

3. Наведено аналогію теплообміну та масообміну, яка визначається однаковою гідродинамічною обстановкою у зоні реакції.

4. Співставлені розрахункові значення температур та експериментальні результати підтверджують теоретично визначені температури у зоні взаємодії.

#### Література

1. The Effect of Co-solvent on the Solubility of a Sparingly Soluble Crystal of Benzoic Acid / Hudzaifah Y. H. et.al. // Procedia Engineering, 2016. Vol. 148. P. 1320-1325.
2. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых веществ. М.: Химия. 1977. 272 с.
3. Массоперенос в системе с твердым телом / С.В. Натареєв и др. // ТОХТ. 2015. Т. 49, №1. С. 74-78.
4. Маллик С., Гумницький Я.М. Теплоотдача при химическом кипении в условиях свободной конвекции // Инженерно-физический журнал. 1986. Т.50, № 4. С. 645-650.
5. Бабенко Ю.И., Иванов Е.В. Влияние нестационарных эффектов на скорость растворения одиночной частицы // ТОХТ. 2013. Т.47, №6. С. 624-629.
6. Analysis of dissolution kinetics based on the lokal isotropic turbulence theory / Symak D.M. et.al. // Chemistry & Chemical Technology. 2015. Vol. 9, № 4. P. 493-497.
7. Гумницький Я.М., Симак Д.М., Нагурський О.А. Розчинення твердих тіл у трифазній системі, утвореній вакуумуванням // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, В. 47, Т.1. 2015. С. 130-132.
8. Гумницький Я.М., Петрушка І.М. // Інженерна екологія. Ч. 2. В-тво. Львівської політехніки. 2016. 348 с.
9. Enhancing heat transfer in vortex generator-type multifunctional heat exchangers / Charbel H. et.al. // Applied Thermal Engineering. 2012. Vol. 38. P. 14-25.

#### References

1. Hudzaifah Y. H., M. Nizamuddin N. M., Shaarani, Ali W., Bawadi Abdullah, Md. Abdus Salam. (2016). The Effect of Co-solvent on the Solubility of a Sparingly Soluble Crystal of Benzoic Acid. Procedia Engineering, 1320–1325.
2. Axelrud G.A., Molchanov A.D. (1977). Dissolution of solids. Chemistry, 272.
3. Natareev S.V., Kokina N.R., Natareev O.S., Dubkova E.A. (2015). Mass transfer in a system with a solid. ТОХТ, 49(1), 74 – 78.
4. Mallik S., Gumnitsky Ya. M. (1986). Heat transfer during chemical boiling under conditions of free convection. Engineering and Physics Journal, 50(4), 645-650.
5. Babenko Yu. I., Ivanov E.V. (2013). Influence of non-stationary effects on the rate of dissolution of a single particle. ТОХТ, 47(6), 624 – 629.
6. Symak D.M., Atamaniuk V. M., Gumnitsky Ya. M. (2015). Analysis of dissolution kinetics based on the lokal isotropic turbulence theory. Chemistry & Chemical Technology, 9(4), 493–497.
7. Humnytskyy Ja. M., Symak D.M., Nahurskyy O.A. (2015). Dissolution of solids in the three-phase system formed by vacuum. Proceedings. Odessa National Academy of Food Technologies, 47, 1, 130-132.
8. Humnytskyy Ja. M., Petryshka I.M. (2016). Engineering ecology. Lviv Polytechnic National University, 2, 348.
9. Charbel H., Serge R., Daniel B., Jean-Luc H. T., Lemenand D. (2012). Hassan Peerhossaini Enhancing heat transfer in vortex generator-type multifunctional heat exchangers. Applied Thermal Engineering, 8, 14-25.

