЗОТУ В АТМОСФЕРУ

## 3.1 Механізм утворення оксидів азоту при спалюванні палива

Оксиди азоту визначають на 40-60% токсичність продуктів згорання вугілля та мазуту і на 95-98% – природного газу. Існує 3 механізми їх утворення при спалюванні палива, відповідно до чого виділяють термічні, паливні та «швидкі» оксиди азоту.

Термічні оксиди утворюються у зоні горіння у результаті ланцюгових реакцій: дисоціація молекул повітря на атоми та радикали, а потім окислення утворених атомів. Ведучу роль у утворенні молекул монооксиду азоту відіграє окислення молекулярного азоту киснем та окиснення атомарного азоту молекулярним киснем:

$$O + N_2 \rightarrow NO + N - 314 \text{ кДж/моль}, \quad (3.1)$$

$$N + O_2 \rightarrow NO + O + 314 \text{ кДж/моль}. \quad (3.2)$$

Для процесу утворення термічних оксидів азоту характерне збільшення їх концентрації:

1) експоненційно зі збільшенням температури;

2) прямолінійно зі збільшенням концентрації атомарного кисню (це залежність від величини надлишку повітря) [13].

Паливні оксиди виникають із азотовмісних сполук палива при температурах 700-1100 $^0$C. Азот у паливі входить до складу таких його сполук як піридин, нітробензол, аміак (у газоподібних продуктах термолізу азот міститься, в основному, у виді аміаку (до 50%), елементарного азоту, ціаністого водню й органічного азоту).

У топках, що працюють на вугіллі, доля паливних оксидів азоту може перевищувати 90% їх загальної кількості. На ділянці факелу, де температура газів наростає від 950 до 1400 $^0$К, відбувається різкий ріст виходу паливних оксидів, проте далі вздовж факелу вихід їх підвищується незначною мірою. Далі на ділянці з температурою вище 1500 $^0$К утворюються термічні оксиди азоту.

Ступінь утворення паливних оксидів порівняно слабо залежить від температури. Окислення азоту у початковій зоні факелу може відбуватися не лише до монооксиду азоту, але і до його діоксиду. Ступінь переходу азотвмісних сполук у оксиди азоту швидко наростає із збільшенням коефіцієнта надлишку повітря (залежність близька до квадратичної).

«Швидкі» оксиди азоту утворюються на початку зони горіння – реакція сполучення вуглеводневих радикалів із молекулами азоту:

$$CH + N_2 = HCN + N - 8{,}38 \text{ кДж/моль.} \qquad (3.3)$$

і подальшим утворенням монооксиду в реакції (3.2).

У зоні горіння, де утворюються активні частинки – атоми та радикали – можливим є протікання інших реакцій із утворенням серед інших сполук також і монооксиду азоту; ця реакція супроводжується дуже малими енергетичними втратами та має слабку залежність від температурного процесу:

$$2C + N_2 = 2\,CN - 16{,}72 \text{ кДж/моль,} \qquad (3.4)$$

$$CH_2 + N_2 = CN + NH - 37{,}6 \text{ кДж/моль .} \qquad (3.5)$$

У свою чергу, утворені CN переходять відповідно (3.3) у HCN із утворенням активного атомарного азоту, що далі бере участь у реакції (3.2).

Для «швидких» оксидів азоту, як і для паливних, характерно:

1) слабка залежність виходу їх від температури;

2) сильна залежність їх виходу від коефіцієнта надлишку повітря;

3) локалізація процесу на початку зони горіння.

Концентрація «швидких» оксидів азоту складає у середньому 10% загальної маси при спалюванні палива у топках котлів малої потужності і близько 50% – при роботі котлів малої потужності. Вихід «швидких» оксидів азоту підвищується із ростом швидкості нагрівання газу у початковій зоні факелу, при чому емісія їх закінчується при значеннях локальної температури 1700-1800 $^0$К. Їх вихід максимальний при значеннях α=0,7, тоді як при α=1 емісія їх незначна. Наприклад, у газомазутних котлах при α=0,7-0,95 вихід «швидких» $NO_x$ складає 50-90 мг/м$^3$, а при використанні газоподібного палива при α<1 дорівнює 80-130 мг/м$^3$ [4].

### 3.2 Способи очистки газів від оксидів азоту

У зв’язку негативним впливом оксидів азоту на здоров’я населення, біоту, атмосферу планети, включаючи негативний їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур, у жовтні 1988 року Україна підписала протокол про замороження викидів оксидів азоту до 1994 року на рівні 1987 року, а далі їх знизити.

Умовно методи зниження викидів оксидів азоту можна поділити на 2 групи:

1) методи, засновані на використанні газоочисного обладнання;

2) методи технологічного і конструктивного подавлення процесу утворення оксидів азоту у промислових агрегатах [4].

Існуючі методи очистки газів від оксидів азоту підрозділяються на три групи:

1) поглинання оксидів азоту рідкими сорбентами;

2) поглинання оксидів азоту твердими сорбентами;

3) відновлення оксидів азоту до елементарного азоту на каталізаторі.

Найбільш розповсюдженим методом є очищення газів від оксидів азоту шляхом поглинання їх розчинами $Na_2CO_3$ і $Ca(OH)_2$, порівняно рідше – NaOH і KOH.

Метод лужного очищення вимагає великих капітальних і експлуатаційних витрат, але головний його недолік у тому, що ступінь абсорбції оксидів азоту не перевищує 60-75% і, таким чином, цей метод не забезпечує дотримання санітарних норм очищення газів. До того ж отримані в процесі очищення луги потребують подальшої багатостадійної переробки для отримання із них твердих солей.

Для мокрої очистки газів від оксидів азоту використовують скрубери. Так як розчинність монооксиду азоту у воді досить мала, а на монооксид доводиться 92-95 % оксидів азоту, то зрошуючу рідину насичують озоном або у неї додають окислювачі (перекис водню) чи комплексоутворюючі – $KMnO_4$, $NaHSO_4$, хілатні комплекси – сполуки заліза із препаратом трилон Б, хромовий ангідрид.

Даний метод дозволяє застосовувати скрубери відносно малих габаритів при забезпеченні ступеня очистки газів 80-85 % [4].

Метод поглинання оксидів азоту твердими сорбентами – силікагелем, алюмогелем, активованим вугіллям і іншими твердими поглиначами – не знайшов широкого промислового застосування через складність, низьку надійність і високу вартість.

Метод селективного каталітичного відновлення (СКВ) оксидів азоту почав застосовуватися тільки в останні роки і поки є найбільш розробленим методом.

