

На рис. 3 подана порівняльна характеристика між експериментальними  $\Delta P_{\text{екс}}$  і розрахованими за формулою (9)  $\Delta P_{\text{теор}}$  значеннями. Як видно із графічної залежності, розраховані значення добре узгоджуються із експериментальними (середньоквадратичне відхилення не перевищує 5 %).

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М., 1971. – 784 с. 2. Аэров М.Э., Годес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. – Л., 1979. – 175 с.

УДК 66.047

**І.О. Гузьова, Я.М. Ханик, В.М. Атаманюк, О.М. Креховецький**  
 Національний університет “Львівська політехніка”,  
 кафедра хімічної інженерії та промислової екології

## **КІНЕТИКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ МОДИФІКОВАНОГО ЦЕОЛІТУ**

© Гузьова І.О., Ханик Я.М., Атаманюк В.М., Креховецький О.М., 2000

**Проведено комплексне дослідження з кінетики фільтраційного сушіння модифікованого цеоліту. Подані результати досліджень та встановлені розрахункові залежності для прогнозування сушіння в широкому діапазоні зміни параметрів процесу.**

**Is devoted to the theoretical and experimental investigations of the filtration drying of disperse materials (modified zeolites). The experimental results are presented and the computation dependencies for predicting the process kinetics are established.**

Цеоліти – це кристалічні водні алюмосилікати, що знаходять широке застосування в промисловості та сільському господарстві. Особливістю цеолітів є наявність системи каналів та капілярів, які визначають сорбційні властивості даного матеріалу. Цеоліти мають іонообмінні властивості, що є причиною їх широкого використання в галузі охорони довкілля з метою очищення стічних вод та відхідних газів [1].

Однак для покращання іонообмінних та адсорбційних властивостей природні цеоліти модифікуються. Процеси модифікування відбуваються в розчині, після чого суспензія розділяється на барабанному вакуум-фільтрі і за допомогою транспортера подається на сушіння. З метою інтенсифікації виробництва модифікованого цеоліту нами було запропоновано поєднати процеси розділення суспензії та фільтраційного сушіння у випадку, коли напрямки руху фільтрату та сили ваги збігаються.

Під фільтраційним сушіння розуміють такий процес, коли теплоносії під дією різниці тисків рухається через пори та капіляри об'єкта, що сушиться. При цьому не спостерігається винесення сухого матеріалу, зростає внутрішня поверхня тепломасообміну, частково виноситься волога практично без затрат тепла.

Нами були проведені дослідження з кінетики фільтраційного сушіння цеоліту. На рис. 1 зображені кінетичні криві сушіння для різних висот цеоліту.

Кінетичні криві при змінних температурах теплоносія та перепаду тисків по сухому матеріалу наведені на рис. 2, 3.

