

УДК 615.012.014

Є.М. Семенишин, В.І. Троцький, І.М. Петрушка, О.Р. Попович  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра хімічної інженерії та промислової екології

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ДИФУЗІЇ НА ОСНОВІ ЕКСТРАГУВАННЯ З КОРОТКОГО ШАРУ

© Семенишин Є.М., Троцький В.І., Петрушка І.М., Попович О.Р., 2002

**Описано метод визначення коефіцієнтів дифузії при екстрагуванні твердих речовин з пористих частинок в короткому шарі. Метод апробований експериментально на об'єктах різної структури.**

**The method of detection of coefficients of diffusion on extraction of solid materials from porous particles in short layers is described. Method is tested experimentally on object with the different structure.**

Розв'язання задач пов'язане з екстрагуванням цільових компонентів з рудного пористого матеріалу вимагає знання коефіцієнтів стислої дифузії. Теоретичне визначення цих констант пов'язане з певними труднощами і є неточним. Тому експериментальне визначення відповідає реальним умовам і є більш точним. Існує ряд методів експериментального визначення коефіцієнтів стислої дифузії [1,2,3,4] залежно від умов розташування цільових компонентів у пористій структурі інертного твердого матеріалу та фізичних властивостей компонента.

Порівняно простим є метод оснований на аналізі кінетики екстрагування з короткого шару. Даний метод оснований на властивостях постійної рушійної сили процесу при русі екстрагенту крізь короткий шар.

Під час розв'язання цієї задачі використали рівняння Г.А. Аксельруда [5]:

$$\tau = \sigma \cdot \left( \frac{1}{6} - \frac{\varphi_0^2}{2} + \frac{\varphi_0^3}{3} \right) - \frac{1}{6} \cdot (\ln \varphi_0 + \varphi_0 - \varphi_0^2), \quad (1)$$

$$\text{де } \sigma = \frac{\rho}{C_s - C_1} - 1;$$

Закон розподілення концентрацій всередині частинки:

$$\frac{C_s - C_2}{C_s - C_1} = \frac{1 - \varphi_0}{1 - \varphi}, \quad (2)$$

де  $C_s$  – концентрація насичення;  $C_1$  – концентрація речовини на границі контакту пористої частинки і розчинника;  $C_2$  – концентрація в даній точці частинки (приймається, що частинка має форму кулі, а розподіл концентрації визначається на основі рис. 1);  $\rho$  – густина цільового компоненту;  $\varphi, \varphi_0, \tau$  – безрозмірні параметри.

$$\varphi_0 = \frac{r_0}{R}; \quad \varphi = \frac{r}{R}; \quad \tau = \frac{D_M t}{R^2} \cdot \frac{C_1}{\eta},$$

де  $D_M$  – коефіцієнт стислої дифузії;  $t$  – тривалість процесу;  $R$  – радіус частинок;  $\eta$  – вміст цільового компонента в одиниці об'єму частинки;  $r_0$  – біжучий радіус;

$$r_0 < r < R.$$

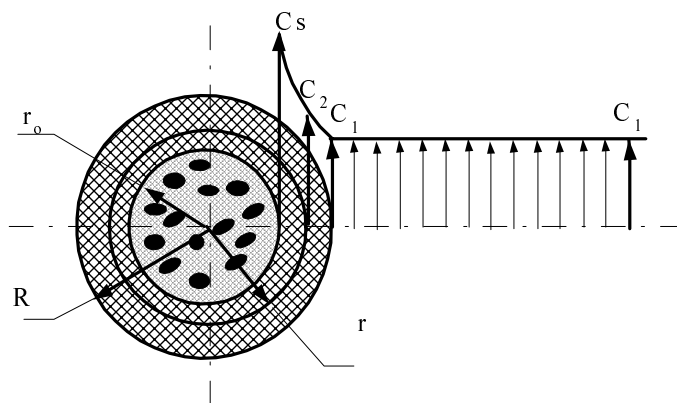


Рис. 1. Схема вилучення твердої фази з пористої частинки

Згідно із законом Фіка для сферичних частинок кількість речовини, яка покидає частинку за рахунок дифузії, визначиться за рівнянням:

$$M = -m \cdot N \cdot 4\pi \cdot R^2 \cdot D_M \cdot \eta \cdot \left( \frac{\partial C_2}{\partial r} \right)_{r=R}, \quad (3)$$

де  $m$  – пористість матеріалу;  $N$  – кількість частинок.