Його суть у тому, що сполуки азоту при високій температурі в присутності аміаку і каталізаторів розкладаються до молекулярного азоту і води. Необхідним компонентом при протіканні цього процесу є газоподібний кисень:

$$4NO + 4NH_3 + O_2 = 4N_2 – 6\ H_2O. \quad (3.6)$$

Каталізатори переважно виготовляють із основних металів, їх оксидів і сульфатів. Якщо у продуктах спалювання палива є сірка, що є отруйною для більшості оксидних каталізаторів, то використовують оксиди титану, вольфраму, молібдену і п′ятиоксид ванадію [5].

Каталізатори використовуються у вигляді гранул або їх наносять на каркас із високоякісної сталі.

Оптимальна температура процесу відновлення при використанні каталізаторів оксидів ванадію та титану дорівнює 300-450 $^0$C. При більш високих температурах аміак на каталізаторі сам може окислюватися киснем із утворенням оксидів азоту та парів води. При використанні інших каталізаторів процес відбувається у температурному інтервалі 120-330 $^0$C. Ефективність каталітичного відновлення оксидів азоту у такому випадку складає звичайно 80-90 % [6].

У Німеччині, Японії та в США у наш час експлуатуються установки із денітрифікації димових газів від ТЕС та котелень, що працюють на нафті га газі із використанням ванадієвого каталізатора і аміаку у якості реагенту [7].

Японські спеціалісти використовують замість аміаку водний розчин мочовини (карбаміда), який, розпадаючись при нагріванні, переходить у аміак. Розчин розпилюють на краплі діаметром менше 40 мкм у зоні з температурою газового потоку 300-600 $^0$C і вище, де краплі швидко випаровуються. Перевага методу в тому, що не потрібно створення спеціального сховища для аміаку [8].

Подача чистої води у потік димових газів також сприятливо впливає на процес денітрифікації. Так, розпилювання чистої води у повітряходах котлів назустріч потоку гарячого газу у зонах із температурою 220-315 $^0$C призводить до зниження концентрації на 20-25 % оксидів азоту у газах від спалювання мазуту, і на 30-50 %, якщо у якості палива використовується природний газ [16].

Головними недоліками методів СКВ є: великі капітальні витрати; громіздкість устаткування; виготовлення із дефіцитної нержавіючої сталі; необхідність застосування дорогого каталізатора; великі втрати каталізатора при регенерації; значні витрати газів-відновлювачів ($H_2$, $CH_4$ або CO).

У результаті каталітичного очищення в атмосферу викидається інший газ – оксид вуглецю в кількості 0,10-0,15 %. Крім того, каталітичне очищення не передбачає утилізацію оксидів азоту і може бути застосоване лише у випадку очищення слабко концентрованих газів, що містять лише до 0,5% NO + $NO_2$ і до 4-5 % кисню.

Зниження викидів оксидів азоту можна досягти шляхом упровадження режимно-технологічних заходів на ТЕЦ та котельнях, а за прогнозами надалі основними напрямами зменшення питомих викидів оксидів азоту будуть новітні технології спалювання твердого палива та газоочищення [14].

### 3.3 Методи зниження викидів оксидів азоту від котлоагрегатів

У світі найбільш поширеними способами зниження викидів оксидів азоту від котлоагрегатів є такі, які відповідають так званому принципу енвайроменталізму. Згідно цього принципу, раціональнішим є зменшення викидів на початковій стадії – на стадії утворення, а не в процесі очистки відходячих газів, що містять уже утворені забруднюючі речовини.

У результаті розрахунків [13-18] установлено, що при зростанні температури газів, отриманих від спалювання палива, із 2100 до 2400 $^0$К, тобто приблизно на 15%, концентрація NO у відходячих від агрегату димових газах зростає більш ніж у 2 рази. При збільшенні концентрації кисню на 10% вихід NO зростає на 12%.

Саме тому як заходи для зменшення виходу оксидів азоту при спалюванні палива використовуються:

1) зниження температурного рівня;
2) зменшення надлишку повітря.

Одним із найпоширеніших технологічних засобів зниження викидів $NO_x$ є використання рециркуляції димових газів, тобто повернення газів із паливного простору у ядро горіння палива. Гази рециркуляції підмішуються до повітря, що подається на забезпечення процесу горіння, що призводить до зниження концентрації кисню у ядрі горіння і тим самим сприяє зниженню у ньому локальних температур.

Так, у котлах при спалюванні палива концентрація $NO_x$ в газах на викиді їх у атмосферу складала 77 мг/м$^3$ при виключеній рециркуляції і 560 мг/м$^3$ при її застосуванні.

Слід відмітити, що рециркуляція призводить до зниження концентрації лише термічних оксидів, але із ефективністю до 80-90%, що сприяє зменшенню загального виходу цих оксидів на 20-25%.

Проте застосування рециркуляції має суттєвий недолік – зниження ККД котла на 0,5-2% [17].

Комбінація рециркуляції із одночасною подачею аміаку в гази рециркуляції із витратою 25% по об’єму від витрати димових газів дозволяє підвищити ступінь денітрифікації до 60% при використанні газоподібного палива.

Вплив температурного фактору для зниження викидів $NO_x$ вдається використовувати і шляхом зменшення амплітуди температурних коливань у газах, що відходять. Так, їх згладжування з 50 до 10 $^0$C дозволяє знизити викиди на 40% [18]. Для газових турбін досягається зменшення викидів $NO_x$ на 30 мг/м$^3$ – шляхом попереднього змішування горючого газу із повітрям у форкамері [14].

Іншим шляхом зниження концентрації $NO_x$ у димових газах при викиді їх у атмосферу є регулювання величини коефіцієнта α: відомо, що при α=1,1 – 1,2 вихід оксидів азоту максимальний. Тому зниження α призводить до зменшення виходу оксидів азоту.

Проте значенням α=1,1 – 1,2 відповідає оптимум використання палива. Таким чином, це зниження призводить до деякої втрати продуктивності

котла. Саме тому величина α=1 вважається оптимальною. Таке значення α вважають оптимальним і з точки зору одночасного регулювання виходу діоксину сірки, вихід якого максимальний при α=0,7, різко падає із ростом α, і дорівнює 0 при α=1,1 [13].

Таким чином, доцільним є застосування ступінчастого спалювання палива – на першій стадії підтримувати α≤1, а на другій - α>1.

