

ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

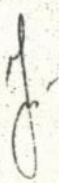
Рищенко Ігор Михайлович

КОНТАКТНО-АБСОРЦІЙНИЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВІДХІДНИХ
ГАЗІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ВІД ОКСИДІВ АЗОТУ

05.17.01 - технологія неорганічних речовин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 1993



Дисертація в рукопис

Робота виконана на кафедрі хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології Харківського політехнічного інституту

Наукові керівники :

- доктор технічних наук, професор Лобойко Олексій Якович,
- доктор технічних наук, професор Тошинський Володимир Ілліч.

Офіційні опоненти

- доктор технічних наук, професор Шапка Олексій Васильович,
- кандидат технічних наук, доцент Зінченко Марина Георгіївна.

Провідна організація - Харківське НВО "Енергосталь"

Захист відбудеться "23" грудня 1993 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 068.39.04 у Харківському політехнічному інституті / 310002, м. Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21 /.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотечі Харківського політехнічного інституту.

Анотация розісланий: "19" листопада 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Гринь Г.І.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00802878 (X)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Енергетика України базується на використанні пилевугільних або газомазутних потужних енергоблоків, які були введені в експлуатацію в 60-ті роки. На них не були передбачені технологічні заходи щодо зниження утворення оксидів азоту при спалюванні палива. Концентрація оксидів азоту в димових газах досягає 450 - 1500 мг/м³, в той час, як норма викидів встановлена 200 мг/м³.

Одним із основних джерел забруднення атмосфери оксидами азоту та сірки /близько 30 %/ в Харківській області є Зміївська ДРЕС з об'ємом вивідних газів 10⁶ м³/годину, та концентрацією оксидів азоту в них 775 мг/м³. Тому проблема нейтралізації NO_x у викидних газах Зміївської ДРЕС на сьогоднішній день стоїть особливо гостро.

Проте, рішення цієї проблеми ускладнюється відсутністю промислово освоєних технологій. Зокрема, технологія селективно-каталітичного відновлення /СКВ/ газових викидів аміаком, яка дуже широко застосовується за кордоном, в Україні та й в державах СНД знаходиться на стадії освоєння. Крім того, відсутня база для промислового випуску відповідних каталізаторів.

Цьому, надто актуальною є розробка технологічного процесу нейтралізації викидних газів енергетичних установок контактної-абсорбційним методом з використанням освоєних в Україні типів каталізаторів, абсорбентів та технологічного обладнання.

Дана робота присвячена дослідженню закономірностей окислення оксидів азоту на вітчизняних дослідно-промислових каталізаторах з послідовною денітрифікацією NO_x в умовах "швидкісної" абсорбції на нових блочних контактних елементах і виконана в межах науково-дослідної програми Міністерства освіти України - "Розробка теоретичних основ та видача рекомендацій по створенню нових екологічно чистих енерго- і ресурсозберігаючих технологій, каталізаторів та масообмінних елементів" /Наказ № 78 від 21.03.91 р./.

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є розробка контактної-абсорбційного методу очистки викидних газів енергетичних установок від оксидів азоту на освоєних вітчизняних каталізаторах та "швидкісної" абсорбції оксидів азоту водним розчином карбаміду з використанням нових блочних контактних елементів.

Наукова новизна. Внаслідок дослідження активності промислових та напівпромислових зразків каталізаторів окислення оксидів азоту розроблена кінетична модель процесу та визначені оптимальні технологічні параметри процесу окислення на базовому каталізаторі НК-13.

Вивчена "швидкісна" абсорбція оксидів азоту водними розчинами карбаміду на нових блочних контактних елементах. Встановлені оптимальні параметри та розроблена математична модель процесу.

Практична цінність. Розраховані та запропоновані контактньо-абсорбційна схема очистки, біфункціональний каталітичний реактор та насадочний абсорбер, розроблені рекомендації для практичного впровадження процесу технологічної очистки викидних газів енергетичних установок від NO_x .

Розроблені та випробувані датчик і прилад для кількісного вимірювання бризковиносу, пристосування для зрошення насадки масообмінних колон, як засіб зниження бризковиносу та спеціального розподільвача абсорбента блочної насадки. На прилад та пристосування подані заяви на патенти.

Наслідки досліджень рекомендовані для використання при роботі вихідних даних при проектуванні другої черги очистки викидних газів Зміївської ДРЕС і можуть бути використані при реконструкції установок азотоочистки продуктів згорання органічних палив пилевугільних блоків потужністю 215 МВт.

Апробація роботи. Результати роботи доповідались та обмірковувались на конференції держав СНД по хімічним реакторам "Хімреактор-II", м.Харків, 1992 р.; на розширеній науково-технічній раді Українського науково-дослідного та конструкторського інституту хімічного машинобудування, м.Харків, 1992 р.; на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів та наукових співробітників Харківського політехнічного інституту, м.Харків, 1990-1993 р.р.