Ця кількість речовини піде на збільшення її концентрації в екстрагенті, яка проникає крізь короткий шар частинок, тобто:

$$M = W(C_1 - C_{II}),$$

де  $W$  – кількість розчинника, яка проникає в одиницю часу;  $C_{II}$  – початкова концентрація розчинника.

$$\text{Тому } -m \cdot N \cdot 4\pi \cdot R^2 \cdot D_M \cdot \eta \cdot \left( \frac{\partial C_2}{\partial r} \right)_{r=R} = W(C_1 - C_{II}). \quad (5)$$

З іншого боку, градієнт концентрації згідно з (2) можна подати у вигляді:

$$\left( \frac{\partial C_2}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=1} = (C_s - C_1) \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0}. \quad (6)$$

Особливістю короткого шару є те, що концентрація  $C_1$  порівняно з  $C_s$  є дуже малою, тому нею можна знехтувати.

Підставляючи значення  $\left( \frac{\partial C_2}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=1}$  з рівняння (5) в рівняння (4), одержуємо:

$$\frac{R^2 \cdot 4\pi \cdot m \cdot C_s \cdot N \cdot \eta}{R \cdot W} \cdot D \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0} = C_1. \quad (6)$$

$$\frac{4\pi \cdot N \cdot m \cdot C_s \cdot \eta}{W} \cdot R^3 \frac{D}{R^2} \cdot \frac{\varphi_0}{1 - \varphi_0} = C_1. \quad (7)$$

Оскільки  $\varphi_0 = f(\tau)$ ,  $C_1 = f(t)$ , то рівняння (7) можна остаточно записати так:

$$b \cdot R^3 \cdot \tau \cdot \frac{\varphi_0(\tau)}{1 - \varphi_0(\tau)} = C_1(\tau) \cdot t, \quad (8)$$

де  $b = \frac{N \cdot 4\pi \cdot m \cdot C_s \cdot \eta}{W}$ .

Для визначення коефіцієнта дифузії необхідно поставити експеримент з метою встановлення залежності концентрації від часу  $C_1=f(t)$  (рис. 2) при екстрагуванні цільового компонента в короткому шарі, крізь який фільтрується розчинник. Побудовану експериментальну залежність представляють в координатах  $C_1 \cdot t = f(t)$  і суміщують з теоретичною кривою, побудованою на основі рівняння (8) (рис. 3).

Якщо для побудови теоретичної і експериментальної кривих використовувались різні масштаби для  $\tau$  і  $t$ , то експериментальну криву необхідно відповідно деформувати до їх збігання.