На практиці використовують 2 види ступінчастого спалювання: ступінчастість створюється у факелі самого пальника і ступінчасте спалювання організують у просторі топки котла, використовуючи наявність ряду ярусів пальників. У випадку спалювання газоподібного палива використовують двохступінчасте ведення процесу у факелі кожного пальника при уповільненому перемішуванні палива із повітрям. Видозміною методу ступінчастого спалювання є комбінація його із розподіленням зон не догорання і повного згорання по висоті топки. Цей метод дозволяє на 50-60% знизити викид $NO_x$ у атмосферу із димовими газами [14].

Одним із різновидів даного методу є така організація горіння, коли основні пальники працюють із значенням коефіцієнта α, що дорівнює 1,0 – 1,05, а у розміщених над ними додатковими горілками α<1. Таким чином у об’ємі топки створюється зона із відновленою атмосферою, де продукти неповного згорання палива – чадний газ, водень, $C_nH_m$ – відновлюють утворені на першій стадії оксиди азоту до стану молекулярного азоту.

Удосконаленням методу є подача аміаку у відновлюючи зону – область із температурою 1750 – 1880 $^0$К. При відсутності вільного кисню у продуктах згорання палива удається скоротити кількість $NO_x$ у викидах на 76-85% [13].

### 3.4 Вибір методу для зниження викидів оксидів азоту

Для зниження викидів $NO_x$ при спалюванні природного газу на котлоагрегатах були розглянуті наступні методи:

1) очистка димових газів;

2) подавлення утворення оксидів азоту за рахунок удосконалення спалювання палива – шляхом регулювання параметрів температури та коефіцієнту α;

3) установка спеціальних пальників із зниженими викидами азоту;

4) рециркуляція частини димових газів у повітрі перед горілкам;

5) трьохступеневе спалювання, при якому вище зони горіння подається частина палива із недостачею повітря для розкладання утворених оксидів азоту, а іще вище подається додаткова кількість повітря для організації догорання тих продуктів, які не догоріли;

6) двоступеневе спалювання палива.

Досвід очистки димових газів показує, що застосування азотоочистки вимагає значних капітальних і експлуатаційних затрат.

Установка низькотоксичних пальників вимагає заміни існуючих пальникових приладів і газопроводів.

Організація рециркуляції димових газів передбачає заміну існуючих пальникових установок та регулювання витрати рециркуляційних димових газів залежно від навантаження котлів.

Організація трьохступеневого спалювання передбачає установку додаткового ярусу пальникових установок, установку фурм, організацію розподілу палива і повітря між горілками і фурмами.

Указані заходи передбачають значний об’єм реконструкції котлоагрегатів, вимагають значних капітальних витрат і ускладнюють експлуатацію котлів [4].

Тому для зниження викидів оксидів азоту рекомендовано застосування методу вертикального двохступеневого спалювання природного газу шляхом перерозподілу повітря та палива між двома ярусами існуючих пальників. До нижніх пальників подається збіднена, а до верхніх – збагачена повітрям паливно-повітряна суміш, що дозволяє знизити температуру в основній (нижній) зоні горіння і допалювати горючі речовини у верхній зоні.

Через розбавлення повітря продуктами згорання, процес горіння протікає при більш низькій температурі і у другій зоні горіння оксиди азоту практично не утворюються.

Рішення із реконструкції котла № 1 передбачає організацію двоступеневого спалювання палива, що вимагає:

- установлення фурм із розведенням екранів над існуючими горілками;
- організацію підведення вторинного повітря до фурм від повітропроводів основного повітря.

Рішення із реконструкції котла № 2 передбачає організацію двоступеневого спалювання палива, що вимагає:

- використання існуючих і перерозподіл повітря і палива між двома ярусами горілок у процесі робіт із налагодження котлів.

Для організації даного процесу необхідна реконструкція котлів, що передбачає використання фурм, які розміщені над пальниками та організацію підведення повітря до цих фурм.

Найоптимальнішим методом зменшення викидів оксидів азоту від котлоагрегатів є подавлення їх утворення за рахунок удосконалення спалювання палива.

## 3.5 Дослідження викидів оксидів азоту при різних умовах згорання природного газу

Регулювання викидів оксидів азоту при спалюванні природного газу у котлоагрегатах здійснюється шляхом підбору значень коефіцієнту надлишку повітря α, концентрації вільного кисню та температури.

Були проведені експерименти для вибору найоптимальніших умов згорання палива на котлоагрегатах № 1, 2 (табл. 3.1). Змінюючи значення указаних вище величин, було досягнуто зменшення викидів оксидів азоту до встановлених технологічних нормативів.

Таблиця 3.1 – Результати регулювання викидів оксидів азоту шляхом зміни основних параметрів горіння

| № | № котла | α | Температура, $^0C$ | Концентрація кисню $O_2$, % | | Концентрація, ppm | Концентрація $NO_x$, мг/м$^3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $O_{2норм}$ | $O_{2замір}$ | | З $O_{2замір}$ | З $O_{2норм}$ |
| 1 | Енергетичний котел №1 | 2,11 | 173,6 | 3 | 12,3 | 167 | 225,19 | 541 |
| 2 | | 1,86 | 172,3 | 3 | 11,9 | 159 | 221,1 | 522 |
| 3 | | 1,69 | 165,4 | 3 | 9,6 | 150 | 215,1 | 446 |
| 4 | | 1,52 | 164,1 | 3 | 9,4 | 131 | 187,9 | 428 |
| 5 | | 1,43 | 159,8 | 3 | 8,7 | 121 | 173,5 | 411 |
| 6 | Енергетичний котел №2 | 1,85 | 172,8 | 3 | 12,1 | 164 | 225,19 | 523 |
| 7 | | 1,75 | 168,3 | 3 | 11,7 | 162 | 218,3 | 511 |
| 8 | | 1,51 | 164 | 3 | 9,2 | 130 | 187,4 | 427 |
| 9 | | 1,35 | 158,2 | 3 | 8,3 | 113 | 169,5 | 405 |
| 10 | | 1,22 | 154,9 | 3 | 7,5 | 105 | 165,7 | 395 |

При проведенні досліджень були встановлені залежності концентрації $NO_x$ від значення температури газів та коефіцієнту α: викиди $NO_x$ збільшувалися при збільшенні температури (рис. 3.1) та при збільшенні коефіцієнту α (рис. 3.2).

При зменшенні викидів $NO_x$ спостерігалося зменшення потужності котла, тобто ККД падало. Ці залежності повністю співпадають із даними, отриманими під час аналізу технічної літератури.

Таким чином, за допомогою регулювання основних параметрів спалювання палива на котлоагрегатах удалося досягти нормативних значень для викидів оксидів азоту та ККД агрегату.