Публікації. По темі дисертації опубліковано шість робіт, а дві заяви на патенти знаходяться на розгляді в комітеті по винаходах та відкриттям з присвоєними номерами реєстрації та датами оригітетів.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5-ти глав, висновків та додатків. Робота викладена на 105 сторінках машинописного тексту та має 23 малюнки та 5 таблиць. Список літератури містить 101 найменування робіт вітчизняних та закордонних авторів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Глава I. Огляд літератури, вибір напрямку досліджень.

Аналізуючи джерела інформації, встановлено, що найбільше розповсюдження, в тому числі і в очистці викидних газів енергетичних

установок, отримав селективно-каталітичний метод /СКВ/ відновлення NO_x аміаком.

Починаючи з 1964 року в світі, зокрема в Японії та Німеччині, почав спочатку вивчатися, а потім і застосовуватися абсорбційний метод. Аналіз показав, що підвищення окисленості NO_x , а також лінійної швидкості газо-повітряного потоку, приводить до інтенсифікації процесу абсорбції. Виявлено, що підвищення окисленості NO_x може бути досягнуто, як в процесі абсорбції, так і позаколонним методом - шляхом каталітичного окислення оксиду азоту. Використання регулярних блочних насадок дозволяє підвищити лінійну швидкість газо-повітряного потоку. На основі аналізу встановлена можливість промислової реалізації в Україні каталітичних та абсорбційних методів очистки та показано, що впровадження методу СКВ на сьогоднішній день проблематично у зв'язку з відсутністю промислової бази виробництва каталізаторів селективної очистки. Разом з тим встановлено, що позаколонне окислення NO_x може бути реалізовано на каталізаторах, які випускає промисловість України, а процес абсорбції здійснений при високих лінійних швидкостях на блочних контактних елементах, які розроблені на кафедрі хімічної технології неорганічних речовин, каталізу та екології /ХТНР,К та Е/ Харківського політехнічного інституту /ХПІ/.

Вищеприведене і обумовило вибір напрямку і завдання дослідження - контактнo-абсорбційний метод очистки викидних газів енергетичних установок від оксидів азоту, попередньо окислених на вітчизняних каталізаторах та відновлених до азоту водними розчинами карбаміду в абсорбції з регулярною блочною насадкою.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Глава 2. Дослідження каталітичних та масообмінних процесів очистки газів від оксидів азоту. Лабораторні дослідження були проведені в два етапи. На першому - вивчено каталітичне окислення NO до NO_2 , на другому - абсорбція NO_x водним розчином сечовини. Процес позаколонного каталітичного окислення оксиду азоту /П/ в діоксид вивчався на установці проточного типу в інтегральному реакторі з гранульованим каталізатором. Аналіз нітrogenного газу проводився йодометричним методом.

Виконані раніше на кафедрі ХТНР,К та Е Харківського політехнічного інституту дослідження показали, що найвищу активність в процесі окислення NO проявляють такі промислові контакти, як змі-

шаний залізо-хромовий /СТК/ та наносний нікельовий /ДІАП-3-6Н/, а також дослідно-промисловий оксидно-кобальтовий /НК-ІЗ/. На цих каталізаторах і були проведені дані дослідження.

Процес окислення NO вивчався при таких технологічних параметрах: температура контактування - $150-350^\circ\text{C}$, лінійна швидкість газоповітряного потоку - $0,5-2,5$ м/с, час контактування - $0,06-0,5$ с, склад газової суміші: NO_x - $0,06$ %об. K_2 - решта.

На першому етапі досліджень позаколонного окислення NO були встановлені експериментальні залежності ступеня окислення оксиду азоту від температури /рис.1/.

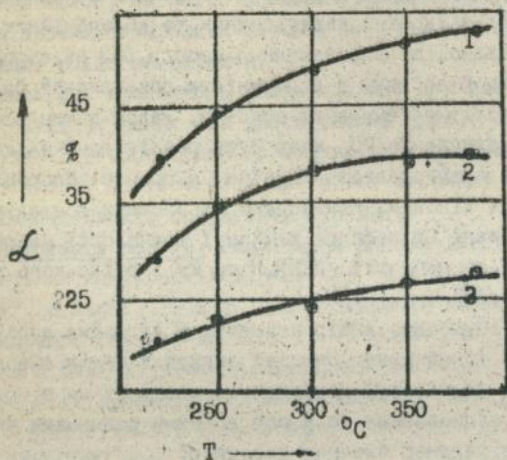


Рис. 1. Залежність ступеня окислення оксиду азоту / NO / від температури.

1 - НК-ІЗ; 2 - СТК; 3 - ДІАП-3-6Н;
 $V_T = 1,0$ м/с; $\tau = 0,22$ с.

