

УДК 504.064+628.316.12

Петрушка Ігор Михайлович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національний університет «Львівська політехніка»

Петрушка Игорь Михайлович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экологической безопасности и природоохранной деятельности Национальный университет «Львовская политехника»

Petrushka Ihor

*Doctor of Engineering, Professor
Lviv Polytechnic National University*

Мороз Олександр Іванович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри геодезії Національний університет «Львівська політехніка»

Мороз Александр Иванович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры геодезии Национальный университет «Львовская политехника»

Moroz Oleksandr

*Doctor of Engineering, Professor
Lviv Polytechnic National University*

Мокрий Володимир Іванович

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національний університет «Львівська політехніка»

Мокрый Владимир Иванович

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры экологической безопасности и природоохранной деятельности Национальный университет «Львовская политехника»

Mokryi Volodimir

*Doctor of Engineering, Professor
Lviv Polytechnic National University*

Петрушка Катерина Ігорівна

асистент кафедри екології та збалансованого природокористування Національний університет «Львівська політехніка»

Петрушка Екатерина Игоревна

ассистент кафедры экологии и сбалансированного природопользования Национальный университет «Львовская политехника»

Petrushka Kateryna

*Assistant
Lviv Polytechnic National University*

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ СОРБЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД
КОМПЛЕКСНИМИ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
КОМПЛЕКСНЫМИ ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ**

**INTENSIFICATION OF SORPTION PROCESSES FOR WATER CLEANING
OF COMPLEX NATURAL SORBENTS**

Анотація. Досліджено вплив гідродинамічних умов на кінетику дифузійних процесів при очищенні стічних вод від прямих барвників. Визначено величину ступеня заповнення пор природних та комплексних сорбентів.

Ключові слова: адсорбент, барвник, кінетика, дифузія.

Аннотация. Исследовано влияние гидродинамических условий на кинетику диффузных процессов при очистке сточных вод от прямых красителей. Определена величина степени заполнения пор природных и комплексных сорбентов.

Ключевые слова: адсорбент, краситель, кинетика, диффузия.

Summary. The influence of hydrodynamic conditions on the kinetics of diffusion processes during purification of sewage from direct dyes was investigated. The degree of filling of pores of natural and complex sorbents has been determined.

Key words: adsorbent, dye, kinetics, diffusion.

1. Вступ

Адсорбція на поверхні твердих тіл має велике практичне значення. Майже всі адсорбенти, які використовують в різних галузях промисловості є твердими тілами. Внаслідок цього процеси адсорбції на твердих тілах є предметом численних досліджень.

Експлуатаційні властивості неорганічних сорбентів в значній мірі залежать не тільки від форми їх кристалічної решітки, але і форми елементарної частинки. Дослідження кінетики сорбційних процесів базується на стадіях, які розділені між собою в часі і просторі. Використання відомих кінетичних рівнянь адсорбції, які описують процес з достатньо довгим часом насичення адсорбенту це довготривалий розрахунок на основі експериментальних даних.

З врахуванням ступеня насичення адсорбенту за короткий час, дифузійний опір в частинці може бути настільки малий, що найбільш значний опір створюється в зовнішньодифузійній області. Це спричиняє необхідність прийняття до уваги саме цього параметру в кінетичних рівняннях.

Промислові адсорбційні процеси протікають найчастіше в асоціаціях частинок, розміри яких є кратними багатьом діаметрам зерен адсорбенту. Швидкість процесу визначається швидкістю насичення окремих частинок. Більшість гіпотез, які використовуються для побудови математичної моделі масообміну в процесі адсорбції на зерні адсорбенту та встановлення швидкості адсорбційного процесу, допускають, що адсорбція проходить на доступній для рідини границі фаз рідина — тверде тіло. Поверхня цієї границі фаз складається як із зовнішньої поверхні частинки сорбенту, так і з поверхні його пор. Кінетична характеристика сорбенту пов'язана з пористістю частинки адсорбенту, а сумарна швидкість багатоступеневого процесу визначається швидкістю найповільнішої стадії (так званої лімітуючої стадії). У випадку використання в адсорбційних процесах комплексних сорбентів виникає необхідність дослідження впливу характеристики розподілу пор на швидкість процесу.