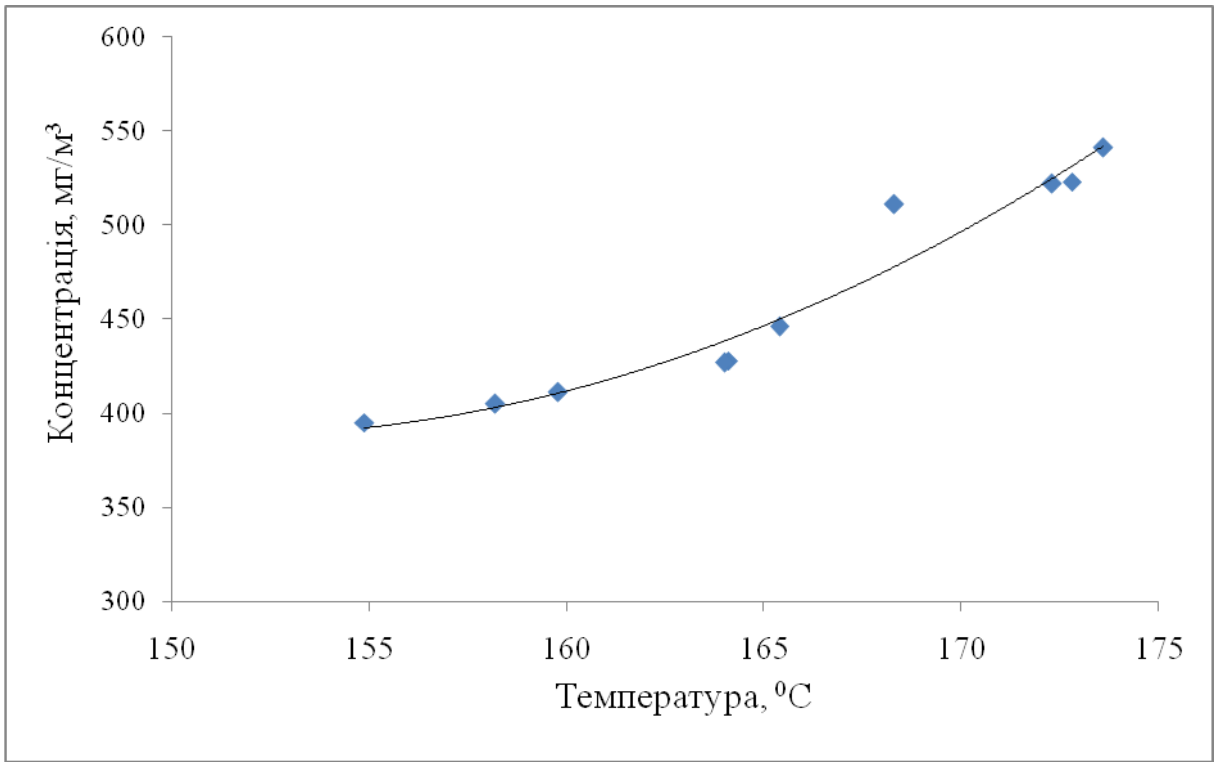



Рисунок 3.1 – Залежність викидів оксидів азоту від температури газів

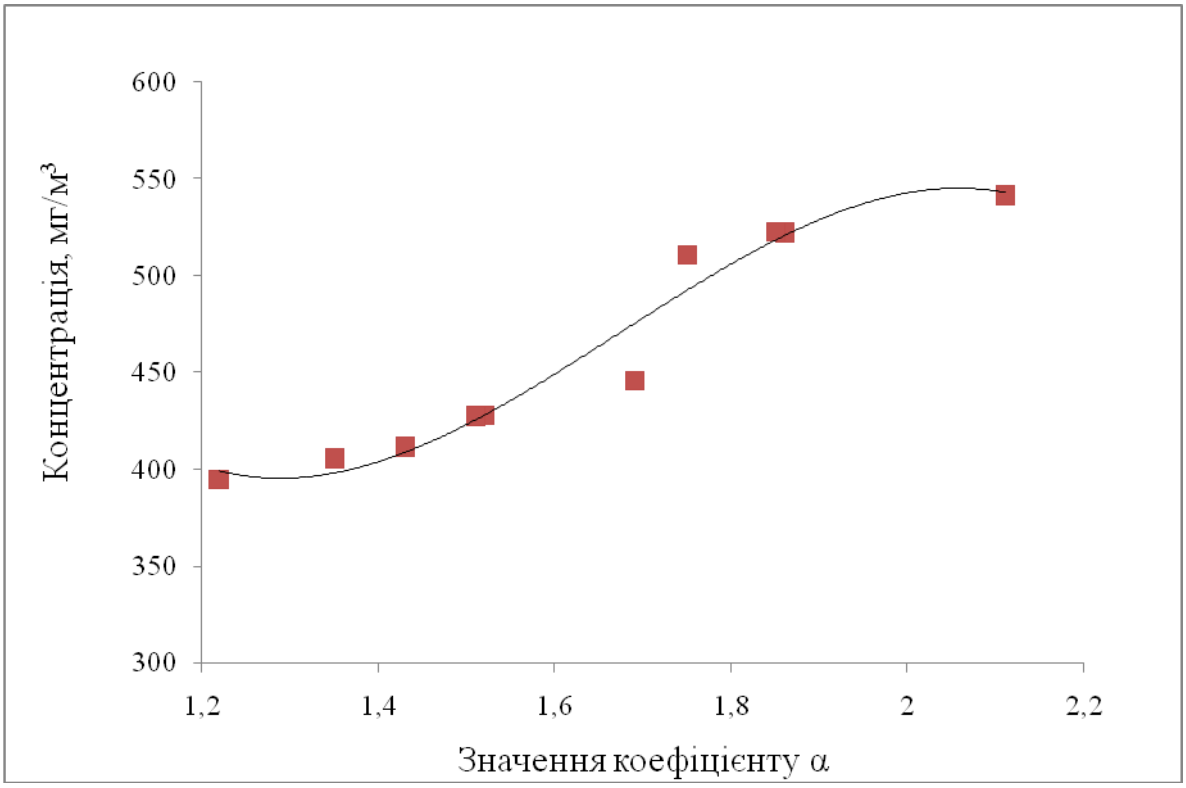



Рисунок 3.2 – Залежність викидів $NO_x$ від значення коефіцієнту α

## 3.6 Розрахунок приземних концентрацій забруднюючих речовин від ТЕЦ

Розрахунки розсіювання шкідливих речовин в атмосфері проводилися на існуюче положення для всіх забруднюючих речовин, що викидаються підприємством, а також окремо по оксиду й діоксиду азоту, та груп сумації (азоту діоксид + ангідрид сірчистий, ангідрид сірчистий + кислота сірчана), та на період виконання природоохоронних заходів по азоту діоксиду відповідно до критерію доцільності згідно до вимог пункту 5.21 ОНД–86.