Як видно із графіка, температурний режим процесу на контактах СТК та ДІАП-3-6Н впливає значно менше на ступінь окислення NO , ніж на каталізаторі НК-ІЗ. Саму високу активність /52 %/ при даних умовах процесу показав контакт НК-ІЗ, а із каталізаторів, які випускає промисловість - СТК /26 %/. Максимальна активність каталізатора ДІАП-3-6Н не викликає інтересу з точки зору практичного застосування його в промислових умовах. Дослідження дозволили визначити оптимальну / 325° / температуру процесу окислення NO на всіх

типах каталізаторів. Цьому визначення оптимальних значень лінійної швидкості та часу контактування на ступінь окислення NO проводились при оптимальній температурі.

Було встановлено, що на каталізаторі НК-ІЗ при лінійній швидкості 1,0 м/с максимальний ступінь окислення оксиду азоту 67 % досягає за 0,35 с. Подальше збільшення часу контактування не приводить до значного підвищення ступеня окислення NO. На каталізаторі СТК при цих же умовах був досягнений ступінь окислення NO близько 40 %.

Дослідження залежності ступеня окислення NO від лінійної швидкості дозволило встановити значний вплив зовнідифузій гальмування на кінетику процесу. У всьому діапазоні варіювання лінійної швидкості від 0,5 до 2,5 м/с спостерігається / рис. 2 / істотне підвищення ступеня окислення NO. Так, наприклад, підвищення лінійної швидкості з 1 м/с до 2 м/с приводить до збільшення ступеня окислення NO в 1,5 рази і на каталізаторі НК-ІЗ досягає 80 %.

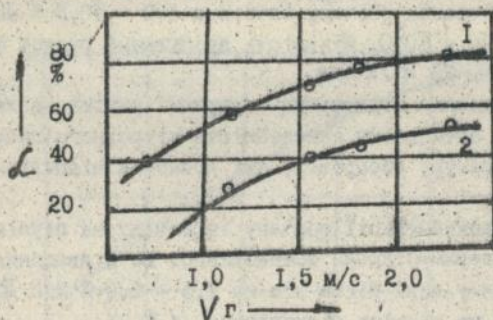


Рис. 2. Залежність ступеня окислення оксиду азоту Π від лінійної швидкості.

1 - НК-ІЗ; 2 - СТК; $T = 325^{\circ}\text{C}$; $\tau = 0,35$ с.

Обробка експериментальних результатів методом Брондона дозволила розробити кінетичну модель процесу окислення на базовому каталізаторі марки НК-ІЗ в межах температур $300 - 325^{\circ}\text{C}$, часу контактування 0,3 - 0,35 с, лінійній швидкості газо-повітряного потоку 1,0 - 2,5 м/с, яка має вигляд:

$$L = \frac{T_0}{T} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^{0,5} \cdot \frac{V_0}{V_r} \cdot 100 \quad , \quad /1/$$

де α - ступінь окислення NO , % об.;

τ та τ_0 - реальний та початковий час контактування, с;

V_r та V_0 - реальна та початкова лінійна швидкість газо-повітряного потоку, м/с;

T та T_0 - реальна та початкова температура контактування, $^{\circ}\text{C}$.

Таким чином, при використанні дослідно-промислового каталізатора НК-ІЗ можливо досягти прискорення реакції окислення NO до NO_2 в 500 разів, по зрівнянню з гомогенним окисленням, в той час як на СТК та ДІАП-3-6Н відповідно в 160 та 55 разів.

На другому етапі досліджень вивчався процес відновлення NO_x водними розчинами карбаміду. Після каталітичного окислення газова суміш надходила в абсорбційну колонку, яка являє собою порожнисту трубу / $L = 1000$ мм, $\varnothing = 20$ мм/. Газ в колонку подавали знизу, а розчин карбаміду зверху протитечею. Процес відновлення NO_x розчинами карбаміду вивчали при таких умовах: окисленість нітрозного газу 20 - 60 %; лінійна швидкість газо-повітряного потоку - 1,0 - 3,5 м/с, концентрація розчину сечовини 1,0 - 10,0 % мас.; температура розчину 20 - 60 $^{\circ}\text{C}$. Щільність зрошування рідкої фази підтримувалась в межах 20 м³/м²год.

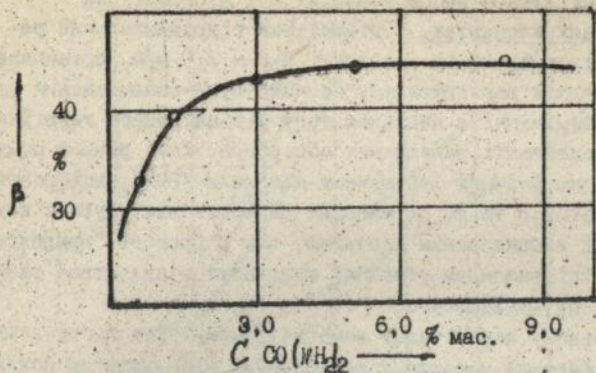
Попередні дослідження підтвердили одержані раніше на кафедрі ХТНР, К та Е дані про оптимальну окисленість нітрозного газу та про оптимальну температуру абсорбції, які досягали відповідно 50 - 55 % та 20 $^{\circ}\text{C}$.

Вивчаючи вплив концентрації розчину карбаміду на ступінь відновлення NO_x , експериментально встановлено, що підвищення концентрації сечовини у воді більш ніж на 1,5 - 2,0 % мас /рис.3/ практично не впливає на ступінь відновлення / β /.

Так, збільшення концентрації карбаміду з 1,0 до 2,0 % мас. приводить до підвищення ступеня відновлення NO_x з 20 до 41 % у той час, як зростання концентрації з 2,5 до 9,0 % мас. збільшує з 42 до 43,5 %.

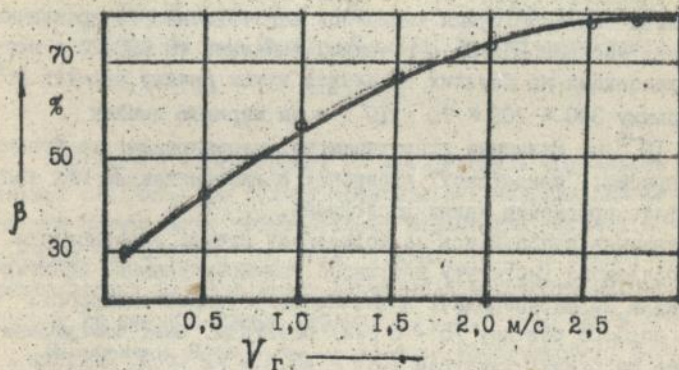
Важливими є результати досліджень впливу лінійної швидкості газу на ступінь відновлення оксидів азоту /рис.4/.

Аналіз результатів досліджень показує, що з підвищенням лінійної швидкості газової суміші від 1,0 до 2,5 м/с спостерігається значне підвищення ступеня відновлення NO_x аж до 80 %. Подальше зростання лінійної швидкості більше ніж 2,5 м/с при оптимальних технологічних параметрах процесу незначно підвищує ступінь відновлення NO_x до 82 - 85 %.



Виг. 3. Залежність ступеня відновлення NO_x від концентрації розчину карбаміду.

$$V_r = 1,0 \text{ м/с}; C_{NO_x} = 0,06 \text{ \%об.}; T = 22^\circ\text{C}.$$



Виг. 4. Залежність ступеня відновлення оксидів азоту від лінійної швидкості газу.

$$\tau = 0,53 - 2,25 \text{ с}; L_{NO_x} = 55 \text{ \%};$$

$$T = 20^\circ\text{C}; C_{(NH_2)_2CO} = 2,0 \text{ \% мас.};$$

$$P_{ар} = 20 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$$

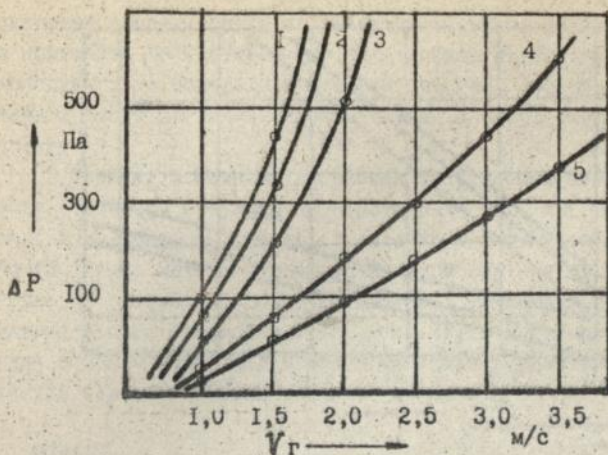
Глава 3. Дослідження процесу швидкісної абсорбції на блокових контактних елементах. Оптимальний гідродинамічний режим, який відповідає лінійній швидкості 2,5 - 3,0 м/с, встановлений нами в попередніх дослідженнях, не може бути впроваджений на експлуатуемому обладнанні з насадкою типу кільця Рашига та сідла Інталокс із-за можливості захлинання абсорбера. Такі режими можуть бути реалізовані на блочних керамічних насадках /БНК/, які розроблені на кафедрі ХТНР,К та Е. Ця насадка дозволяє ліквідувати недоліки, які присущі вищеназваним насадкам, але в процесі "швидкісної" абсорбції з підвищенням лінійної швидкості з'являється таке негативне явище, як бризковинос.

На Слав'янському керамічному комбінаті нами була виготовлена дослідна партія блочної насадки з продольними канавками на похилих каналах /БНГ/, які руйнують суцільну плівку рідини і, таким чином, різко зменшують бризковинос. Перед виготовленням насадки була розроблена математична модель, яка дозволяла розрахувати розміри та кількість канавок в залежності від фізико-хімічних властивостей рідини та параметрів процесу.