Тому, дослідження процесу кінетики адсорбції забрудників з стічних вод комплексними сорбентами є питання актуальне не тільки для технологічної сторони, що дозволяє встановити швидкість досягнення рівноваги, максимальну сорбційну ємність

комплексного адсорбенту для певного складу розчину, механізм сорбційного процесу а також і для раціонального природокористування.

2. Мета роботи

Дослідити вплив гідродинамічних режимів на ступінь заповнення пор комплексних сорбентів (на прикладі природних сорбентів -активованого бентоніту та шунгіту) забрудниками стічних вод текстильної промисловості на основі методу кінетичної пам'яті.

3. Результати дослідження та їх теоретична інтерпретація

Для вивчення кінетики сорбції прямих барвників з стічних вод комплексними природними сорбентами в даній роботі використаний метод кінетичної пам'яті і реактор з мішалкою. В реактор поміщали приготовлений розчин з концентрацією барвника — 10 мг/л. Концентрацію сорбата у всіх точках розчину і безпосередньо на поверхні сорбенту при певних числах обертів лопатевої мішалки приймали постійною, тобто розглядали дифузію з погляду ідеального перемішування. Даний метод дозволяє з високою точністю визначити транспорт маси речовини з розчину до поверхні сорбенту при відсутності, або незначному впливі дифузійного пограничного шару на дифузію [2].

Традиційно відомо, що гідродинамічні характеристики не значно впливають на інтенсивність внутрішньодифузійних процесів адсорбції, які проходять поровому просторі адсорбенту. Нами проведені теоретичні розрахунки коефіцієнта заповнення пор в природних сорбентах прямими барвниками (рис. 1, 2) в залежності від числа обертів мішалки на основі розробленої математичної моделі з врахуванням ефективних коефіцієнтів внутрішньої дифузії [3, 4]. Гранулометричний склад сорбентів та розподіл по фракціях однаковий.

З представлених графічних залежностей видно, що максимальний коефіцієнт заповнення пор прямими барвниками для природних та комплексних адсорбентів досягається при $n=5 \text{ c}^{-1}$.

Оптимальне співвідношення активованого бентоніту та шунгіту з ступенем заповнення пор близько 0,9 складає 1 до 1 (рис. 1) при поглинанні аніонного червоного. У випадку присутності іншого барвника (активного алого 4Ж) найбільший коефіцієнт заповнення пор характерний для співвідношення