При розрахунках розсіювання оксиди азоту враховуються окремо (у перерахуванні на молекулярну вагу), тобто як дві речовини, а при розробці нормативних документів характеристика викидів оксидів азоту дається як сумарна кількість азоту оксиду й діоксиду в перерахунку на $NO_2$ - відповідно до листа Міністерства охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки України від 25 жовтня1996 року № 11-6- 121.

Доцільність проведення розрахунків розсіювання атмосферного повітря для всіх забруднюючих речовин, що викидаються підприємством, згідно ОНД-86 визначається виконанням нерівностей:

$$\frac{\text{М}}{\text{ГДК}} > \Phi, \qquad (3.7)$$

де $\Phi = 0{,}01 \times \overline{H}$ при $\overline{H} > 10$ м;

$\Phi = 0{,}1$ при $\overline{H} \le 10$ м;

М (г/с) - сумарне значення викиду від всіх джерел підприємства, що відповідає найбільш несприятливим із установлених умов викиду, включаючи вентиляційні джерела й неорганізовані викиди;

ГДК (мг/м$^3$) – максимальна разова гранично допустима концентрація;

$\overline{\text{H}}$ (м) – середньозважена по підприємству висота джерел викиду.

$\overline{\text{H}}$ для і-ї речовини визначається за формулою:

$$\overline{H} = \frac{5M_{(0-10)} + 15M_{(11-20)} + 25M_{(21-30)} + ...}{M}, \quad (3.8)$$

$$M = M(0\text{-}10) + M(11\text{-}20) + M(21\text{-}30) + ..., \quad (3.9)$$

Якщо всі джерела підприємства є низька або наземними, тобто висота викиду не перевищує 10 м, то $\overline{H}$ приймається рівної 5 м.

Доцільність проведення розрахунків розсіювання атмосферного повітря для всіх забруднюючих речовин, що викидаються підприємством, відбита в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Доцільність проведення розрахунку

| Найменування речовини | Код речовини | Доцільність проведення розрахунку |
|---|---|---|
| Заліза оксид | 123 | Так |
| Кальцію оксид | 128 | Так |
| Манган та його сполуки | 143 | Так |
| Азоту діоксид | 301 | Так |
| Азоту оксид | 304 | Немає |
| Сажа | 328 | Так |
| Ангідрид сірчистий | 330 | Так |
| Вуглецю оксид | 337 | Так |
| Водень фтористий | 342 | Так |
| Фториди добре розчинні | 343 | Так |
| Фториди погано розчинні | 344 | Немає |
| Масло мінеральне | 2735 | Немає |
| Вуглеводні граничні С12-С19 | 2754 | Так |

| Найменування речовини | Код речовини | Доцільність проведення розрахунку |
|---|---|---|
| Пил (Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок) | 2902 | Так |
| ПСК>70% | 2907 | Так |
| ПСК 20-70% | 2908 | Так |
| Пил деревини | 10293 | Так |
| Пил абразивно-металевий | 10431 | Так |
| Азоту діоксид + ангідрид сірчистий | 301 + 330 | Так |

Розрахунок розсіювання для всіх забруднюючих речовин проводився з урахуванням фонових концентрацій згідно з даними Запорізького обласного центру з гідрометеорології (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Фонові концентрації забруднюючих речовин для міста Запоріжжя

| Назва речовини | Фонова концентрація, мг/м$^3$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Швидкість вітру в м/сек | | | | |
| | 0 – 2 м/сек | Більше 2 м/сек | | | |
| | Напрямок вітру | | | | |
| | Штиль | Північ | Схід | Південь | Захід |
| Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок | 0,23 | 0,22 | 0,22 | 0,2 | 0,22 |
| Діоксид сірки | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Оксид вуглецю | 3,7 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,3 |
| Діоксид азоту | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |

Аналіз результатів розрахунку забруднення атмосферного повітря показав, що по всіх забруднюючих речовинах, що викидаються джерелами ТЕЦ, приземні концентрації за межами підприємства як від власних викидів, так і з урахуванням фонового забруднення, не перевищують санітарні норми, за винятком азоту діоксиду.

Максимальна приземна концентрація в житловій забудові від власних викидів азоту діоксиду на існуючий час становить 1,6 ГДК. З урахуванням фонового забруднення максимальна приземна концентрація в житловій забудові від викидів азоту діоксиду становить 1,8 ГДК. Після проведення повітряохоронних заходів максимальна приземна концентрація в житловій забудові від викидів азоту діоксиду з урахуванням фонового забруднення буде становити 0,77 ГДК.

# 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗДІЙСНЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ

Економічний збиток від негативного впливу викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на здоров'я людей визначається відповідно до розмірів плати за забруднення навколишнього природного середовища.

Розміри платежів визначаються підприємством самостійно на підставі лімітів викидів забруднюючих речовин і затверджених наказом Кабінету Міністрів від 01 березня 1999 року № 303 «Нормативу збору за забруднення навколишнього природного середовища».

Ліміти викидів шкідливих речовин визначаються для підприємств строком на п'ять років з обліком гранично допустимих обсягів викидів за кожним інгредієнтом й доводять до підприємств як тимчасово погоджені величини в тоннах за рік.

Базовим нормативом плати за викиди шкідливих речовин у межах установлених лімітів є розмір плати за 1 тонну конкретної забруднюючої речовини або класу шкідливих речовин.

При розрахунку плати базовий норматив ($К_т$) коректується коефіцієнтами, що враховують чисельність населення й народногосподарське значення конкретного населеного пункту:

$$К_т = К_{нас} \times К_ф, \quad (4.1)$$

де $К_{нас}$ - коефіцієнт, що залежить від чисельності населення міста (1,8);
$К_ф$ - коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення міста (1,25).

Після проведення заходів щодо зменшення викидів оксидів азоту у атмосферу у результаті проведення реконструкції котельних агрегатів № 1, 2 викиди оксидів азоту зменшаться на 422,1 т/рік і становитимуть 364,287 т/рік.

Економічне обґрунтування екологічних програм проводиться шляхом зіставлення економічних результатів і витрат на їх здійснення за допомогою системи показників загальної і порівняльної ефективності природоохоронних витрат і чистого економічного ефекту від природоохоронних заходів відповідно до Тимчасової методики визначення економічної ефективності здійснення природоохоронних заходів і оцінки економічних збитків внаслідок забруднення навколишнього середовища.

