

Для досягнення ще більшого ущільнення шламів, що досліджуються, і зневоднення було вирішено продовжувати триваліше їх оброблення постійним струмом електрики з напругою 200 В. Під час проведення досліду через кожні 5 хв (300 с) знімали показники витрат електроенергії і розраховували питому електропровідність і коефіцієнт фільтрації (рис. 2).

Швидке ущільнення твердої фази шламу і зневоднення його починалось на другій годині обробки постійним струмом електрики. За відключення джерела напруги в електричній мережі виявлялась наявність електричного струму. Із шламу видалялись рештки вологи, твердий шлам переставав бути електропровідним, зменшувались до нуля електропровідність і витрати електроенергії за максимуму коефіцієнта фільтрації.

За збільшення ступеня ущільнення шламу все меншими стають шпари і діаметри капілярів отворів у твердому шламі, що приводить, очевидно, до створення подвійного електричного шару на поверхні розділу фаз і виявлення закономірностей електроосмосу і електрофорезу [2].

Зроблені розрахунки діаметрів капілярів у зневодненому шламі підтвердили їх розмір на рівні 4–10 Å, що дає змогу стверджувати, що ці капіляри і шпари ототожнюють іонні і зворотноосматичні канали мембран [3, с. 92]. Можливо також, що в останній момент фільтрації і зневоднення шламу ми маємо справу з потенціалом течії.

Ця робота дає змогу стверджувати, що можливе регулювання зневоднення металургійного шламу, що вміщає залізо, під дією гравітаційних сил з їх обробленням постійним струмом електрики. Часткове зневоднення шламів до 20 % вологи у них достатнє для використання у шихті для виплавки чавуну. При цьому можливо зменшити обов'язкове зволоження шихти і відмовитись від фільтрації шламів на вакуумних фільтрах. Це дасть значну економію і скоротить трудові і енергетичні витрати.

1. Бакеев М.И. Гидратация и физико-химические свойства растворов электролитов. – Алма-Ата.: Наука, 1978. – 244 с. 2. Григоров О.Н. Электрокинетические явления: Курс лекций. – Л.: Изд. Ленинградского университета, 1973. – 198 с. 3. Антонченко В.Я. Физика воды. – К.: Наук. думка, 1986. – 127 с.

УДК 544.2:519.8

С.О. Примиська, А.М. Меренгер, Ю.О. Безносик, Г.О. Статюха, ¹В.П. Решетіловський
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
¹Institut für Technische Chemie Technische Universität Dresden, Germany

ОЧИСТКА ВИКИДНЫХ ГАЗОВ ВД ОКСИДОВ СУЛЬФУРУ ТА АЗОТУ (II) НА ШТУЧНЫХ ЦЕОЛИТАХ

© Примиська С.О., Меренгер А.М., Безносик Ю.О., Статюха Г.О., Решетіловський В.П., 2010

Розвиток і впровадження нових технологій відіграє важливу роль у вирішенні проблеми очищення відкидних газів. Адсорбція на цеолітах – метод, який особливо ефективний для видалення оксидів низьких концентрацій, вивчення параметрів адсорбції оксидів сульфуру та азоту.

Development and introduction of new gas clearing technologies will play a significant role for decision the problem of gas cleaning processes. The purpose of this work is a studying of operation factors of adsorption of NO_x and SO₂ development of the mathematical model of this process with following using in practice.

Постановка проблеми і її зв'язок з важливими науковими завданнями. Аналіз екологічної ситуації сьогодні показує, що найважливішими проблемами на планеті є смог і викиди, що викликають парниковий ефект, утворення кислотних дощів. Це зумовлено вмістом в атмосфері SO₂,

NO_x, CO₂ і деяких вуглеводнів, що виявляють високу хімічну активність. Оксиди азоту NO_x (NO і NO₂) та сірки (SO₂) – одні з найнебезпечніших забруднювачів атмосферного повітря. Одним з перспективних напрямків в очищенні димових газів є сорбційні методи, що ґрунтуються на поглинанні оксидів різними сорбентами. Найприйнятнішими адсорбентами у цьому разі можна вважати синтетичні цеоліти, що мають дуже розвинуту внутрішню поверхню і здатні вибірково сорбувати молекули з газової суміші. На противагу іншим методам, адсорбція оксидів азоту та сірки на цеолітах – альтернативний метод, який особливо ефективний для видалення оксидів азоту та сірки низьких концентрацій.

Мета роботи – експериментально дослідити параметри адсорбції оксидів азоту та сірки з потоку газового середовища, побудувати математичний опис та визначити оптимальні параметри цього процесу з подальшим використанням його у практиці.

Адсорбційні процеси піддаються найскладнішому математичному опису внаслідок великого розмаїття кінетичних чинників, що супроводжують дифузію сорбату в макро-, мезо- і мікропорах сорбенту і необхідністю врахування специфічних характеристик як самого сорбенту (наприклад, склад і властивості активних центрів, умови регенерації), так і особливостей взаємодії в конкретній системі адсорбент – адсорбат і на стадії адсорбції, і на стадії регенерації. У зв'язку з цим становить інтерес розроблення математичної моделі оксидів азоту та сірки на цеолітах [1].