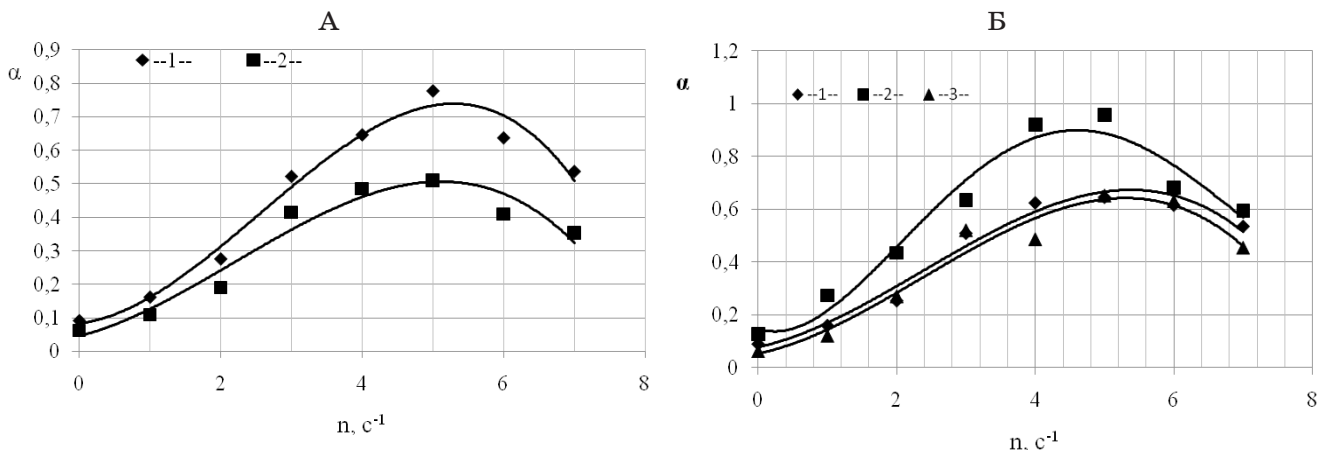


Рис. 1. Вплив числа обертів мішалки на коефіцієнт заповнення пор адсорбента прямим барвником (аніонним червоним 8С): А) — 1 — активований бентоніт; 2 — шунгіт; Б) — 1 — активований бентоніт: шунгіт (1:0,5); 2 — активований бентоніт: шунгіт (1:1); 3 — активований бентоніт: шунгіт (0,5:1)

активованій бентоніт-шунгіт відповідно 0,5:1. Очевидно це можна пояснити відмінністю не тільки молярних мас прямих барвників, але і внутрішньою кристалічною будовою сорбентів.

Встановлення механізму кінетики сорбції є складним завданням і вимагає обліку всіх чинників, що впливають на швидкість масообміну, зокрема діаметр зерна адсорбенту, швидкості перемішування і інш. Попередньо визначений оптимальний безперервний режим перемішування дозволяє досягнути степені сорбції 50–80% прямих барвників з стічних вод природними сорбентами та 55–85% комплексними сорбентами (рис. 3).

На основі форми кінетичних кривих можна стверджувати, що процес з зовнішньодифузійного, або змішаного, переходить у внутрішньодифузійний, який характеризується числом Біо ($Bi \rightarrow \infty$).

З метою збільшення адсорбційної ємності природних сорбентів нами пропонується використання комплексних сорбентів на основі активованого бентоніту та шунгіту з різними масовими співвідношеннями в залежності від виду прямих барвників.

Відомо, що пограничний шар на частинці адсорбенту частково сповільнює швидкість зовнішньодифузійних процесів адсорбції. Можна припустити, що при перемішуванні частина пограничного шару руйнується внаслідок сил інерції і тертя, але разом з тим внаслідок турбулізації елементарних потоків зменшується інтенсивність адсорбційних процесів.

Нами проведені дослідження кінетики дифузійних процесів на основі методу переривання або «кінетичної пам'яті» [1, 2].

На рис. 4 представлені кінетичні криві сорбції барвників природними та комплексними сорбентами