При розрахунках чистого економічного ефекту економічним результатом природоохоронних заходів вважається загальна сума, що складається із суми збитків, яких вдалося уникнути завдяки зниженню забруднення навколишнього середовища, витрат у матеріальному виробництві, невиробничій сфері і відповідних витрат населення; приросту економічної (вартісної) оцінки природних ресурсів, які заощаджуються внаслідок природоохоронних заходів; приросту грошової оцінки реалізованої продукції, який одержано завдяки утилізації сировинних, паливно-енергетичних та інших матеріальних ресурсів під час здійснення природоохоронних заходів. Економічний результат природоохоронних програм, який розраховується для визначення чистого економічного ефекту, може застосовуватися і в розрахунках загальної економічної ефективності відповідних природоохоронних витрат.

Загальна економічна ефективність природоохоронних витрат розраховується як співвідношення річного обсягу повного економічного ефекту до суми приведених витрат, які сприяли цьому ефекту. Показник загальної економічної ефективності застосовується з метою регіонального обґрунтування структури і обсягів природоохоронних заходів або структури і обсягів капітальних вкладень природоохоронного призначення.

Показник загальної ефективності капітальних вкладень порівнюється з нормативним і фактично досягнутим. Додатковими показниками ефективності витрат на охорону навколишнього середовища є:

- відношення показника зменшення негативного впливу господарської діяльності та іншої діяльності на навколишнє середовище до витрат, що сприяли цьому зменшенню;

- відношення показника покращення стану навколишнього середовища регіону до витрат, що сприяли цьому покращенню.

Крім того, визначається загальний і розрахунковий економічний ефект від здійснення природоохоронних витрат. Загальний економічний ефект стосується галузей виробничої і невиробничої сфери і визначається на основі приросту економічної оцінки природних ресурсів або приросту продукції. Розрахунковий економічний ефект стосується окремих підприємств, адміністративних районів, виробничо-промислових комплексів, промислових вузлів і визначається на основі приросту прибутку або зниження собівартості продукції.

Чистий економічний ефект природоохоронних заходів визначається для техніко-економічного обґрунтування вибору найкращих екологічних варіантів, які відрізняються впливом на навколишнє середовище, а також на виробничі результати галузей, які здійснюють ці заходи. Визначення чистого економічного ефекту природоохоронних заходів ґрунтується на порівнянні витрат на їх здійснення з досягнутим економічним результатом.

Розрізняють фактичний та очікуваний (проектний, прогнозний) чистий економічний ефект природоохоронних заходів. Фактичний чистий економічний ефект визначається з метою здійснення одноваріантних заходів на основі порівняння фактичних витрат і досягнутого економічного результату. Очікуваний чистий економічний ефект розраховується на етапах розробки прогнозів, програм і проектів, створення нової природоохоронної техніки на основі багатоваріантного аналізу очікуваних витрат і результатів, щоб вибрати оптимальний варіант, який забезпечить максимальний економічний ефект при дотриманні вимог до якості навколишнього середовища.

Збитки від забруднення середовища, яких вдалося уникнути, дорівнюють різниці між розрахунковими збитками, які мали місце до здійснення заходу, і остаточними збитками після здійснення цього заходу. Якщо збитки, яких вдалося запобігти, визначаються при обґрунтуванні варіантів реконструкції діючих підприємств, то розмір дорівнює їх значенню до здійснення реконструкції (модернізації).

Економічне обґрунтування природоохоронних заходів здійснюється розраховується за формулою:

$$E_ф = R - B_к, \quad (4.2)$$

де $E_ф$ – економічний ефект від реконструкції котлів;

$B_к$ – кошторисна вартість реконструкції котлів.

Екологічний рівень природоохоронних заходів зумовлюється зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище і проявляється в обмеженні надходження забруднюючих речовин у атмосферу.

$$R = C_{ПТ} - C_{ТТ}, \quad (4.3)$$

де $C_{ПТ}$ – сумарна сума збору за забруднення навколишнього середовища до проведення реконструкції котлів;

$C_{ТТ}$ – сумарна сума збору за забруднення навколишнього середовища після проведення реконструкції котлів.

Екологічний рівень природоохоронних заходів R = 2 868 920,93 грн.

Економічний ефект $E_ф$ = 1 667 470,93 грн. Так як $E_ф > 0$, то проведення реконструкції котлів є економічно обґрунтованим.

Однією із форм показника абсолютної економічної ефективності є термін окупності витрат. Він характеризує період, протягом якого понесені

на реалізацію заходу витрати повністю повертаються за рахунок отриманого ефекту. Термін окупності впровадження рекомендованих заходів щодо зменшення викидів оксидів азоту у атмосферу становить 1,2 року.

Згідно статті 29 Закону України «Про охорону атмосферного повітря» виробничий контроль за охороною атмосферного повітря здійснюється підприємствами, установами, організаціями та громадянами – суб'єктами підприємницької діяльності в процесі їх господарської та іншої діяльності, якщо вона справляє шкідливий вплив на стан атмосферного повітря. Згідно ОНД-90, обов'язковому контролю підлягають викиди в атмосферне повітря сполук азоту та вуглецю оксид [10].

Джерела підприємства, що підлягають контролю, можна розділити на дві категорії. До першої категорії відносяться джерела, що вносять найбільший вклад у забруднення повітряного басейну. Вони повинні контролюватися систематично. До другої категорії відносяться більше дрібні джерела. Їх контролюють епізодично.

До першої категорії належать джерела, не оснащені газоочисткою, або із газоочисткою, що має ККД менше 75%, для яких при $C_{max}$/ГДК > 0,5 виконуються нерівності (4.5-4.6):

$$\frac{M'}{ГДК \times H} > 0{,}01 \quad \text{при } H \succ 10 \text{ м}; \tag{4.5}$$

$$\frac{M'}{ГДК} > 0{,}1 \quad \text{при } H \le 10 \text{ м}. \tag{4.6}$$

де M' - величина викиду шкідливої речовини від джерела, г/с;

$C_{max}$ - максимальна разова концентрація шкідливої речовини, мг/м$^3$;

H - висота джерела викидів, м.