Робота виконувалась згідно з держбюджетним замовленням М84-2008 «Розробка технології адсорбційного очищення викидних газів на цеолітах» пріоритетного напрямку «Збереження навколишнього природного середовища та сталий розвиток».

Експериментальне дослідження. Цеоліти, що містять велику кількість катіонів, здатні ефективно і селективно вилучати різні іони з газів, забезпечувати їхнє концентрування. Цеоліти адсорбують лише ті молекули, критичний діаметр яких відповідає розмірам каналів структури каркаса. Дрібні розміри каналів зумовлюють здатність цеолітів до різко вираженої вибіркової адсорбції. Для оцінки можливості адсорбції молекул цеолітами використовують газокінетичний діаметр, зумовлений молекулярними властивостями речовин. Вибіркова адсорбція на цеолітах можлива і тоді, коли молекули усіх компонентів суміші досить малі і вільно проникають в адсорбційний простір. За інших умов обмінні катіони є адсорбційними центрами і визначають специфіку взаємодії під час адсорбції на цеолітах молекул різної будови та електронної структури. Змінюючи природу та розмір обмінного катіона, можна підсилити чи послабити енергію адсорбції. Крім взаємодії з позитивним зарядом катіонів, молекула адсорбата має сильний дисперсійний вплив з боку інших атомів, що утворюють стінки каналів цеоліту. Одне з важливих питань адсорбційної взаємодії на цеолітах – з'ясування природи активних центрів.

Експериментальне дослідження процесу адсорбції оксидів проводили на синтетичних цеолітах Х- та А-типу (виробництва Süd Chemie) в ізотермічних умовах за концентрації оксидів в потоці 5 %. У процесі експериментування досліджували вплив таких параметрів, як витрата газу, температура. Значення концентрації оксидів на виході з адсорбера фіксували методом масо-спектрометрії. На основі отриманих даних побудовано характеристичні криві залежності концентрації оксидів азоту на виході з адсорбера з часом. Криві мають фактично прямокутну форму (фактично миттєво досягається насичення адсорбенту). За збільшення витрати газу (5–20 л/год) та температури (25–50 °С) прискорюється процес насичення адсорбенту, за температури Т більше 35 °С і витрати газового потоку процес прискорюється незначно. Час насичення на цеолітах Х-типу значно перевищує час насичення на цеолітах А-типу, що говорить про вищу адсорбційну здатність цеолітів Х-типу.

Моделювання процесу очистки газів. Для математичного опису процесу адсорбції оксидів на цеолітах запропоновано математичну модель, побудовану на основі рівнянь матеріального балансу *i*-го шару по твердій і газовій фазах (1), (2) [2] з використанням рівняння для розрахування поглинальної здатності адсорбенту [3], у припущенні, що процес адсорбції-десорбції –

ізотермічний; залежність ступеня адсорбції від молярної частки компонента лінійна; дифузія речовин незначна, газовий потік через усі канали однаковий; відсутня дезактивація адсорбенту під час експерименту.

Насадку було поділено на N шарів і прийнято, що розподіл мольної частки (концентрації) NO по довжині шару лінійний, звідси матеріальний баланс на i -му шарі має вигляд:

за газовою фазою

$$\frac{dy_{\text{aux},i}}{dt} = \frac{2RT}{\varepsilon V_i P_t} \left\{ \frac{FP_t}{RT} (y_{\text{ex},i} - y_{\text{aux},i}) - k \cdot \bar{y}_i \cdot \theta_{V,i} \cdot q_0 \cdot w_i \right\}; \quad (1)$$

за твердою фазою

$$\theta_{V,i} = y_{\text{ex},i} \frac{dF}{dt} \frac{P_t M_{NO}}{RT} \left(t_n - \sum_0^{t_i \leq t_n} \frac{\bar{y}_i}{y_{\text{ex},i}} dt \right), \quad (2)$$

де $\bar{y}_i = (y_{\text{ex},i} - y_{\text{aux},i})/2$ – середня молярна частка газу на i -му шарі; k – константа адсорбції, с^{-1} ; $\theta_v = (q_0 - q)/q_0$ – адсорбційна здатність; q – кількість оксиду, що адсорбується, на одиницю маси адсорбенту, кмоль/кг ; q_0 – поглинена кількість оксиду, що адсорбується, на одиницю маси адсорбенту, кмоль/кг ; t_n – час насичення адсорбенту, год ; V – об'єм насадки, м^3 ; w – маса насадки, кг ; N – кількість шарів; $V_i = V/N$ – об'єм шару, м^3 ; $w_i = w/N$ – маса шару, кг .

Порівняння експериментальних даних з даними, отриманими за моделлю. На рис. 1 та 2 порівняно експериментальні дані з даними, отриманими за моделлю; зображено залежність концентрації оксидів азоту на виході з адсорбера з часом за температури 25, 35, 45 $^{\circ}\text{C}$ і витрати газового потоку 5, 10, 15 л/год на цеолітах 13X, LiLSX відповідно.