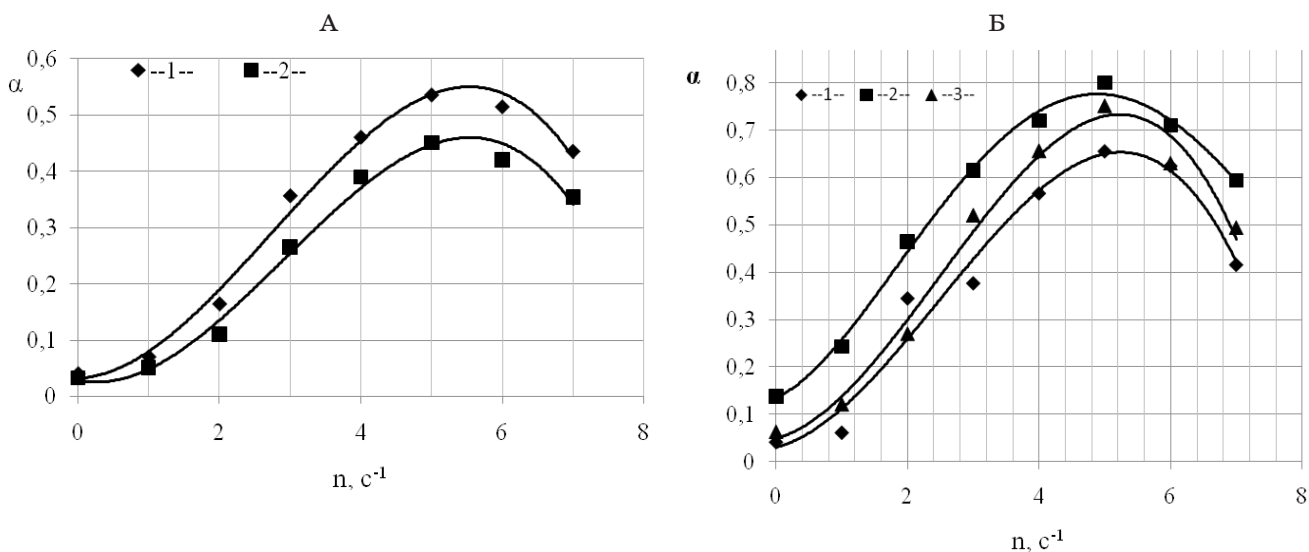


Рис. 2. Вплив числа обертів мішалки на коефіцієнт заповнення пор адсорбента прямим барвником (активний алей 4Ж): А) — 1 — активований бентоніт; 2 — шунгіт; Б) — 1 — активований бентоніт: шунгіт (1:1); 2 — активований бентоніт: шунгіт (0,5:1); 3 — активований бентоніт: шунгіт (1:0,5)

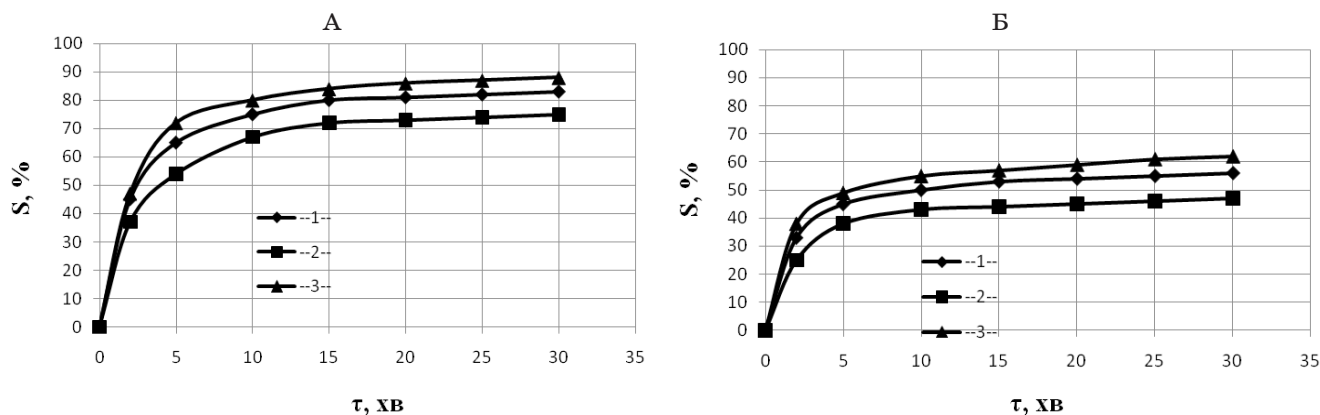


Рис. 3. Кінетика сорбції прямих барвників (А — аніонного червоного 8С; Б — активного алого 4ЖТ) природними сорбентами: 1 — активований бентоніт; 2 — шунгіт; 3 — активований бентоніт; шунгіт відповідно (1:1) — рис. 3А; 0,5:1 — рис. 3Б

в дослідях з перериванням перемішування через 5 хв. тривалістю в 10 хв. ($\Delta t = 10$ хв). Градієнти концентрації в зерні адсорбенту вирівнюються протягом часу переривання контакту сорбента і розчину, тобто, коли процес дифузії сповільнюється. Тому після відновлення контакту швидкість обміну виявляється більшою в порівнянні з швидкістю, котра була до переривання.