Найбільш технологічними виявились виготовлення та практичне застосування насадок БНК-25 з гладкими каналами та БНГ-25 з продольними канавками на похилих каналах з кутом похилу каналів 45° , розміром блоку $300 \times 200 \times 70 \cdot 10^{-3}$ м та шириною ячейки $50 \times 25 \cdot 10^{-3}$ м. Вивчення гідродинаміки, масопередачі та бризковиносу в процесі "швидкісної" абсорбції з використанням цих типів насадок стало предметом наших досліджень.

Дослідження проводились на модельному стенді Українського науково-дослідного інституту хімічного машинобудування. Ефективність насадки по масопередачі визначалась в процесі десорбції аміаку із водного розчину /5 - 6 г/л/ повітрям. Межі вимірювань навантажень по рідині складали $10,5 - 48,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$. Лінійна швидкість повітря підтримувалась в межах 0,5 - 3,5 м/с.

На рис.5 приведені залежності гідравлічного опору різних типів насадок від лінійної швидкості. Ці дані свідчать про те, що при лінійній швидкості 1,5 м/с ΔP для БНК та БНГ у 3 - 8 разів нижче ніж у промислових насадок, а в діапазоні високих лінійних швидкостей - 2,0 м/с та більше - стабільно роблять тільки БНК та БНГ, їх гідравлічний опір при лінійній швидкості 3,5 м/с має конкретні значення ΔP , які дорівнюють відповідно 600 та 470 Па.



Ем. 5. Гідрравлічний опір різних типів насадок

$P_{зр} = 30 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$; 1 - сідла Інталокс;
 2 - кільця Рашига /нав./; 3 - кільця Рашига /рег./;
 4 - БНК; 5 - БНГ.

Порівняння ефективності по масопередачі регулярних типів насадок свідчить про більшу ефективність насадки БНК-25 /рис.6/, яка при оптимальних технологічних параметрах процесу абсорбції дорівнює $K_v = 1,8 \cdot 10^5 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$, тоді як експлуатуємі в промисловості насадки мають значення коефіцієнту масопередачі, при цих же технологічних умовах, $K_v = 0,7 \cdot 10^5 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$.

Поступаючи усим типам насадок по ефективності, БНГ-25 / $K_v = 0,7 - 0,8 \cdot 10^5 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$ при $P_{зр} = 40 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ має велике технологічне значення і, як буде показано в главі 5, практично повністю нівелює таке шкідливе явище, як бризковинос. При цьому її треба укладати у верхню частину абсорбера в кількості 10 % від загального об'єму блочної насадки.

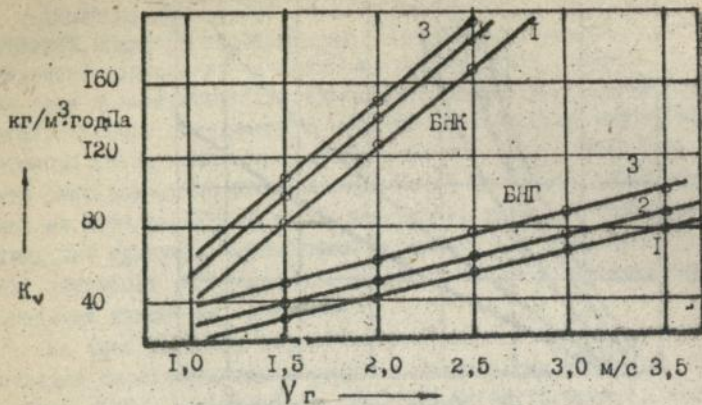


Рис. 6. Порівняння ефективності по масопередачі регулярних типів насадок.

$$P_{\text{ар}} = \text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}; \quad 1 - 20; \quad 2 - 30; \quad 3 - 40.$$

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Глава 4. Основні технічні рішення. Аналіз перспективних зарубіжних розробок в галузі екології показав доцільність використання контактної-абсорбційних методів очистки викидних газів теплоенергетичних установок. Результати виконаних досліджень дозволили запропонувати метод та апаратне оформлення контактної-абсорбційної нейтралізації оксидів азоту.

Особливістю метода являється безреагентне каталітичне окислення монооксидів, які містяться в продуктах згорання до еквімолярного співвідношення моно та діоксидів азоту з послідовним абсорбційним відновленням оксидів до молекулярного азоту та води 1,5 - 2 %-им розчином карбаміду. Відповідно до характеристик каталізатора, який використовується в даному процесі, окислення протікає в інтервалі температур 200 - 350°C, а відновлення нижче 35°C. В умовах денітрофікації продуктів згорання природного газу та мазуту стадій каталітичного окислення можливо здійснювати у відповідній температурній зоні газового потоку енергоустановки без попереднього підігріву газу. При очистці продуктів згорання твердого палива, обов'язкова

попередня очистка газів від твердих частинок та оксидів сірки, що приводить до необхідності додаткового підігріву викидних газів, охолоджених на попередніх стадіях очистки. Абсорбційне відновлення оксидів азоту проводиться безпосередньо перед викидом газів в атмосферу.

