

УДК. 541.183

З.С. Одноріг

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра екології та охорони навколишнього середовища

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КІНЕТИЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЙОННИЙ ОБМІН НА ПРИРОДНОМУ КЛИНОПТИЛОЛІТІ

© Одноріг З.С., 2002

Вивчено кінетичні та гідродинамічні закономірності перебігу йонного обміну йонів міді на природному клиноптилоліті.

The kinetic and hydrodynamic features of flowing of ion-exchange process on the nature clinoptilolite have been established.

Стічні води, забруднені йонами кольорових металів, є відходами багатьох підприємств. Одне із джерел їх утворення – ванни промивання деталей після нанесення гальванічного покриття. Найдоцільнішим методом очищення промислових вод від таких домішок є йонний обмін.

Нами проведено комплекс досліджень, основна мета яких полягала у визначенні ефективності сорбції йонів міді клиноптилолітом, який має добру розвинену питому поверхню, хорошими адсорбційними та йонообмінними властивостями. Він є одним із найбільш розповсюджених цеолітів, який має промислове значення. Для досліджень використовували клиноптилоліт Сокирницького родовища (Закарпаття).

Враховуючи, що йонообмінники ефективно працюють в області низьких концентрацій, проведено комплекс експериментів для визначення залежності сорбційної ємності клиноптилоліту щодо йонів міді від тривалості проходження йонного обміну, температури реагентного середовища (20, 40, 60 °С) і гідродинамічного впливу. Результати досліджень зображено на рис. 1 і 2.

Початкова концентрація модельного розчину дорівнювала $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1 \text{ кг} / \text{м}^3$, співвідношення Т : Р становило 1 : 5 та 1 : 10. Експерименти проводили в термостатованому реакторі. Перемішування в системі тверде тіло – рідина здійснювалося за допомогою лабораторної мішалки.

Як видно із отриманих залежностей (рис. 1), протягом перших 10 – 20 хв інтенсивно проходить йонний обмін. Надалі активність сповільнюється, поступово рівноважні концентрації обмінних йонів середовища і в порах твердого тіла (цеоліту) вирівнюються. Окрім того, спостерігається чіткий вплив температури реагентного середовища на йонообмінну здатність клиноптилоліту. Аналіз експериментальних кривих дає змогу встановити, що найвища ємність клиноптилоліту щодо йонів міді є за температури 60 °С. Це можна пояснити так. Вхідні вікна цеоліту обмежені атомами кисню, котрі входять в склад тетраедричного комплексу. Каркасну структуру цеоліту не можна вважати абсолютно жорсткою. Таке уявлення дуже спрощує реальний стан, адже електронна густина є розподіленою і тому ефективний радіус вікна не має чітких меж. Температура впливає на теплові коливання атомів кисню вікна.

Згідно з [1, с.75] для кімнатної температури середньоквадратичне зміщення атомів може сягати 0,01 – 0,02 нм. Із збільшенням температури ефективний радіус вікна зростає, за умови зниження температури – зменшується. Отже, за умови достатньої кінетичної енергії (температури) сорбат краще проникає у вікна. Інакше проходить поглинання речовини поверхнею макро- та мезопор. Таке явище називають активованою сорбцією [2, с. 35]. Проте вплив температури на сорбцію із водних розчинів є далеко не однозначним. В той же час фізична сорбція, як і будь-який екзотермічний процес, загалом погіршується із підняттям температури. Тому зовнішньо фіксується сумарний прояв цих двох явищ (активованої та фізичної сорбції).

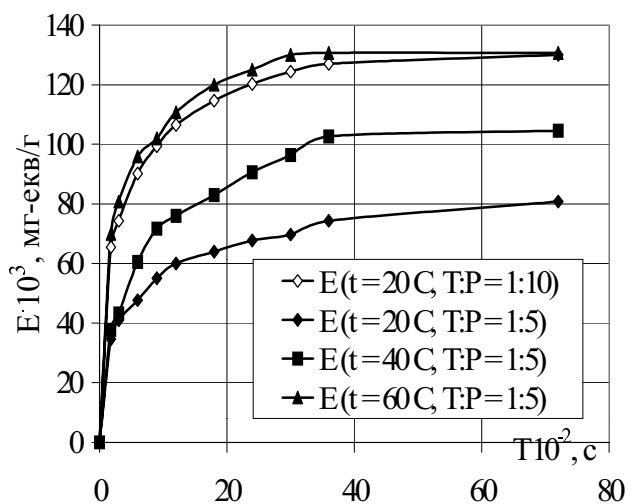


Рис. 1. Залежність йонообмінної ємності від часу обробки в статичних умовах за різних температурних режимів та співвідношення $T : P$