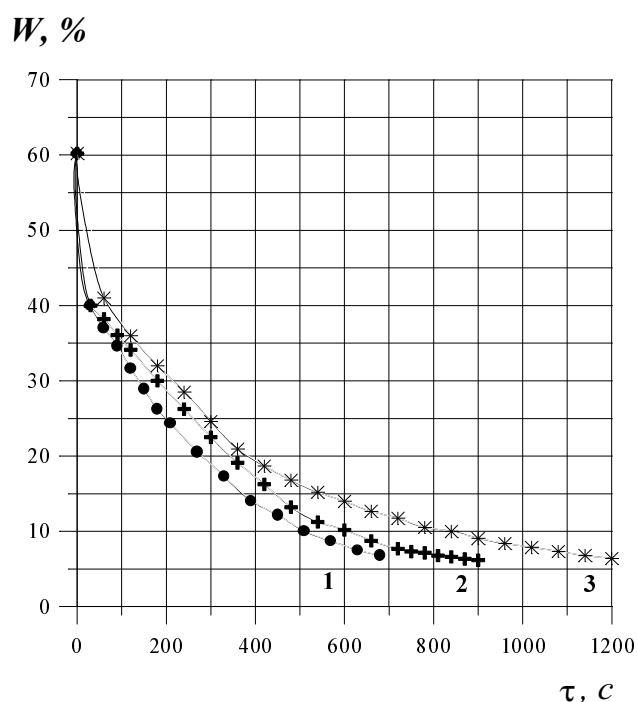


Рис. 1. Зміна вологості в часі при постійних перепадах тисків по сухому матеріалу ( $\Delta p_{\text{сух}} = 67000 \text{ Па}$ ) і температурі теплоносія ( $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ) для різних висот цеоліту.  
1 –  $H = 5,5 \text{ мм}$ ; 2 –  $H = 8 \text{ мм}$ ; 3 –  $H = 11 \text{ мм}$

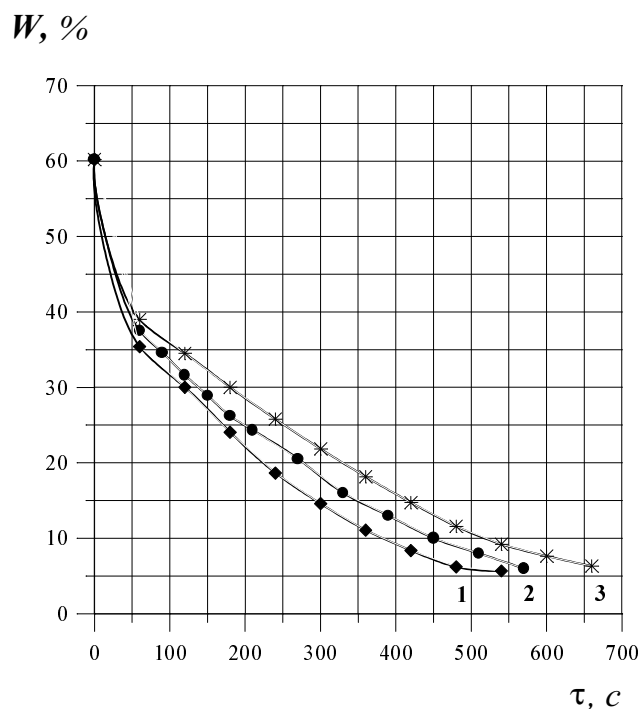


Рис. 2. Зміна вологості в часі при однаковій висоті ( $H = 5,5 \text{ мм}$ ) і температурі теплоносія ( $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ) для різних перепадів тисків по сухому матеріалу:  
1 –  $\Delta p_{\text{сух}} = 73829 \text{ Па}$ ;  
2 –  $\Delta p_{\text{сух}} = 67000 \text{ Па}$ ; 3 –  $\Delta p_{\text{сух}} = 52183 \text{ Па}$

Як видно з рис. 1–3, кінетичні залежності характеризуються чітко вираженими першим і другим умовним періодами, а також механічним витісненням вологи. Причому, як бачимо, період механічного витіснення вологи триває досить короткий час, а волога при цьому зменшується приблизно в 1,5 раза. Отже, наявність значного механічного витіснення вологи підтверджує економічну доцільність сушіння модифікованого цеоліту.

