

Технические науки

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*

**ВНУТРІШНЬОДИФУЗІЙНІ ПРОЦЕСИ СОРБЦІЇ ЗАБРУДНИКІВ З**

**РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ КОМПЛЕКСНИМИ СОРБЕНТАМИ**

**ВНУТРИДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ СОРБЦИИ**

**ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С ЖИДКИХ СРЕД КОМПЛЕКСНЫМИ**

**СОРБЕНТАМИ**

**INTERNAL-DIFFUSION PROCESSES OF POLLUTANTS**

**ADSORPTION FROM LIQUID MEDIUM BY COMPLEX SORBENTS**

*Анотація.* Досліджено кінетику внутрішньої дифузії процесу адсорбції полутантів з стічних вод комплексними дисперсними сорбентами. Визначено коефіцієнти внутрішньої дифузії на основі гелевої моделі.

**Ключові слова:** адсорбент,, барвник, кінетика, дифузія.

**Аннотация.** *Исследовано кинетика внутренней диффузии процесса сорбции загрязнителей сточных вод комплексными дисперсными сорбентами. Определены коэффициенты внутренней диффузии на основе гелевой модели.*

**Ключевые слова:** *адсорбент, краситель, кинетика, диффузия.*

**Summary.** *The kinetics of internal diffusion pollutants of adsorption from sewage with complex disperse sorbents is investigated. The coefficients of internal diffusion on the basis of the gel model are determined.*

**Key words:** *adsorbent, dye, kinetics, diffusion.*

## **1. Вступ**

Прогнозування кінетики сорбційних процесів на основі математичних моделей дає можливість не тільки зменшити економічні затрати на очищення забруднених рідинних середовищ, але і підвищити ефективність використання потенціалу природних сорбентів. Однак, якщо тривалість циклу адсорбції є значно меншою від часу дифузії в частинках адсорбенту, використання відомих кінетичних рівнянь адсорбції, які описують процес з достатньо довгим часом насичення адсорбенту ускладнює створення адекватної математичної моделі процесу. Окрім цього, з огляду на невеликий ступінь 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. Етапом, який лімітує швидкість насичення у більшості випадків є дифузія. 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).

Вивчення процесу кінетики адсорбції прямих барвників з стічних вод комплексними сорбентами (активованій бентоніт:шунгіт), дозволяє встановити швидкість досягнення рівноваги, максимальну сорбційну ємність адсорбенту для певного складу розчину, механізм сорбційного процесу та розрахувати коефіцієнти дифузії.

## **2. Мета роботи.**

Дослідити внутрішньодифузійну кінетику адсорбції барвників комплексними природними сорбентами та визначити коефіцієнти внутрішньої дифузії на основі гелевої моделі.

## **3. Результати дослідження та їх теоретична інтерпретація.**

Для розрахунку коефіцієнтів внутрішньої дифузії  $D$  використовували модель гелевої дифузії з обмеженого об'єму в елементарну частинку адсорбента кулястої форми [1,2]. Розрахунок коефіцієнтів дифузії проводили з використанням залежності  $(F; Fo)$ , де  $Fo$  – критерій гомохромності Фуре:

$$Fo = \frac{D t}{R^2} \quad (1)$$

$D$  – коефіцієнт дифузії,  $m^2/c$ ;

$t$  – час сорбції, хв.;

$R^2$  – радіус зерна адсорбенту, м.

Степінь досягнення сорбційної рівноваги відповідно гелевої моделі дифузії розраховували за залежністю:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2 D t}{R^2}} \quad (2)$$

Гранулометричний склад сорбентів та розподіл по фракціях однаковий.

Для визначення коефіцієнтів масовіддачі на поверхні частинок сорбенту необхідно визначити загальну поверхню та середній діаметр частинок сорбенту на основі гранулометричного складу, наведеного в табл.1.

Таблиця 1

### Гранулометричний склад сорбентів

| Позначення     | Діаметр фракції, мм | Масова частка частинок, % |
|----------------|---------------------|---------------------------|
| d <sub>1</sub> | 0.13                | 13                        |
| d <sub>2</sub> | 0.13-0.25           | 10                        |
| d <sub>3</sub> | 0.25-0.5            | 85                        |
| d <sub>4</sub> | 0.5-1.0             | 2                         |

Визначення сумарної кількості частинок N проводили відповідно кожної з фракцій згідно залежності:

$$N_{ч1} = \frac{6 * m_{ч1}}{\pi * d_c^3 * \rho_{ч}} \quad (3)$$

де  $m_{ч}$  – маса частинок, кг;  $d_c$  - середній діаметр частинок адсорбенту, м;  $\rho_{ч}$  - густина частинок адсорбенту, кг/м<sup>3</sup>.

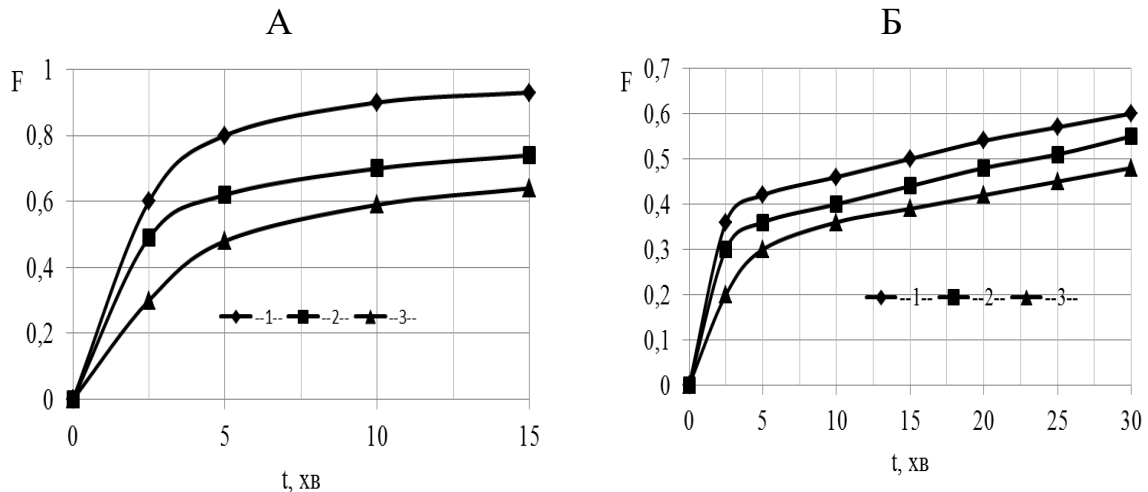
Загальна маса частинок рівна сумі частинок відносно фракцій:

$$\sum_n^{n=1} N = N_{ч1} + N_{ч2} + N_{ч3} + N_{ч4} \quad (4)$$

Визначивши дані величини розраховуємо середню площу частинок сорбенту:

$$F_{сер} = \sum_n^{n=1} N \cdot \pi \cdot d_c^2 \quad (5)$$

Для даного гранулометричного складу середній діаметр частинок дорівнює  $d_{сер} = 0,253 \cdot 10^{-3}$  м.



**Рис. 1. Кінетичні криві сорбції прямих барвників (А - аніонного червоного 8С; Б – активного алого 4ЖТ) комплексними природними сорбентами: 1- активований бентоніт: шунгіт (1:1); 2 – активований бентоніт; 3 – шунгіт**

Характер кінетичних кривих на рис.1 підтверджують домінуючий механізм внутрішньої дифузії при адсорбції прямих барвників з стічних вод природними дисперсними сорбентами.

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

## Література

1. 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.

2. Петрушка І.М., Мокрий В.І., Мороз О.І. Петрушка К.І. Інтенсифікація сорбційних процесів очищення стічних вод комплексними природними сорбентами / Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2017:№15. – Веб-доступ: <http://www.inter-nauka.com/issues/2017/15/3047>.