Розрахунок категорій джерел по оксидам азоту представлений у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок категорії джерел

| №№ джерела | Висота джерела Н (м) | Потуж-ність викиду М'(г/с) | ПДК (мг/м$^3$) | $C_{max}$ | ККД газо-очищення | Категорія джерела |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Азоту діоксид | | | | | | |
| 1 | 44 | 7,743 | 0,085 | 240 | - | 1 |
| 2 | 45 | 4,723 | 0,085 | 213 | - | 1 |
| 3 | 44 | 8,459 | 0,085 | 465 | - | 1 |
| 4 | 44 | 6,509 | 0,085 | 487 | - | 1 |
| 5 | 44 | 12,375 | 0,085 | 541 | - | 1 |
| 6 | 44 | 9,198 | 0,085 | 523 | - | 1 |
| 7 | 44 | 11,037 | 0,085 | 485 | - | 1 |
| 8 | 44 | 10,027 | 0,085 | 216 | - | 1 |
| 9 | 55 | 5,113 | 0,085 | 115 | - | 1 |
| 10 | 55 | 7,611 | 0,085 | 108 | - | 1 |
| 11 | 55 | 6,156 | 0,085 | 112 | - | 1 |
| 12 | 55 | 6,156 | 0,085 | 123 | - | 1 |
| 13 | 120 | 9,442 | 0,085 | 157 | - | 1 |

Вказані джерела надходження оксидів азоту в атмосферу належать до першої категорії. Вони повинні контролюватися систематично – 1 раз за квартал.

# 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

У міру своїх посадових і функціональних обов'язків, персонал підприємства зіштовхується із небезпечними й шкідливими виробничими факторами. Для забезпечення безпеки на підприємстві функціонує служба охорони праці, яка інструктує, екзаменує, проводить навчання й семінари зі співробітниками, видає допуски на проведення робіт підвищеної небезпеки.

Під час роботи обладнання підприємства можуть виникнути наступні небезпечні фактори: падаючі з висоти предмети й інструмент; підвищений тиск пари й гарячої води; підвищена або знижена температура; підвищена вологість і рухливість повітря робочої зони; підвищені рівні шуму й вібрації; транспортні засоби, що рухаються, механізми, рухомий склад; недостатня освітленість у темний час доби.

Для здійснення безпечної експлуатації котельних агрегатів службою охорони праці було розроблено наступні принципи роботи:

- перед початком опалювального сезону котельні, калориферні установки й прилади місцевого опалення повинні бути ретельно перевірені й відремонтовані. Забороняється допускати до експлуатації несправні;

- повітронагрівачі й опалювальні прилади повинні розміщатися так, щоб до них був забезпечений вільний доступ для огляду й очищення. Нагрівальні прилади у виробничих приміщеннях зі значними виділеннями горючого пилу повинні мати гладкі поверхні;

- Димарі котлів повинні бути обладнані надійними іскрогасниками й очищатися від сажі не рідше трьох разів на місяць;

- забороняється складати спецодяг, горючі матеріали на нагрівальні.

Важливим завданням управління охороною праці є організація якісної підготовки та перепідготовки працівників. В умовах проникнення комп'ютерних технологій у всі сфери людської діяльності назріла нагальна потреба в перегляді існуючої системи підготовки персоналу енергетичних

підприємств. Раніше, коли тільки з'явилися ЕОМ і ще не було комп'ютерних мереж, основна увага в системі підготовки приділялася очній формі навчання персоналу в навчальних центрах і комбінатах з донавчанням на виробництві під керівництвом досвідчених працівників.

У цих умовах система підготовки персоналу енергетичних підприємств може бути значно удосконалена шляхом організації дистанційного навчання під керівництвом існуючих навчальних центрів. У такій системі акцент зміщується в бік самопідготовки працівника на комп'ютері без відриву від виробництва. З будь-якого комп'ютера, встановленого на підприємстві, по Інтернету можна зв'язатися з навчальним центром і одержати потрібні для підготовки навчально-методичні матеріали, консультації викладачів, пройти перевірку знань тощо.

З метою попередження пожеж працівники підприємства повинні дотримуватися наступних правил протипожежної безпеки:

- палити тільки у відведених й пристосованих для цього місцях;

- знати й уміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;

- перед закриттям приміщень переконатися, що умови до загоряння в них виключені (двері закриті, електроприлади виключені, освітлення відключене, пожежна сигналізація включена, електрокари й електронавантажувачі встановлені в спеціально відведених для цього місцях.);

- про всі несправності електроприладів негайно повідомити майстра із електроустаткування;

- не захаращувати проходи та проїзди;

- користуватися електронагрівальними приладами, необладнаними для цієї мети;

- користуватися тимчасовою або несправною проводкою.

Кожний працівник, що виявив пожежу або загоряння, зобов'язаний:

- негайно припинити всі роботи, не пов'язані із заходами щодо ліквідації пожежі;

- виключити всі електроприлади й виробниче встаткування;

- оперативно повідомити про те, що трапилося, у міську й місцеву пожежну охорону, довести до відома адміністрацію підприємства;

- почати гасіння вогнища загоряння наявними засобами пожежогасіння;

- при необхідності викликати газорятувальну, медичну й іншу служби.

При помічені несправностей застосовуваного устаткування й інструмента або у разі виникнення аварійної ситуації при виконанні робіт необхідно:припинити роботу; попередити працюючих про небезпеку; повідомити негайно керівника робіт і сприяти усуненню аварійної ситуації, а також їхнього розслідування з метою розробки противоаварійних заходів; усувати самостійно несправностей із дотриманням заходів безпеки, викладених в інструкції з охорони праці.

При ліквідації аварійної ситуації необхідно діяти відповідно до затвердженого плану ліквідації аварій.

При ліквідації загоряння необхідно використовувати первинні засоби пожежогасіння, організувати евакуацію людей.

При загорянні електроустаткування застосовувати тільки вуглекислотні вогнегасники або порошкові.

При отриманні травми працівником надати медичну допомогу, довести до відома безпосереднього керівника й діяти за його вказівками.

Для запобігання нещасних випадків, захворювань і отруєнь, пов'язаних з виробництвом, весь обслуговуючий персонал забезпечується наступними засобами індивідуального захисту: спецодягом з бавовняної тканини; захисними шолом-масками, шкіряними черевиками; захисними окулярами; рукавицями.

Для створення нормативних умов праці для персоналу проектом передбачається:

- загальнообмінна приточно-витяжна вентиляція виробничих і допоміжних приміщень: автоматична підтримка параметрів внутрішнього повітря в приміщеннях;

- з метою запобігання опіків всі поверхні трубопроводів і апаратів з температурою вище 60°С тепла ізолюються;
- вологе прибирання виробничих приміщень;
- опалення приміщень із постійними робочими місцями персоналу;
- загальне й місцеве (локальне) освітлення виробничих приміщень, робочих місць і зовнішньої установки [19].