УДК 644.356

## ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНО-ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У НЕРУХОМОМУ ШАРІ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРІАЛУ В СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ УМОВАХ

Сабадаш В. В., к. т. н., доцент Гумницький Я. М., д. т. н., професор  
Національний університет «Львівська політехніка»

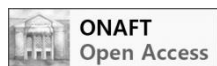
## INVESTIGATION OF ADSORPTION-DIFFUSION PROCESSES IN FIXED BED OF DISPERSED MATERIAL IN STATIC AND DYNAMIC CONDITIONS

V. V. Sabadash, J. M. Gumnitsky  
Lviv National Polytechnic University

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Представлено результати експериментальних досліджень динаміки сорбції та іонообмінного поглинання іонів купруму цеолітом у апараті колонного типу. Було проаналізовано існуючий теоретичний апарат для опису процесів адсорбції. Досліджено механізм процесу адсорбції і розроблено методи для ідентифікації експериментальних даних теоретичним моделям. Експериментально досліджено сорбційну ємність цеоліту щодо іонів купруму в динамічних умовах. Побудовано вихідні криві динаміки адсорбції

іонів купруму цеолітом в апараті колонного типу. Встановлено взаємозв'язок ступеня насичення сорбенту від критерію Фур'є. Отримані результати експериментальних досліджень дають змогу визначити коефіцієнти динаміки процесу адсорбції важких металів в апаратах колонного типу. Експериментально досліджено дифузію висококонцентрованих розчинів у шарі інертного зернистого середовища в статичних умовах. Встановлено залежність швидкості процесу від напрямку фронту дифузії та розраховано коефіцієнти дифузії, кінетичні коефіцієнти дифузійного процесу та швидкість фронту дифузії. Відповідно до експериментальних даних крім молекулярної дифузії має місце конвективний масоперенос та фільтрація матеріального потоку крізь шар насадки. Це залежить від концентрації іонів важких металів у вихідному розчині та від напрямку фронту дифузії. Було встановлено, що значення коефіцієнту дифузії іонів купруму по різні напрямки напрями осі Z відрізняється на п'ять порядків, а при порівнянні коефіцієнтів дифузії компоненту у від'ємному напрямі осі Z (вниз) та у напрямі осі Y на порядок. Проведено узагальнення отриманих результатів дослідження та розрахункових даних.

**Abstract.** Copper and its compounds are widely used in many industries and there are many potential sources of copper pollution. Various methods have been used to remove heavy metals from wastewater, including: reduction and precipitation, coagulation and flotation, adsorption, ion exchange, membrane technologies and electrolysis. The results of experimental studies of the dynamic of ion exchange adsorption of copper ions by zeolite in the periodic conditions were presented. The existing theoretical apparatus for adsorption processes description was analysed. Adsorption process mechanism was investigated and methods for identification of experimental data to theoretical models were developed. Sorption capacity of zeolite to heavy metals in dynamic conditions was experimentally investigated. Adsorption capacity of adsorbents was set. The breakthrough curves of adsorption dynamics of copper ions by zeolite in the column-type apparatus were built. The interrelation of the saturation degree of sorbent to Fourier number was discovered. The results of experimental studies make it possible to determine the adsorption process of heavy metals in the column-type apparatus. The results of experimental studies make it possible to determine the coefficients of dynamic of adsorption process. The migration of high concentration solutions in the soil environment is experimentally investigated. The dependence of process speed on direction of diffusion front was established and coefficients of diffusion, kinetic coefficients of diffusive process and speed of diffusion front, were expected. According to experimental data in addition to molecular diffusion of material flow occurs convective mass transfer and filtration through the layer through the nozzle. It depends on the concentration of heavy metals' ions in the initial solution and the direction of the front diffusion. It was found that the value of diffusion coefficient of copper ions in different directions Z-axis direction differs by five orders of magnitude, and by comparing the diffusion coefficients component in the negative direction of the axis Z (down) and the Y-axis direction in order. Generalization of the obtained results and calculated data were carried out.

**Ключові слова:** важкі метали, купрум, динаміка адсорбції, коефіцієнт масовіддачі.

**Keywords:** heavy metals, copper, adsorption dynamic, the mass-transfer coefficient

**Формулювання проблеми і її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.** Для розробки ефективних методів вилучення забруднень та цінних компонентів з промислових стоків, з метою розробки природоохоронних заходів, необхідно з'ясувати вплив різних факторів, зокрема гідродинаміки потоків на ефективність вилучення цінних компонентів з матеріального потоку [1,2]. Відомо, що протитетичні схеми реалізації масообмінних процесів ефективніші за прямиотетичні. Процеси адсорбції включають поглинання компоненту в статичних та динамічних умовах[3]. Вивчення динаміки дозволяє встановити розподіл сорбованого компонента у рідинному середовищі та адсорбенті у просторі та часі. На основі динаміки сорбції визначається час досягнення явища «проскоку»[4]. Це необхідно для забезпечення ефективної роботи обладнання та забезпечення необхідного ступеня вилучення адсорбата з матеріального потоку. На процеси адсорбції в апаратах колонного типу крім сил міжмолекулярної взаємодії, гідродинаміки потоку та термодинамічних параметрів системи впливає дифузія адсорбата через міжфазну поверхню всередину сорбента, природа адсорбента і адсорбата, гравітація, в'язкість, поверхневий натяг та густина розчину[5]. Але для врахування вкладу цих чинників на динаміку адсорбції необхідно з'ясувати характер зміни концентрації у нерухомому шарі сорбента у статичних умовах.