Таким чином, високі кінетичні характеристики для досліджуваних природних сорбентів вказують на перспективність їх використання в технологічних процесах очищення стічних вод від прямих барвників.

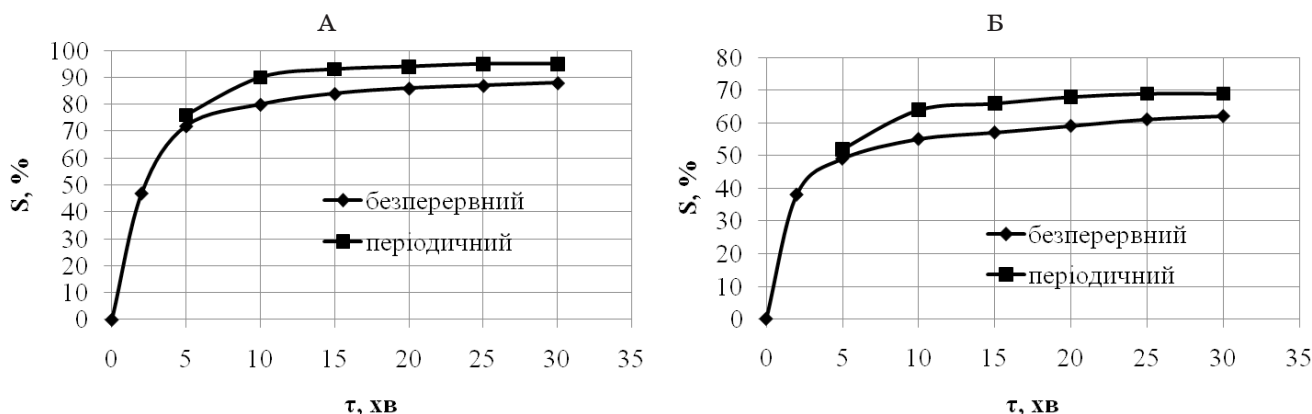


Рис. 4. Кінетичні криві сорбції барвників при змінних режимах перемішування (А — аніонного червоного 8С; Б — активного алого 4ЖТ) активованим бентонітом та шунгітом при співвідношеннях відповідно: А-1:1; Б-0,5:1

Література

1. Пимнева Л. А. Исследование кинетики сорбции и механизма взаимодействия ионов меди, бария и иттрия в фазе карбоксильного катионита КБ-4Пх2 [Текст] / Л. А. Пимнева, Е. Л. Нестерова // *Фундаментальные исследования*. — 2008. — № 4. — С. 24–28.
2. Туницкий Н. Н. Методы физико-химической кинетики. [Текст] / Туницкий Н. Н., Каминский В. А., Тимашев С. Ф. — М.: Химия, 1972. — 198 с.
3. Петрушка І. М. Внутрішньодифузійна кінетика процесу адсорбції барвників природними сорбентами [Текст] / І. М. Петрушка // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. — 2011. — № 4/б (52). — С. 15–17.
4. Petrus R., Wymiana masy w układzie «cialj stale-ciecz» [Текст] / Akselrud G., Gumnicki Y., Piantkowski W. — Rzeszow, 1998. — 365 p.
5. Петрусь Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів [Текст] / Мальований М., Варчол Й., Одноріг З., Петрушка І., Леськів Г. // *Хімічна промисловість України*. — 2003. — № 2 (55). — С. 20–22.