Нормований рівень шуму на робочих місцях забезпечується за рахунок:

- придбання устаткування, шумові характеристики якого відповідають вимогам санітарних норм, що повинне бути обговорене при висновку контракту на його поставку й підтверджено відповідними сертифікатами фірм-виготовлювачів;
- вентагрегати систем загальнообмінної вентиляції встановлюються на віброізолюючих підставах;
- приєднання вентагрегатів до усмоктувальних і нагнітальних систем відбувається через гнучкі вставки із прогумованої тканини;
- вентилятори підібрані з мінімальними окружними швидкостями.

# ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі було досліджено вплив вмісту оксидів азоту в атмосфері на навколишнє середовище та здоров'я людини; надана характеристика ТЕЦ. Визначені кількісні характеристики джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря і їх концентрацій. При цьому виявлено: загальне число діючих джерел викиду забруднюючих речовин в атмосферу - 54, з них 49 - організованих, 5 – неорганізованих. Загальне число забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу – 24. Загальна кількість пилоочисних установок – 4. Сумарний валовий викид забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел на існуючий час становить – 981,399 т/рік.

2. Проведено вимірювання фактичних концентрацій оксидів азоту у викидах забруднюючих речовин у атмосферне повітря при спалюванні природного газу в котлоагрегатах. Проаналізовано відповідність фактичних викидів в атмосферне повітря до встановлених нормативів. Встановлено порушення цих нормативів по 2 енергетичних котлоагрегатах.

3. Визначено механізм утворення оксидів азоту при спалюванні газоподібного палива в топках котлоагрегатів. Проведено дослідження способів зниження викидів оксидів азоту від котлоагрегатів. Найоптимальнішим методом визначено метод вертикального двохступеневого спалювання природного газу шляхом перерозподілу повітря та палива між двома ярусами існуючих пальників.

4. Для зменшення викидів оксидів азоту від котлоагрегатів на даний час проведено дослідження викидів $NO_x$ при різних умовах згорання природного газу. Визначено, що на процес утворення даних оксидів найбільший вплив здійснює регулювання значень коефіцієнту надлишку повітря $\alpha$ та температури. У ході експериментальних досліджень визначено оптимальні значення коефіцієнту надлишку повітря $\alpha$ та температури. Упровадження

заходів регулювання процесу спалювання природного газу дозволило досягти нормативних значень концентрації оксидів азоту у викидах. Фактично викиди $NO_x$ при цьому були знижені на 25%.

5. Проведено розрахунок забруднення атмосферного повітря. По всіх забруднюючих речовинах, за винятком азоту діоксиду, приземні концентрації за межами підприємства як від власних викидів, так і з урахуванням фонового забруднення, не перевищують санітарні норми. Максимальна приземна концентрація в житловій забудові від викидів азоту діоксиду після проведення повітряохоронних заходів зменшиться із 1,8 ГДК до 0,77 ГДК.

6. Після проведення заходів щодо зменшення викидів оксидів азоту у атмосферу у результаті проведення реконструкції котельних агрегатів № 1, 2 викиди оксидів азоту зменшаться на 422,1 т/рік і становитимуть 364,287 т/рік. На основі проведених робіт на підприємстві зменшено викид оксидів азоту від котельних агрегатів, що є економічно вигідним для підприємства та сприяє покращенню стану навколишнього середовища, зокрема стану атмосферного повітря.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Крижанівський Є. І., Кошлак Г. В. Екологічні проблеми енергетики. *Енергетика, контроль на діагностика об'єктів нафтогазового комплексу*. № 1(25). Київ, 2016. 80-90 с.

2. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. Підручник. Київ : «Політехніка», 2003. 232 с.

3. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження: Монографія / Під ред. проф. В.А. Маляренка. Харків : «Рубікон», 2004. 368 с.

4. Зменшення навантаження на навколишнє середовище теплових електростанцій методом управління процесом горіння в котлах із циркулюючим киплячим шаром: наукова робота. URL : [https://ontu.edu.ua/download/konfi/2020/allukrainian_student_scientific_works_tep/Burning.pdf] (дата звернення: 01.12.2022).

5 Шмандій В.М. Бабяк О.С., Ядвейчук І.А. Аналіз забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами в промисловому регіоні. Збірник наукових праць «Захист довкілля від техногенного впливу». 1997. С. 38-48.

6. Нечаєва Т.П., Шульженко С.В., Сас Д.П., Парасюк М.В. Фактори екологічного впливу електроенергетичних об'єктів на довкілля. *Екологічні аспекти енергетики та захист довкілля*. 2008. № 18. С. 54-60.

7. Ковалів Л. М. Екологічні проблеми теплових електростанцій. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип.23(18). С.57-61.

8. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище., Харків: Видавництво САГА, 2008. 364 с. ISBN 978-966-2918-47-2

9. Заверуха Н.М., Серебряков В.В., Скиба Ю.А. Основи екології: Навчальний посібник. Київ : Каравела, 2006. 368 с. ISBN 966-8019-51-2

10. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екології: підручник. 2-е вид. Київ: Либідь, 2005. 408 с. ISBN 966-06-0377-0

11. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології: Підручник / За ред. К.М.Ситника. Київ : Вища школа, 2001. 358 с.: іл. ISBN 966-642-059-7

12. Інженерна екологія : підручник / В. М. Ісаєнко, К. О. Бабікова, Ю. М. Саталкін, М. С. Романов ; за заг. ред. д-ра біол. наук, проф. В. М. Ісаєнка. 2-е вид., актуалізоване на принципах сприяння сталому інноваційному розвитку та засадах синергетичного і компетентнісного підходів. Київ : НАУ, 2019. 452 с. ISBN 978-966-932-132-9

13. Вебер Е., Гільман П. Способи зниження викидів оксидів азоту у димових газах. Feuerungstechnik und Umweltschutz. Koln, 1985. С.161-175.

14. Truex T., Searles S. Каталізатори для контролю за $NO_x$. Platinum Metals Rev. 1992.

15. Saito Hirohisa. Безкаталітична денітрифікація із використанням водних розчинів мочевини. Бойра кенкю. 1991. №248. С.15-21.

16. Scheuer A. Зниження викидів оксидів азоту від цементних печей. Zem-Kalk-Gips. №1. С.37-42.

17. Мельник Л.Г. Основи екології. Екологічна економіка та управління природокористування: підручник. Суми : Університетська книга, 2006. 759 с.

18. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2006. 248 с.

19. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.