**Мета роботи** – дослідити динаміку адсорбції іонів купруму в апараті колонного типу з нерухожим шаром сорбента та встановити закономірності розподілу концентрацій катіонів металів в шарі сорбента в залежності від напрямку подачі потоку в апарат та визначення коефіцієнту дифузії компоненту у дисперсній системі тверде тіло-рідина в стаціонарному режимі для оптимізації процесу адсорбції в апаратах колонного типу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У попередніх дослідженнях було вивчено адсорбційні властивості цеоліту Закарпатського родовища, основу якого складає кліноптилоліт, стосовно ряду сполук, зокрема Cu(II) [6].

З'ясовано, що ізотерма адсорбції має s-подібний вигляд і налжить до ізотерми II типу. Встановлено, що після утворення мономолекулярного адсорбційного шару адсорбція продовжується і далі. Це приводить до появи димоллекулярного шару. [5].

Досліджено динаміку сорбції  $\alpha$ -оксіпропіонової кислоти цеолітом в апараті колонного типу. На підставі проведених досліджень та розрахунків математичної моделі побудовано теоретичну залежність концентрації  $\alpha$ -оксіпропіонової кислоти у рідкій фазі в залежності від числа Fo. Обґрунтовано параметри адсорбційної колони.

Приведено дані про міграцію компонентів мінеральних добрив та важких металів в ґрунтовому середовищі при постійній концентрації компоненту на поверхні ґрунту [2,3]. Процес дифузії мінеральних добрив при постійній концентрації компоненту на поверхні ґрунту описували системою рівнянь [3]

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \tau} = D\varepsilon \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} \\ C(0, \tau) = C_0 \\ \left( \frac{\partial C}{\partial Z} \right)_{Z \rightarrow 0} = 0 \\ C(Z, 0) = 0 \end{cases}$$

Рішенням даної системи було рівняння:

$$\frac{C}{C_n} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{Z}{2D\varepsilon\sqrt{\tau}}\right) \quad (1)$$

Проте дослідження проводили за умови низьких початкових концентрацій розчиненого компоненту на поверхні ґрунту. Авторами встановлено, що таких умовах має місце процес молекулярної дифузії компоненту по профілю ґрунту, причому концентрація розчиненої речовини  $C = f(\tau, Z)$  не залежить від напрямку дифузії.

Для дослідження механізму проникнення мінеральних речовин у шар сорбента розглядаємо наступну ситуацію. При наявності на поверхні шару сорбента компоненту у відносно великій кількості, особливо за умови малої його розчинності буде спостерігатися поступове його проходження через шар дисперсного матеріалу [2, 3]. При цьому концентрація компоненту на поверхні шару сорбента буде постійною і рівною концентрації насичення, тобто  $C_n = C_s$ . Але при попаданні в навколишнє середовище добре розчинних речовин необхідно дослідити механізм процесу для прогнозування масштабів дифузії забруднень у ґрунтах

**Методика визначення.** Адсорбцію компонента в динамічних умовах здійснювали в апараті колонного типу з висотою шару цеоліту 2, 5 та 7 см. Концентрація вихідного розчину становила 0,002 кг/дм<sup>3</sup>. Визначення концентрації іонів купруму проводили атомно-адсорбційним методом [5] за стандартними методиками. Для експериментального дослідження розподілу іонів купруму та їх дифузії в статичних умовах у нерухомому шарі дисперсного матеріалу застосовували CuSO<sub>4</sub>. Для виключення впливу на процес іонного обміну та зведення до мінімуму впливу адсорбційних процесів, як наповнювач в колонному апараті застосовували SiO<sub>2</sub>.