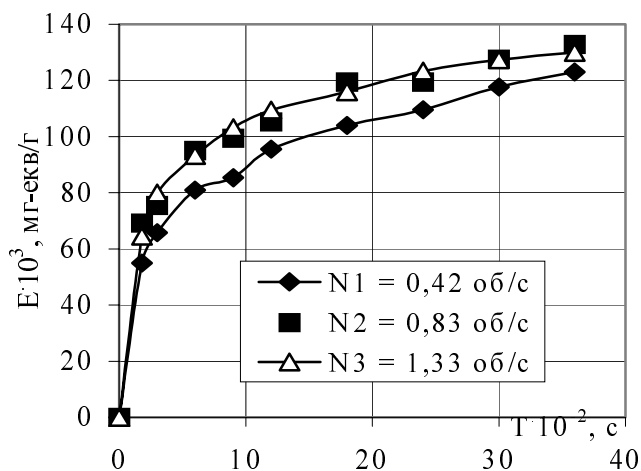


Рис. 2. Вплив гідродинамічних режимів на проходження йонного обміну в клиноптилоліті

Рівномірний розподіл частинок твердої фази в рідині досягається за умови такого кількості обертів мішалки n_0 , коли осьова складова швидкості потоку рідини є однаковою або дещо вищою від швидкості осадження частинок w_0 . Тоді тверді частинки

підтримуються у завислому стані висхідним потоком рідини. Мінімальна критична кількість обертів мішалки можна визначити за рівнянням (YI.3) [3, с. 252], коли всі частинки будуть знаходитися у зваженому стані і їхня поверхня буде повністю омиватися потоком рідини:

$$\text{Re}_M = \frac{n_0 \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu} = C_1 \cdot \text{Ar} \cdot \left(\frac{d_c}{d}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^k, \quad (1)$$

де d – діаметр мішалки, $d = 0,06$ м; ρ – густина води, $\rho = 10^3$ кг / м³; μ – динамічна в'язкість рідини, $\mu = 10^{-3}$ кг / (м · с); D – діаметр реактора, $D = 0,09$ м; d_c – діаметр твердої частинки, $d_c = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м; C_1, k – коефіцієнти, що залежать від типу мішалки. Для лопатної мішалки $C_1 = 14,8$; $k = 0$.

Ar – критерій Архімеда, який визначається за формулою:

$$\text{Ar} = \left(\frac{g \cdot d_c^3}{v_c^2}\right) \cdot \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_c}\right), \quad (2)$$

де $\Delta\rho$ – різниця густин фаз; ρ_c – густина суспензії, кг / м³. Її можна розрахувати за формулою, поданою в [4, с. 9] :

$$\frac{1}{\rho_c} = \frac{\bar{x}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{1-\bar{x}}{\rho}, \quad (3)$$

де $\rho_{\text{ц}}$ – густина цеоліту, $\rho_{\text{ц}} = 1,79 \cdot 10^3$ кг / м³; \bar{x} – масова частка твердої фази в суспензії, $\bar{x} = 0,1$.

Здійснивши простий розрахунок, маємо: $\rho_c = 1,046 \cdot 10^3$ кг / м³.

v_c – кінематична в'язкість суспензії, $v_c = \mu / \rho_c = 10^{-3} / 1,046 \cdot 10^3 = 9,56 \cdot 10^{-7}$ м² / с.

Крім того, рівняння (1) справедливе за умов: $\text{Re}_M = 5 \cdot 10^2 - 1,3 \cdot 10^5$; $\text{Ar} = 2,4 \cdot 10^4 - 4,1 \cdot 10^{11}$; $d_c / d = 2,33 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-2}$.

Згідно з нашими обчисленнями за (1) $\text{Re}_M = 1,34 \cdot 10^3$. Відповідно, $n_{0 \text{ крит}} = 0,37$ об/с = 22,3 об/хв. Нами вибрано такі частоти обертів : 25; 50 та 80 об/хв (відповідно, 0,42, 0,83 та 1,33 об/с). В режимі 0,42 об/с вся маса частинок активно перемішується. За умови 0,83 об/с всі частинки мінералу переходять у зважений стан у повному об'ємі. 1,33 об/с – максимальна кількість обертів мішалки за даних експериментальних умов.

Збільшення частоти обертання мішалки, як показали результати експериментальних досліджень, у півтора раза (від 0,83 об / с до 1,33 об / с) не призводить до значних змін. Це пов'язано, очевидно із тим, що йонний обмін проходить в області високорозвиненої турбулентності і збільшення кількості обертів мішалки незначно змінює структурні характеристики потоку в реакторі. Отже, йонообмінний процес лімітує внутрішньодифузійна область кінетики.

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М., 1976. – 781 с. 2. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.; 3. Касаткин А.Г. Основы процессов и аппаратов химической технологии. – М., 1973. – 750 с.; 4. Павлов К.Ф., Носков П.Г., Романков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1976. – 552 с.