В Україні основними джерелами забруднення атмосфери оксидами азоту являються потужні енергоустановки ТЕС, які працюють на низькоякісному твердому паливі. У зв'язку з цим, на основі контактної-абсорбційного методу нами пропонується варіант технології та апаратурного оформлення денітрофікаційної установки викидних газів пилевугільного енергоблоку ТЕС /рис.7/, в якому передбачена попередня очистка газів від твердих частинок в електрофільтрі, а від оксидів сірки – відомим вапняним методом.

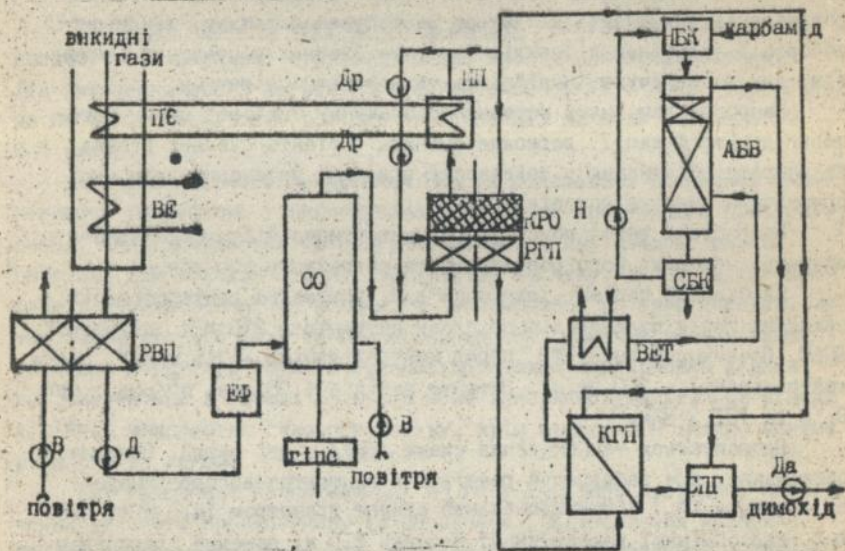


Рис. 7. Схема для комплексної газоочистки димових газів пилевугільного котла блока 215 МВт Зміївської ДРЕС.

На очистку газу поступають з температурою 48 - 50°C. Для забезпечення теплового режиму каталітичного окислення передбачається підігрів газів до 300 - 350°C у регенеративному газо-газовому /РГП/ та парогазовому /ПП/ підігрівачах. Окислення моноокси-

дів азоту здійснюється в каталітичному реакторі /КРО/, який розташовується в "гарячій" зоні регенеративного підігрівача газів. Відзнакою каталітичної частини пропонуємої схеми являється використання біфункціонального апарату /каталітичний реактор - регенеративний підігрівач/ та парового підігрівача /ПП/ для забезпечення необхідного режиму каталітичного окислення. Гази, які містять моно та діоксиди азоту в еквімолярному співвідношенні, частково охолоджені потоком газів у біфункціональному апараті, потім послідовно охолоджуються в рекуперативному газогазовому теплообміннику /КП/, у водяному економайзері /ВЕТ/ і при температурі 45 - 50°C подаються в абсорбер. В ньому здійснюється відновлення оксидів азоту 1,5 - 2 %-ним розчином карбаміду. Ступень відновлення оксидів азоту складає 80 %. Особливістю абсорбційної частини розробленої технології являється застосування режиму "швидкісної" абсорбції відновлення оксидів азоту та блочних контактних елементів, які забезпечують надійність технологічного режиму.

Запропонована нами методика розрахунку теплової схеми установки денітрофікації дозволяє оцінити варіанти схемних рішень та вибрати обладнання у залежності від типу установки, для якої призначена дана технологія.

Розроблена також конструкція контактного біфункціонального апарату, методика його розрахунку та розрахунку абсорбера.

Як базовий варіант, запропонована установка денітрофікації викидних газів пилевугільного блоку потужністю 215 МВт Зміївської ДРЕС. Початковий вміст NO_x перед нейтралізацією - 715 мг/м³, після нейтралізації - 200 мг/м³. Витрати газів - 1,08 млн. м³/год. при 0 °С та 101,3 кПа.

Пропонується технологічна схема /ДНУ/ у дві нитки. Основне обладнання, яке забезпечує реалізацію контактної-абсорбційної відновлення NO_x : біфункціональний апарат діаметром 14,5 м та висотою теплообмінної каталітичної насадки 2,0 м; паровий підігрівач газів тепловою потужністю 26,5 МВт; водяний економайзер технічної води тепловою потужністю 18,9 МВт та поверхнею нагріву 3500 м²; абсорбер діаметром 12 м та висотою 8 м.