Для забезпечення постійної концентрації Cu<sup>2+</sup> на поверхні шару сорбента у вимірювальні комірки вносили по 50 г солі. Таким чином, виходячи з розчинності CuSO<sub>4</sub> 420.5 г/л, забезпечувалася постійна концентрація Cu<sup>2+</sup> на поверхні шару сорбента. Для визначення концентрації Cu<sup>2+</sup> відбирали проби з шару сорбента на віддалі Z= 0, 5, 10, 15 та 20 см від поверхні шару дисперсного матеріалу. Розподіл речовини відбувається у нерухомому шарі інертного матеріалу з пористістю  $\varepsilon=0,4$  а) від поверхні вимірювальної комірки в об'єм середовища у від'ємному напрямку осі Z; б) вздовж горизонтальної площини комірки, тобто в напрямі осі X; с) з дна комірки до поверхні, тобто в додатному напрямі осі Z. Пори середовища були заповнені водою.

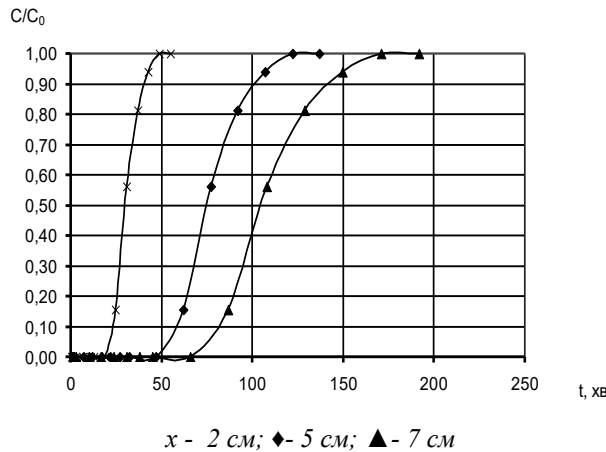
**Експериментальні дослідження динаміки адсорбції іонів Cu<sup>2+</sup> в апараті колонного типу з нерухомим шаром сорбента.** Дослідження процесу сорбції іонів купруму природним цеолітом в динамічних умовах проводились в апараті колонного типу. Розчин подавався зверху колонки, проходив через шар адсорбенту різної висоти та збирався у приймачі очищеної води. Проводились заміри об'єму рідини у часі та з певної порції рідини відбирались проби на визначення концентрації іонів купруму. З експериментальних даних видно, що умовах даного гідродинамічного режиму процесу адсорбції іонів купруму на цеоліті має місце змішано-дифузійний механізм адсорбції. При недостатній висоті шару сорбента навіть за умови витрати розчину 3 мл/хв спостерігається проскок незначних кількостей забрудника вже з перших хвилин експерименту. Тому мінімальна висота шару сорбента повинна становити не менше 5 см. за початкової концентрації іонів

купрум 0,015 кг/м<sup>3</sup> побудована початкова крива адсорбції іонів купрум в динамічних умовах, що адсорбуються на фільтрувальному матеріалі з адсорбентом при Z=2,5 та 7см (рис. 1).

Математичний аналіз динаміки адсорбції базується на системі диференціальних рівнянь, розв'язок яких можливий лише за значних спрощень [3].

Для математичного вираження залежності між концентрацією іонів купрум та часом сорбції за певної швидкості пропускання розчину через колонку нами використано модель Томаса (2), яка є найбільш простою і зручною. Рівняння вихідної кривої для шару малої висоти описується наступним виразом:

$$\frac{C}{C_0} = 1 - ae^{-\lambda Fo} \quad (2)$$



**Рис. 1.** Вихідна крива сорбції іонів купрум для різних висот шару сорбенту.

де n – цілі довжини шару n = 2,3 ... 3.

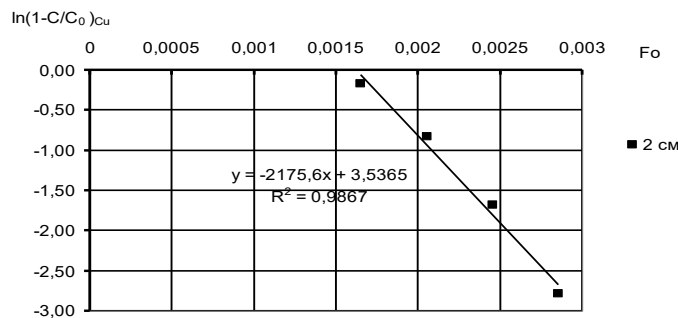
Модель пов'язує концентрацію на виході з колонки зі швидкістю пропускання розчину. У лінійну залежність об'ємна швидкість безпосередньо не входить, вона входить неявним чином у час сорбції, який дорівнює об'єму профільтованого розчину, поділеному на об'ємну швидкість.