Адекватність моделі даним, отриманим у результаті проведення експериментів, здійснювали за критерієм Кохрена, розраховане значення якого виявилось значно меншим від теоретичного ($G_p = 0.07665 < G_T(0.05, 1, 60) = 0.1737$). Отже, запропонована модель адекватно описує процес адсорбції оксидів на цеоліті і її можна використовувати під час удосконалення та розроблення нового обладнання для очищення газів від шкідливих речовин.

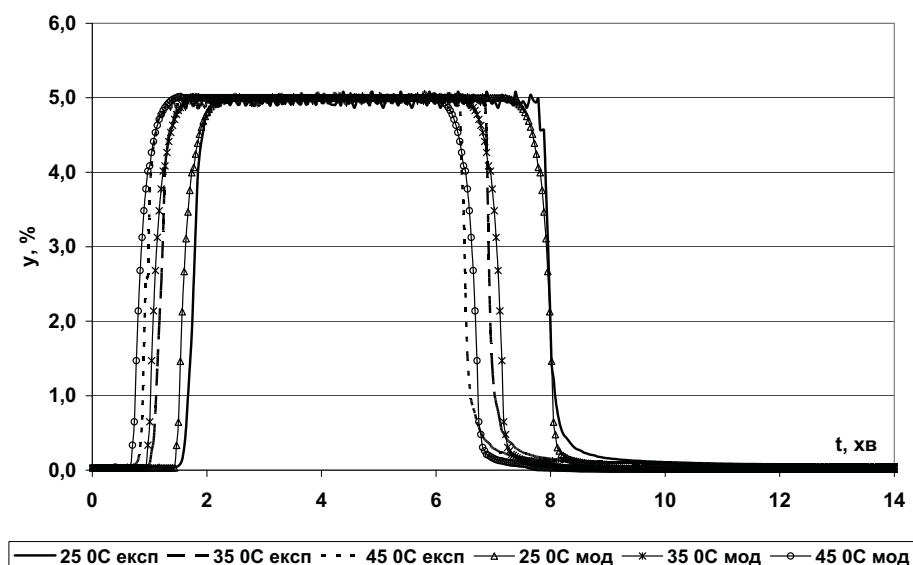


Рис. 1. Порівняння концентрацій NO на виході з адсорбера з часом за зміни температури

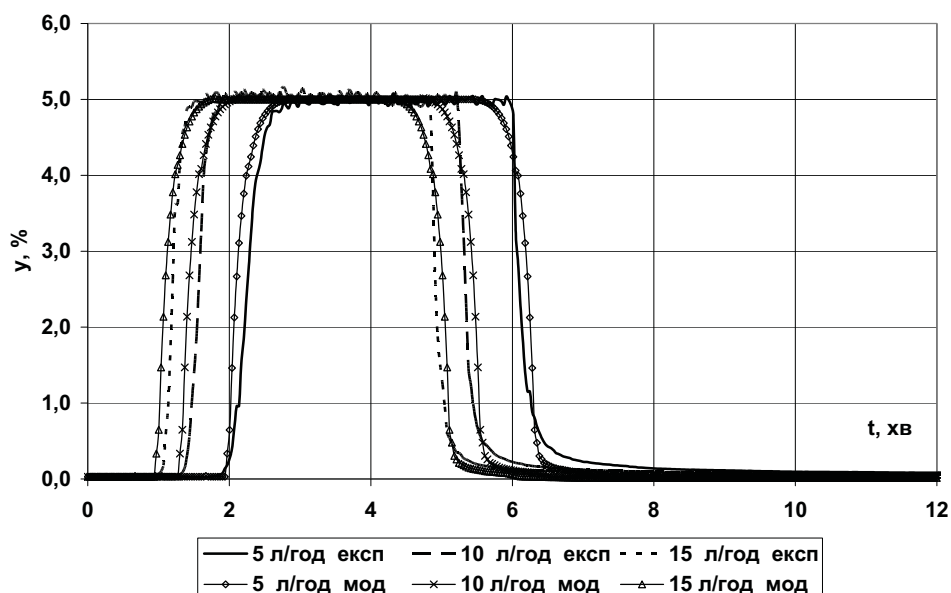


Рис. 2. Порівняння концентрацій NO на виході з адсорбера з часом за зміни витрати газового потоку

Висновки. В результаті дослідження було визначено, що процес адсорбції оксидів азоту та сірки ефективно перебігає на синтетичних цеолітах X-типу (досягається майже 100 %-не поглинання оксидів адсорбентом). Визначено оптимальні умови проведення процесу та доведено доцільність використання математичного моделювання під час проектування технологій та приладів очистки газів від шкідливих речовин.

1. Примиська С.О., Безносик Ю.О., Решетіловський В.П. Роль математичного моделювання в процесах знешкодження відкидних газів // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2008. – №4/5(34). – С. 41–44. 2. Примиська С.О. та ін. Дослідження та моделювання процесів адсорбції/десорбції оксидів азоту на цеолітах // *Наукові Вісті НТУУ “КПІ”*. – 2009. – №5(61). – С. 109–114. 3. Reschetilowski W. *Technisch-Chemisches Praktikum*. – WILEY-VCH Verlag GmbH. – 2002. – P. 120 – 131.