Біфункціональний каталітичний реактор являє собою теплообмінник і має нерухому теплоакуючу насадку, яка розділена шільною циліндричною перегородкою на дві зони - "гарячу" з внутрішнім діаметром 10,5 м та "холодну" зовнішню зону. Кожна із зон радіальними перфорітованими перегородками розділена на 24 сектори. Між перего-

родками розташований гранульований каталізатор НК-ІЗ об'ємом 80 м³. У верхній частині корпусу встановлені кільцеві кробоа з патрубками підводу та відводу "холодних" газів до теплоакumuлюючої насадки, а "гарячих" - до секторів каталітичного реактору. Кільцеві підводи встановлені на опорах, між ними та теплоакumuлюючою насадкою знаходиться дисковий розподільвач з секторами вікон для проходження газів, який обертається.

Абсорбер має стандартну форму діаметром 12 м та висотою 8 м. Він завантажений блочною керамічною насадкою БНК-БНГ об'ємом 670 м³. БНГ завантажується над БНК і складає 10 % /70 м³/ від загального об'єму. Над насадкою по всьому периметру абсорбера рівномірно встановлені І4 спеціальних зрошувальних пристосувань для подачі рідинної фази.

Глава 5. Еколого-економічні рішення. Реалізація інтенсивних процесів масопередачі супроводжується зростанням бризковиносу. Для зменшення цього негативного явища розроблена блочна гофрована насадка, результати досліджень абсорбції на якій викладені в 3-й главі.

Для рівномірного зрошування БНК та подальшого зменшення бризковиносу розроблено і випробувано спеціальне зрошувальне пристосування, яке складається із напірної плити, в яку введені гнучкі патрубки для локальної подачі рідини на насадку. Вільні кінці патрубків перфорировані та рівномірно розташовані по краю насадки, шр тим самим вилучає одну із зон бризковиносу. Кінцічне розташування та число патрубків служить бризковідбійником для крапель рідини, які виносяться з газом. Зрошувач може використовуватись при різних лінійних швидкостях газового потоку, крім цього, він значно менших розмірів та легший.

При граничних навантаженнях по газу і рідині проведені дослідження якісного бризковиносу із абсорбера. Застосування насадки БНГ та спеціального зрошувача дозволило на 70 % зменшити бризковинос із колони у порівнянні з насадкою БНК та промисловим зрошувачем Головачевського.

Розроблено та випробувано пристосування для заміру бризковиносу в масообмінних колонах, яке складається із стандартного лічильника імпульсів та датчика приймання сигналу. Воно також містить в собі обтікач, бризкоуловлювач та вологосбірник з калібровою крапель, під яким розташовані гольчаті електроди, відстань між якими не перевищує діаметр випускного отвіру калібратора.

Факт замикання краплею електродів фіксується лічильником імпульсів. Датчик призначається для безперервного вимірювання бризковиносу із масообмінної колони в одиниці площі поверхні за одиницю часу з урахуванням бризок різного розміру. Пристосування може бути використано при проведенні технологічного процесу навіть в агресивному газо-рідинному середовищі, як постійно діючого датчика величини бризковиносу.

Розроблений контактний-абсорбційний метод дозволяє нейтралізувати до 60 % оксидів азоту, що забезпечує норми, які вимагаються ГДЗ по оксидам азоту відповідно для установок ТЕС та промислових підприємств при такому вмісті оксидів азоту в неочищених газах: при спалюванні природного газу 600 та 1200, мазуту - 900 та 1500, бурого вугілля - 1100 та 1500, кам'яного вугілля - 1200 та 1500.

По зарубіжним даним 80 %-на денітрофікація для енергоустановок ТЕС вважається оптимальною, оскільки при збільшенні ефективності очистки від 80 до 90 % витрати на її реалізацію збільшуються в 2 рази і можуть досягти 40 % вартості всього обладнання енергоблоку.

При порівнянні з об'єктом-аналогом, в якому використовується традиційний метод селективного каталітичного відновлення оксидів азоту аміаком, розроблена технологія та апаратурне оформлення для денітрофікації викидних газів пилевугільного енергоблоку потужністю 215 МВт, яка характеризується такими перевагами:

- підвищенням екологічної безпеки ДНУ, надійності її експлуатації, а також зменшенням витрат на спорудження сховища та вузла підготовки і транспортування відновника внаслідок заміни аміаку на водний розчин карбаміду;

- скороченням матеріаломожності установки внаслідок поєднання в біфункціональному апараті каталітичного реактора та регенеративного теплообмінника, а також використання "швидкісного" абсорбера з БНК;

- значним зменшенням валютних витрат внаслідок використання для технологічного процесу каталізатора НК-ІЗ, який виробляється в Україні замість імпортного постачання, та парового підігрівача замість термічного, який працює на дефіцитному природному газі.

ВИСНОВКИ

1. Вивчена активність вітчизняних промислових зразків ката- лізаторів у процесі окислення монооксиду азоту. Встановлено, що найбільшу активність має кобальтовий катализатор типу НК-13, який дозволяє в 500 разів збільшити швидкість процесу в порівнянні з гомогенним окисленням.

2. Досліджені кінетичні закономірності процесу окислення монооксиду азоту на катализаторі НК-13 та визначені оптимальні па- раметри окислення оксиду азоту /П/:

температура - 325°C ; час контактування - 0,3 - 0,35 с;

лінійна швидкість газо-повітряного потоку - 2 м/с.

Розроблена математична модель процесу.

3. Виконані дослідження процесу рідинної абсорбції NO_x роз- чинами сечовини. Експериментально підтверджено, що для номінально- го поглинання NO_x водним розчином карбаміду окисленість нітрово- го газу повинна бути 50 - 55 %. Встановлені оптимальні параметри процесу відновлення NO_x до ГДВ, а саме: концентрація сечовини - 2 % мас.; температура 20 - 25°C ; лінійна швидкість газо-повітряно- го потоку - 2,5 м/с.

4. Вивчені основні характеристики масообмінних елементів БНГ-25, які пропонуються для реалізації "швидкісної" абсорбції. Встановлено, що блочні контактні елементи БНГ-25 дозволяють прово- дити процес абсорбції при щільності зрошення $30 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$, ліній- ній швидкості - більш ніж 2,5 м/с та мінімальному бризковиносу.

5. Пропонуються технічні рішення, які спрямовані на зменшення бризковиносу. Показано, що запропоноване зрошувальне пристосування з гнучкими патрубками дозволяє вдвічі зменшити бризковинос, а дат- чик контролю бризковиносу може ефективно функціонувати в корозій- ному газовому середовищі.

6. Розроблен контактнo-абсорбційний метод очистки викидних газів від NO_x та запропонован варіант технологічної схеми для його промислової реалізації, основними апаратами якої є біфункціональ- ний каталітичний реактор та "швидкісний" абсорбер.

7. Проведена еколого-економічна оцінка запропонованих техніч- них рішень. Показано, що для досягнення норм ГДВ достатньо 50 % окисленості нітrogenого газу та 80 % ступеня відновлення NO_x . Економічна ефективність методу досягається за рахунок застосування біфункціонального реактора та БНК, які дозволили збільшити лінійну

швидкість газу, що привело до значного зниження матеріалоемкості системи. Застосування карбаміду, як відновлювача, замість зміаку підвищує екологічну безпеку методу.

Основні матеріали дисертації опубліковані у таких роботах:

1. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М., Бернштам В.А., Манзон І.М. Математичне моделювання засобів зменшення бризковиносу в абсорбційній системі.// Тез. допов. Всес. конф. "Хіміреактор-II" - Харків.-1992.-ч.І.-с.168.
2. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М., Бернштам В.А., Шалунов Д.В. Бризковинос та його вимірювання в процесі "швидкісної" абсорбції.// Респ. збірн. "Питання хімії та хімічної технології".-Дніпропетровськ.-1992.-№ 99.- с. 43.
3. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М. Вимірювання бризковиносу в процесі "швидкісної" абсорбції.// Журн. "Хімічна промисловість".-М.-1993.-№ 6.-с.260.
4. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М. Математична модель каталітичного окислення оксидів азоту.// Тез. допов.перш. Укр. наук.-метод. конф. "Автоматика, управління та автоматизація технологічних процесів, екологічного контролю та моніторингу".- Харків-Алушта.-травень 1993.- с. 41.
5. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М. Нейтралізація оксидів азоту в процесі "швидкісної" абсорбції розчином карбаміду.// Там же. - с.60.
6. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М., Чуваєва Н.М. Автоматизована система контактної-абсорбційної очистки викидних газів ТЕС від оксидів азоту.// Там же. - с. 132 .
7. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М. та інш. Пристосування для вимірювання бризковиносу у масообмінних колонах.// Заявка на патент СНД, № Держ. реєстрації 5055292, дата пріоритету від 20.07.92.
8. Тошинський В.І., Лобойко О.Я., Ришенко І.М. та інш. Осередок пристосування для зрошування насадки масообмінної колони.// Заявка на патент СНД, № Держ. реєстрації 5066485, дата пріоритету від 31.08.92.

Відповідальний випусковий *К.Т.Н., доц. Ворошбіян М.У.*

Підп. до друку *15.11.95* Формат 60×84^{1/16}. Папір. друк. Друк офсетний.
Умовн. друк. арк. *1,0* Умовн. фарбо-відб. *1,4* Облік-вид. арк. *1,0*
Тираж *100* прим. Зам. № *2444*. Безплатно.

Харківське орендне поліграфічне підприємство.
310093, Харків, вул. Свердлова, 118.

161100

AB 28.846

AB 28.846