Модель застосовується для діапазону початкових концентрацій (0,08–0,93)·C<sub>0</sub> і досить коректно описує процес мономолекулярної адсорбції, для якої справедлива ізотерма Ленгмюра та кінетика якої відповідає рівнянню другого порядку. Модель також передбачає, що процес сорбції контролюється масообмінними процесами між твердою та рідкою фазами. Кількість іонів купрум та хрому, яка затримана у колонці, відповідає площі під кривою проскоку у координатах C–t і була розрахована чисельним інтегруванням.

Для визначення коефіцієнтів λ та a прологарифмуємо рівняння (1):

$$\ln\left(1 - \frac{C}{C_0}\right) = \ln(a) - \lambda Fo \quad (4)$$

З метою представлення даних графічно, одержимо пряmolінійну залежність:



**Рис. 2.** Вихідна крива сорбції іонів купрум за Z=2см в лінійних координатах ln(1-C/C<sub>0</sub>)-f(Fo).

З графіку 2 визначаємо ln(a) = 3,5365, a=34,34, λ=2175,6.

Рівняння (4) вихідної кривої для шару при адсорбції іонів купрум для висоти Z=2см матиме вигляд:

$$\frac{C}{C_0} = 1 - 34,34e^{-2175,6Fo} \quad (5)$$

Перехід до інших довжин шару адсорбента може бути виконаний на основі наближеного рішення (3).

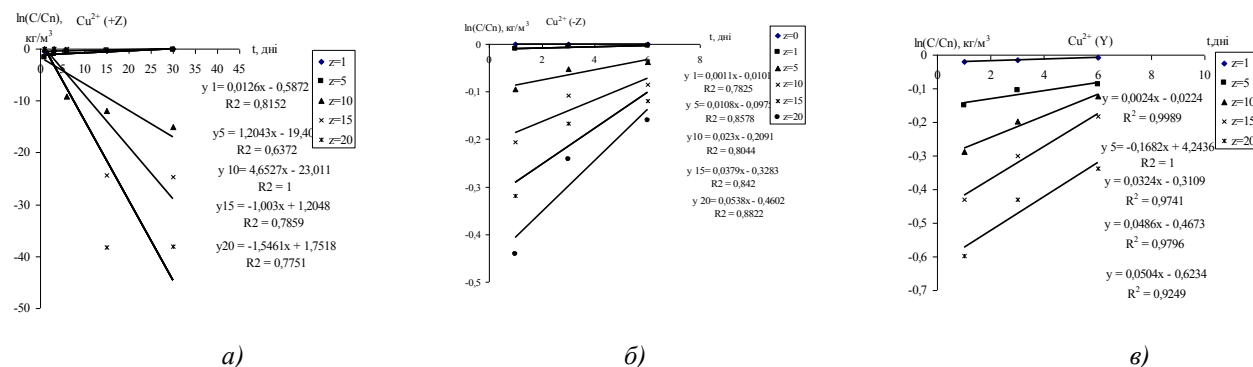
**Експериментальні дослідження дифузії важких металів у нерухомому шарі дисперсного матеріалу.** Аналізуючи дані експериментальних досліджень за допомогою рішення математичної моделі одержано значення коефіцієнту дифузії  $Cu^{2+}$  у ґрунтовому середовищі по вертикальному профілю у від'ємному напрямку осі координат  $Z - D=1,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  (рис 3 а). Це свідчить про міграцію компоненту в ґрунтовому середовищі за механізмом турбулентного масопереносу. Швидкість руху фронту дифузії в даному експерименту становила  $2,72 \cdot 10^{-5} \text{ м/с } Cu^{2+}$ . Розподіл концентрації  $Cu^{2+}$  через шар дисперсного матеріалу вздовж горизонтальної площини комірки в напрямі осі  $Y$  (рис 3 б). при  $t=\text{const}$  рис.. проходить також за механізмом турбулентної дифузії, що свідчить про значення коефіцієнту дифузії –  $D=2,27 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Швидкість руху фронту дифузії в даному експерименті становила  $6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$ . Це пояснюється тим, що розчин, який дифундує в порах ґрунтового середовища є суттєво важчий за воду, а  $\Delta Z=5\text{см}$  і на швидкість переміщення фронту дифузії має вплив сила гравітації. При  $\Delta Z \rightarrow 0$  процес дифузії буде проходити за механізмом молекулярної дифузії, а коефіцієнт дифузії  $D$  буде порядку  $10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  (рис 3 в)[3].

Це свідчить про міграцію компоненту в ґрунтовому середовищі за механізмом турбулентного масопереносу. Швидкість руху фронту дифузії в даному експерименту становила  $2,72 \cdot 10^{-5} \text{ м/с } Cu^{2+}$ . Розподіл концентрації  $Cu^{2+}$  через шар дисперсного матеріалу вздовж горизонтальної площини комірки в напрямі осі  $Y$  (рис 3 б). при  $t=\text{const}$  рис.. проходить також за механізмом турбулентної дифузії, що свідчить про значення коефіцієнту дифузії –  $D=2,27 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Швидкість руху фронту дифузії в даному експерименті становила  $6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$ . Це пояснюється тим, що розчин, який дифундує в порах ґрунтового середовища є суттєво важчий за воду, а  $\Delta Z=5\text{см}$  і на швидкість переміщення фронту дифузії має вплив сила гравітації. При  $\Delta Z \rightarrow 0$  процес дифузії буде проходити за механізмом молекулярної дифузії, а коефіцієнт дифузії  $D$  буде порядку  $10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  (рис 3 в)[3].

Результати дослідження процесу дифузії компоненту вверх по ґрунтовому профілю свідчать про те, що тут має місце молекулярна дифузія розчиненого компоненту в ґрунтовому середовищі, хоча процес сповільнюється також і силою гравітації та гідростатичним тиском рідини в порах ґрунтового середовища. Коефіцієнт дифузії  $Cu^{2+}$  у ґрунтовому середовищі по вертикальному профілю у додатному напрямку осі координат  $Z$  (рис 4. в)  $D=1,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ .

**Таблиця 1 – Визначення кінетичного коефіцієнту дифузії  $Cu^{2+}$  через шар дисперсного матеріалу**

$K=k\omega/Z$	$z=1$	$z=5$	$z=10$	$z=15$	$z=20$
Дифузія в додатному напрямі осі $Z$	0,1380653	0,0827386	0,2277179	0,1379309	0,1804991
Дифузія у від'ємному напрямі осі $Z$	0,0088769	0,0664998	0,1221981	0,1791226	0,2458882
Дифузія в додатному напрямі осі $Y$	0,0041306	0,0392544	0,084295	0,1281034	0,1740219



а) - у від'ємному напрямку осі координат  $Z$  б) - вздовж горизонтальної площини комірки в напрямі осі  $Y$   
в) - у додатному напрямку осі координат  $Z$

**Рис. 3. Експериментальне визначення кінетичного коефіцієнту дифузії  $Cu^{2+}$  відносно профілю шару сорбента.**

Порівнюючи експериментальні та теоретичні дані та враховуючи значення достовірності апроксимації  $R^2 \approx 1$  можна свідчити про задовільну збіжність результатів.

**Висновок.** Досліджено динаміку адсорбції іонів купруму цеолітом в апараті колонного типу в залежності від висоти шару сорбента. Побудовано вихідні криві динаміки адсорбції іонів купруму цеолітом в апараті колонного типу. Встановлено взаємозв'язок ступеня насичення сорбенту від критерію Фур'є. Для оцінки впливу способу реалізації процесу проведено дослідження дифузії іонів купруму в нерухомому шарі інертного матеріалу в статичних умовах за умов постійної концентрації досліджуваного компонента. Було встановлено, що значення коефіцієнту дифузії добре розчинного компоненту, розраховане за теоретичними залежностями, по різні напрямки осі Z, тобто у вертикальному напрямі відрізняється на п'ять порядків, а при порівнянні коефіцієнтів дифузії компоненту у від'ємному напрямі осі Z (вниз) та у напрямі осі Y на порядок.

#### Література

1. Natural zeolite — clinoptilolite identification / Kuliyeva T.Z. et.al. //Fizika. 2009. №3. P. 43–45
2. Сабадаш В.В., Гумницький Я.М., Венгер Л.О. Експериментальне визначення кінетичних коефіцієнтів міграції мінеральних речовин за профілем ґрунту // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” Хімія, технологія речовин та їх застосування. № 667. 2010. С. 299-303.
3. Гумницький Я.М., Сабадаш В.В., Венгер Л.О. Дослідження міграції мінеральних речовин у ґрунтовому середовищі за постійної концентрації Венгер // Вісник НУ “Львівська політехніка” Хімія, технологія речовин та їх застосування 2009. № 644. С.192-195.
4. Гивлюд А.М., Сабадаш В.В., Гумницький Я.М. Проблема очищення стічних вод молокопереробних підприємств // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2016. Т.80, вип. 1. С. 126-131.
5. Фролов Ю.Г. Курс колоїдної хімії. Поверхневі явища і дисперсні системи. К.: Вища школа. 1988. 464 с.
6. Сидорчук О. В., Гумницький Я. М. Сорбція іонів купруму із водних розчинів природним кліноптилолітом // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2013. № 7. С. 235-241.

#### References

1. Kuliyeva, T. Z., Lebedeva, N. N., Orbuh V. I., Sultanov Ch. A., (2009). “Natural zeolite — clinoptilolite identification”, *Fizika*, 3, 43–45.
2. Gumnitsky, Ya. M., Sabadash, V.V., Venher, L.O. (2009), “The study of migration of minerals in the soil environment at a constant concentration”, *Visnyk Natsional'nogo universytetu "Lviv'ska politekhnika". Seriya "Khimiya, tehnologiya rechovy`n ta yih zastosuvannya"*, 644, 192-195.
3. Sabadash, V.V., Gumnitsky, Ya. M., Venher, L.O. (2010). “Experimental determination of kinetic coefficients of migration of mineral substances by the soil profile”, *Visnyk Natsional'nogo universytetu "Lviv'ska politekhnika". Seriya "Khimiya, tehnologiya rechovy`n ta yih zastosuvannya"*, 667, 299-303.
4. Hyvlyud, A.M., Sabadash, V.V., Gumnitsky, Ya. M. (2016). “Problem of wastewater treatment of dairy plants”, *Naukovi pratsi ONAKhT*, 80 (1), 126–131.
5. Frolov, Yu.G. (1988)ю *Kurs koloyidnoyi khimiyi. Poverkhnevi yavyscha i dyspersni systemy* [Course of Colloid Chemistry. Surface phenomena and disperse systems], Vyshcha shkola, Kyiv, Ukraine, 464.
6. Sydorchyk, O. V., Gumnitsky, Ya. M. (2013). “Sorptions of copper ions from aqueous solutions by natural clinoptilolite”, *Visnyk Lvivskogo derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyedyialnosti*, 7, 235-241.

УДК 628.54

## ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ІЗ СУМІШІ ПОВІТРЯ З ДІОКСИДОМ СІРКИ

Дячок В. В. д. т. н, професор, Гуглич С. І. к. т. н, доцент,  
Катишева В. В. аспірант, Мандрик С. Т. магістр  
Національний університет “Львівська Політехніка”

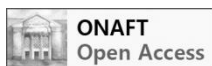
## REFILL OF SUGAR GAS FROM MIXTURES WITH DIOXIDE

Deacock V. V. D.N., Professor, Guglich S. I., Ph.D., Associate Professor,  
Katysheva V. V. postgraduate student, Mandryk S. T. student  
National University "Lviv Polytechnic"

Copyright © 2017 by author and the journal “Scientific Works”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Сучасні технології потребують новітніх процесів утилізації, проте більшість із них також дають відходи, які не завжди легко утилізуються. Натомість усі процеси, що відбуваються у живій природі, є циклічними і добре збалансованими. Перетворення речовини в екосистемах реалізується шляхом кругообігу – відходи одних процесів використовуються в інших біологічних процесах.

Типовим прикладом таких процесів, може бути трансформація вуглекислого газу у біомасу із застосуванням фотосинтезу у промислових умовах. Проте, промислові газові викиди окрім вуглекислого газу завжди містять певну кількість діоксиду сірки. Тому важливо досліджувати вплив цього компоненту на про-