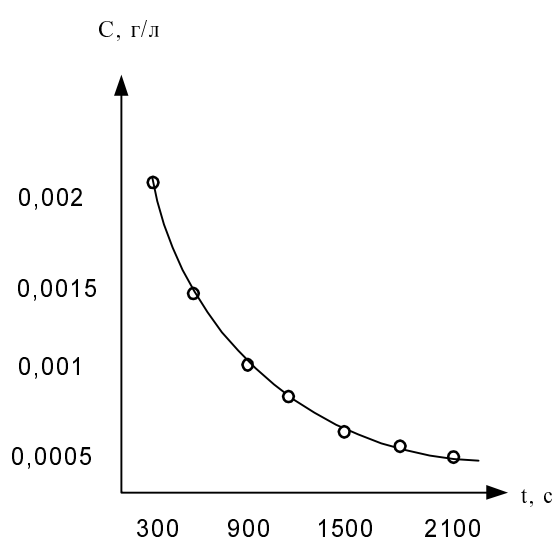


Рис. 2. Експериментальна залежність  $C=f(t)$

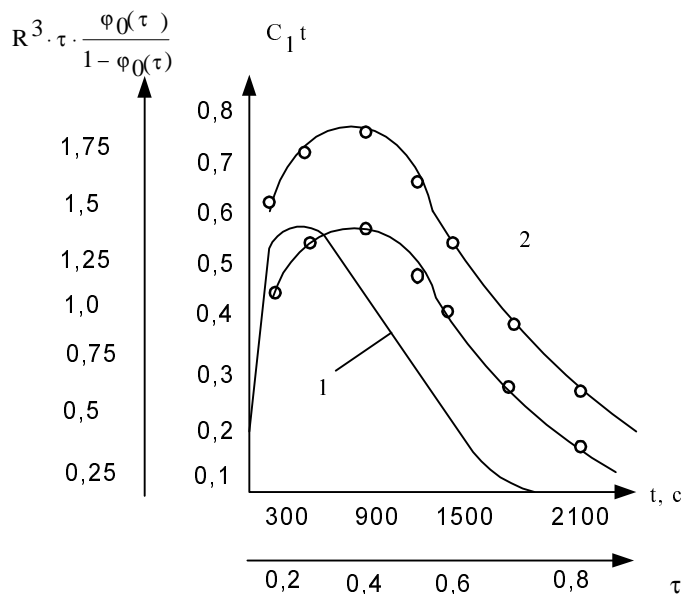


Рис. 3. Теоретична і експериментальна функції:  
1 –  $\Phi=f(\tau)$ ; 2 –  $C_1 \cdot t=f(t)$

Такий збіг дає можливість визначити коефіцієнти дифузії за рівнянням:

$$D_M = \frac{\tau \cdot R^2}{t}. \quad (9)$$

Експериментальна установка складалась з посудини з дистильованою водою з якої розчинник подавався в напірний бачок насосом, термостата, вертикального циліндра з досліджуваним матеріалом, в якому підтримувалась постійна температура і з певною

швидкістю фільтрувалась рідина. Аналіз проб здійснювався електропотенціометричним і ваговим методом, залежно від досліджуваного об'єкта.

За даною методикою визначались коефіцієнти стислої дифузії при екстрагуванні селітри ( $\text{KNO}_3$ ) з пористих частинок приготовлених штучно ( пористість – 25%, діаметр частинок – 1,5 мм і швидкість фільтрації складала 0,00033 м/с). Визначений коефіцієнт дифузії становив  $D_m=1.5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Аналогічно визначались коефіцієнти дифузії для системи “бокситові спеки – 15% NaOH” при вилученні  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , який складав при температурі 60°C  $D_m=1.83 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ . Для умов екстрагування сірки з руд Роздольського басейну при температурі 140°C,  $d_{\text{сер}}=4.0 \text{ мм}$  і швидкості фільтрації  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$  -  $D_m=7.6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ .

1. Аксельруд Г.А. *Массообмен в системе твердое тело – жидкость*. Львів, 1970. – 182с.
2. Аксельруд Г.А., Семенов Е.М., *Кинетика извлечения окиси алюминия из спеков.* // *Цветные металлы*. – 1966. – №10. – С.48 – 51.
3. Аксельруд Г.А., Семенов Е.М., Дацко Р.М. *Массообмен при извлечении серы из слоя руды* // *ИФЖ*. – 1971. – Т. 21. – №3. – С. 447 – 451.
4. Аксельруд Г.А., Абрамов В.Я., Семенов Е.М. *Определение коэффициента диффузии алюмината натрия*. В кн.: *Производство глинозёма*. – Л.: *Металлургия*, 1969. – С. 72 – 75.

УДК 504:658.562

**В.В. Семенюк, В.І. Семенюк, В.Г. Камбург, В.В. Венгржановська**  
Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький

## **ВІД ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ДО ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ**

© Семенюк В.В., Семенюк В.І., Камбург В.Г., Венгржановська В.В., 2002

**Показані необхідні та достатні умови переходу від техніко-економічного до еколого-економічного моделювання ресурсо- та енергозбереження.**

**We are show questions of wanting from technical-economics to ecology-economics models power and resource abilities.**

Найближчим часом в Україні буде прийнято закон про екологічний аудит, який є складовою частиною екологічного менеджменту. Екоаудит є інструментом управління, який системно охоплює всі питання екологічної оцінки діяльності підприємства, удосконалення системи регулювання впливу підприємства на довкілля та оцінки його інвестиційної привабливості, в тому числі вирішення проблем збереження енергії та ресурсів [1 – 2]. А оскільки одним з головних споживачів природних ресурсів та енергії є промислові підприємства різних галузей народного господарства (також ці підприємства є широкомасштабними забруднювачами довкілля), то для них конче потрібна модернізація виробництв із застосуванням методів системного екологічного підходу. Під цим терміном ми розуміємо комплекс технологічних, управлінських і господарчих удосконалень і нововведень, які здатні поліпшити екологічні характеристики підприємства і зменшити його негативний тиск на природу та людину.

Розв'язати цю задачу можливо за допомогою системного аналізу, який знайшов широке застосування як в промисловості, так і в моделюванні соціально-економічних та екологічних систем [2 – 7]. Пояснимо це на схемі: