

для природної форми, що вказує на поєднання іонного обміну та “ситового” ефекту для даного елемента.

Нами було встановлено [1], що Pd(II) краще сорбується на природному клиноптилоліті із аміачних розчинів (рН 10.5), ніж в нітратному середовищі на Н-клиноптилоліті. Сорбція паладію (II) проводилась в статичних умовах при різних концентраціях паладію для отримання кривих адсорбції. Дані досліджень подані в табл.2.

Таблиця 2

**Залежність максимального вмісту Pd<sup>2+</sup> на поверхні  
Н-клиноптилоліту від концентрації Pd<sup>2+</sup> у розчині**

Концентрація Pd <sup>2+</sup> , 10 <sup>5</sup> М	2.06	4.12	6.18	8.25
Концентрація HNO <sub>3</sub> , М	Величина сорбції, мкг/г сорбента			
14.00	397	555	1254	1269
7.00	381	510	838	1017
1.20	460	531	735	797
0.60	487	576	741	795
0.30	237	555	735	783
0.06	267	580	1062	1093

Як видно з табл.2, найбільшою ємністю володіє сорбент, оброблений 14М HNO<sub>3</sub>, а також 0.06М HNO<sub>3</sub>.

Проведені дослідження дозволяють рекомендувати використання Н-клиноптилоліту для концентрування та вилучення мікрокількостей паладію з простих та складних об'єктів.

1. *Vrublevs'ka T.Ya., Vrons'ka L.V., Korkuna O.Ya. and Matviychouk N.M. // Adsorption, Science and technology. 1999. Vol.17. № 1. P.29-35.* 2. *Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М., 1976.* 3. *Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н. и др. Природные цеолиты. М., 1985.*

УДК 66.074.371

Дерейко Х.О, Гумницький Я.М.  
ДУ “Львівська політехніка”, кафедра ХІПЕ

**ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ХЕМОСОРБЦІЇ SO<sub>2</sub>  
ЗА ДОПОМОГОЮ КОЕФІЦІЄНТА ПРИСКОРЕННЯ**

© Дерейко Х.О, Гумницький Я.М., 2000

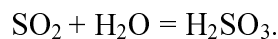
**Досліджений метод хемосорбційного поглинання діоксиду сірки вапняковою суспензією та здійснена його оцінка за допомогою коефіцієнта прискорення порівняно з фізичною абсорбцією.**

**At has been investigated the method of chemisorption absorption of sulphur dioxide by lime suspension and it has been performed its valuation by the help of acceleration coefficient in comparison with physical absorption.**

Діоксид сірки є одним з найбільш поширених забрудників атмосферного повітря. Він займає одне з перших місць як за кількістю викидів, так і за несприятливістю впливу на навколишнє середовище і, зокрема, на людину. Тому очищення газів від  $\text{SO}_2$  має важливе народногосподарське значення. Однак до теперішнього часу ця проблема повністю не вирішена, хоч існує велика кількість запропонованих і апробованих у виробничих умовах методів.

Останнім часом на практиці широко використовується метод абсорбційно-хімічного знешкодження від  $\text{SO}_2$  димових газів теплоелектростанцій, металургійних виробництв, заводів для спалювання твердих побутових і промислових відходів і інших джерел [1]. Абсорбція являє собою процес поглинання газу рідким поглиначем, в якому газ розчинний в тій чи іншій степені. При фізичній абсорбції розчинення газу не супроводжується хімічною реакцією (або принаймні ця реакція не має помітного впливу на процес). Повне вилучення компонента з газу при цьому можливе тільки при протічній процесі і подачі в абсорбер чистого поглинача, що не містить компонента [2]. При хемосорбції (абсорбція, що супроводжується хімічною реакцією) газовий компонент, що абсорбується, зв'язується у рідкій фазі у виді хімічної сполуки. Протікання хімічної реакції в процесі абсорбції має вплив як на рівновагу між фазами, так і на кінетику абсорбції. У цьому випадку кінетика абсорбції визначається не тільки швидкістю масообміну, але і кінетичними закономірностями реакції. При протіканні в рідкій фазі реакції між розчиненим газоподібним компонентом і поглиначем частина компонента переходить у зв'язаний стан, і концентрація вільного компонента в рідині знижується. Таке зниження приводить до збільшення концентраційного градієнта і прискорення абсорбції в рідкій фазі порівняно з фізичною абсорбцією. Це прискорення тим більше, чим вища швидкість хімічної реакції. Прискорення абсорбції при протіканні хімічної реакції в рідкій фазі може бути враховано: збільшенням коефіцієнта масовіддачі в рідкій фазі, якщо приймати рушійну силу такою ж, як і при фізичній абсорбції; збільшенням рушійної сили, якщо приймати коефіцієнт масовіддачі таким ж, як при фізичній абсорбції [3].

Найбільш розповсюдженими при очищенні сірчистих газів є абсорбційно-хімічні методи із застосуванням кальцієвого сорбенту [1]. На практиці застосовуються вапняки, крейда, доломіт, мергелі. В основі мокрого вапнякового методу очищення газу від діоксиду сірки лежить поглинання  $\text{SO}_2$  водою з подальшою нейтралізацією утвореної сірчистої кислоти вапняком. Сірчистий ангідрид при розчиненні у воді утворює малостійку сірчисту кислоту:



Вода розчиняє відносно невелику кількість двооксиду сірки. При визначеному співвідношенні  $\text{SO}_2$  в газах і сірчистої кислоти у воді настає стан рівноваги, при якому кількість  $\text{SO}_2$ , що розчиняється, дорівнює кількості, що виділяється з розчину. Щоб мати можливість повністю вилучити  $\text{SO}_2$  з газів, необхідно нейтралізувати утворену в розчині сірчисту кислоту і змістити рівновагу реакції вправо. Вапняк нейтралізує сірчисту кислоту з утворенням сірчистокислих солей кальцію  $\text{CaSO}_3$  і  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ . Сульфат кальцію в присутності кисню окислюється до сульфату кальцію  $\text{CaSO}_4$ . Кінцевим продуктом очищення є двоводний гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Швидкість фізичної абсорбції діоксиду сірки водою описується рівнянням:

$$\frac{dC}{d\tau} = \beta \cdot \sigma_i (C_e - C)_f$$

де  $C$  – концентрація  $\text{SO}_2$  в розчині,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\tau$  – час, с;  $\beta_L$  – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при фізичній абсорбції,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\sigma_L$  – питома поверхня рідкої фази,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $(C_r - C)_f$  – рушійна сила процесу фізичної абсорбції.

Аналогічно рівняння хемосорбції можна записати у вигляді:

$$\frac{dC}{d\tau} = \beta_{L, ch} \sigma_L (C_s - C)_{ch}$$

де  $\beta_{L, ch}$  – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при проходженні хімічної реакції;  $(C_r - C)_{ch}$  – рушійна сила процесу хемосорбції.

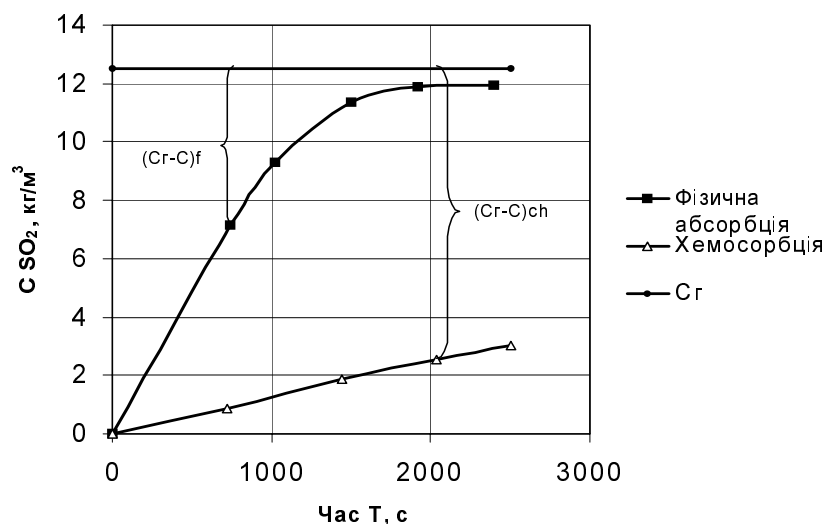
При фізичній абсорбції  $\text{SO}_2$  водою рушійною силою процесу є різниця між концентрацією  $\text{SO}_2$  на межі розділу фаз  $C_r$  і концентрацією його в розчині  $C$ . Для збільшення рушійної сили цього процесу, а отже, інтенсифікації процесу абсорбції концентрацію  $\text{SO}_2$  в розчині можна зменшити хімічною реакцією між  $\text{H}_2\text{SO}_3$  і  $\text{CaCO}_3$ . Тобто утворена при фізичній абсорбції сірчиста кислота витратиться на хімічну взаємодію з вапняком і при цьому рушійна сила процесу фізичної абсорбції збільшуватиметься. Звідси коефіцієнт прискорення абсорбції  $E$  в рідкій фазі при протіканні в ній хімічної реакції визначається як відношення рушійної сили процесу фізичної абсорбції до рушійної сили при хемосорбції:

$$E = \frac{(C_s - C)_{ch}}{(C_s - C)_f}$$

Для визначення коефіцієнта прискорення абсорбції  $\text{SO}_2$  при додаванні вапняку нами було змонтовано експериментальну установку і проведено серію експериментальних досліджень. Установка для дослідження процесу абсорбції діоксиду сірки складалася з таких частин:

- генератор  $\text{SO}_2$  (для одержання  $\text{SO}_2$  використовували реакцію розкладу  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  сірчаною кислотою);
- перистальтичний насос для подачі сірчаної кислоти в генератор (так забезпечується рівномірне виділення  $\text{SO}_2$ );
- компресор для змішування утвореного діоксиду сірки з повітрям і створення потоку забрудненого газу;
- реометр для визначення витрати забрудненого газу;
- абсорбер з імпеллерною мішалкою;
- дрексельна склянка, приєднана на виході газу з абсорбера і заповнена лужним розчином для поглинання і визначення кількості  $\text{SO}_2$ , який “проскакує”. Для дослідження процесу фізичної абсорбції абсорбер заповнювали водою і при пропусканні через нього повітря, забрудненого  $\text{SO}_2$ , визначали кількість  $\text{SO}_2$  у розчині йодометричним методом. Для вивчення хемосорбційного поглинання  $\text{SO}_2$  абсорбер заповнювали водною суспензією подрібненого вапняку (розмір фракції  $\text{CaCO}_3 \approx 3,5$  мм).

Залежність зміни концентрації  $\text{SO}_2$  в розчині з часом при фізичній абсорбції та хемосорбції для одного з експериментальних досліджень наведена на рисунку.



Зміна концентрації  $\text{SO}_2$  в розчині в процесі фізичної абсорбції та хемосорбції

Як видно з рисунку, величина  $E$  залежить від часу контакту газової фази з рідиною. При малому часі  $\tau$  рушійна сила фізичної абсорбції є досить велика, тому значення  $E$  буде малим (наприклад, для  $\tau=250$  с  $E=1,26$ ). Якщо процес фізичної абсорбції наближається до рівноваги (великий час  $\tau$ ), тоді значення  $E$  будуть великими (наприклад, при  $\tau=2\ 000$  с  $E=14,43$ ).

1. Мадоян А.А., Базаянц Г.В. Сероулавливание на ТЭС. К., 1992. 2. Рамм В.М. Абсорбция газов. М., 1976. 3. Данквертс П.В. Газо-жидкостные реакции. М., 1973.

УДК 66.047

Гузьова І.О., Ханик Я.М., Білецька Л.З.  
ДУ "Львівська політехніка", кафедра ХІПЕ

## ГІДРОДИНАМІКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ КРОХМАЛЮ

© Гузьова І.О., Ханик Я.М., Білецька Л.З., 2000

**Запропоновано зміну існуючих методів сушіння крохмалю на фільтраційне сушіння. Проведено комплексне дослідження гідродинаміки сухого і вологого матеріалу.**

**The substitution of traditional drying methods on filtration drying of materials. The experimental results are presented for predicting hydrodynamics of the dry and wet layers.**