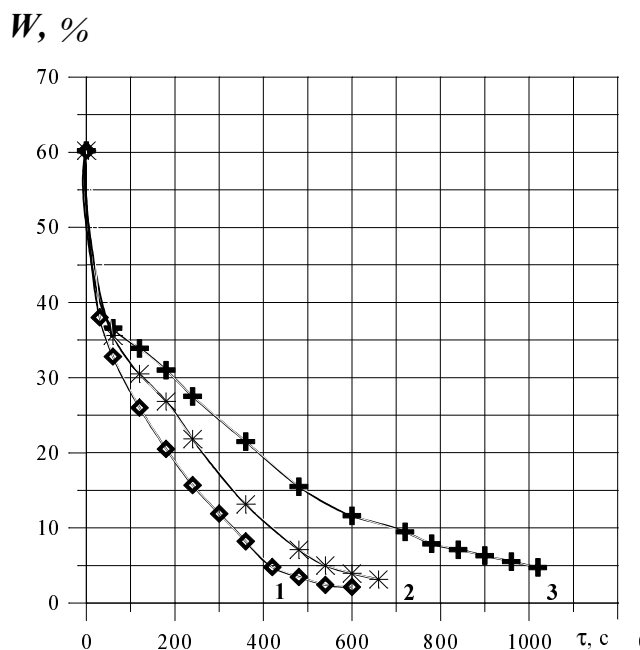


Рис. 3. Зміна вологості матеріалу в часі ( $H = 5,5$  мм;  $\Delta p_{\text{сух}} = 53214$  Па) при різних температурах теплоносія.  
1 –  $T = 65$  °C; 2 –  $T = 55$  °C; 3 –  $T = 35$  °C

З рис. 2–3 видно, що підвищення температури теплоносія, а також гідравлічного опору по сухому матеріалу позитивно впливають на сушіння в однаковій мірі (при зростанні  $T$ , °C та  $\Delta p_{\text{сух}}$ , Па приблизно в 1,5 раза, час сушіння зменшується також приблизно в 1,5 раза).

Для узагальнення результатів першого умовного періоду використовувалася математична модель, що описана в [2, 3], яка остаточно має вигляд:

$$\frac{W_0 - W}{W_0} = \alpha \cdot \tau \cdot e^{-a \cdot H}, \quad (1)$$

де  $W_0$  – початкова вологість матеріалу, %;  $W$  – поточна вологість, %;  $\alpha$  – кінетичний коефіцієнт, що залежить від гідродинаміки процесу і температури теплоносія, 1/с;  $\tau$  – час сушіння, с;  $a$  – коефіцієнт, що визначається з експериментальних даних і є постійним для даного матеріалу, 1/м.

Враховуючи з узагальнення першого періоду сушіння цеоліту, були отримані такі дані:

$$a = 97,23 \text{ 1/м};$$

$$\alpha = A \cdot t^n \cdot \Delta p_{\text{сух}}^m = 1.5 \cdot 10^{-9} \cdot t^{0.99} \cdot \Delta p_{\text{сух}}^{0.98}, \quad (2)$$

де  $t$  – температура теплоносія °C;  $\Delta p_{\text{сух}}$  – перепад тисків по сухому матеріалу, Па.

Отже, зміна теоретично розрахованої вологості в першому умовному періоді:

$$W = W_0 (1 - 1.5 \cdot 10^{-9} \cdot t^{0.99} \cdot \Delta p_{\text{сух}}^{0.98} \cdot \tau \cdot e^{-97.23 \cdot H}). \quad (3)$$

Для узагальнення другого періоду скористаємося рівнянням (за А.В. Ликовим) [4]

$$\frac{W - W_p}{W_{\text{кр}} - W_p} = e^{-K \cdot (\tau - \tau_{\text{кр}})} = e^{-\chi \cdot N \cdot (\tau - \tau_{\text{кр}})},$$

де  $W_p$  – рівноважна вологість, %;  $K$  – коефіцієнт сушіння, який залежить від режиму сушіння (прямопропорційний  $N$ ), 1/с;  $N$  – швидкість сушіння в першому періоді, %/с;  $\chi$  – відносний коефіцієнт сушіння, що залежить від властивостей матеріалу та від його початкової вологості, 1/%;  $W_{\text{кр}}$  – критична вологість матеріалу, %;  $\tau_{\text{кр}}$  – критичний час сушіння, с.

Звідки розрахунок зміни вологості цеоліту в часі здійснюється за рівнянням

$$W = (W_{\text{кр}} - W_p) \cdot e^{-0.125 \cdot N \cdot (\tau - \tau_{\text{кр}})} + W_p, \quad (4)$$

де відносний коефіцієнт сушіння  $\chi = 0,125$  знаходимо, враховуючи графічну залежність (рис. 4).

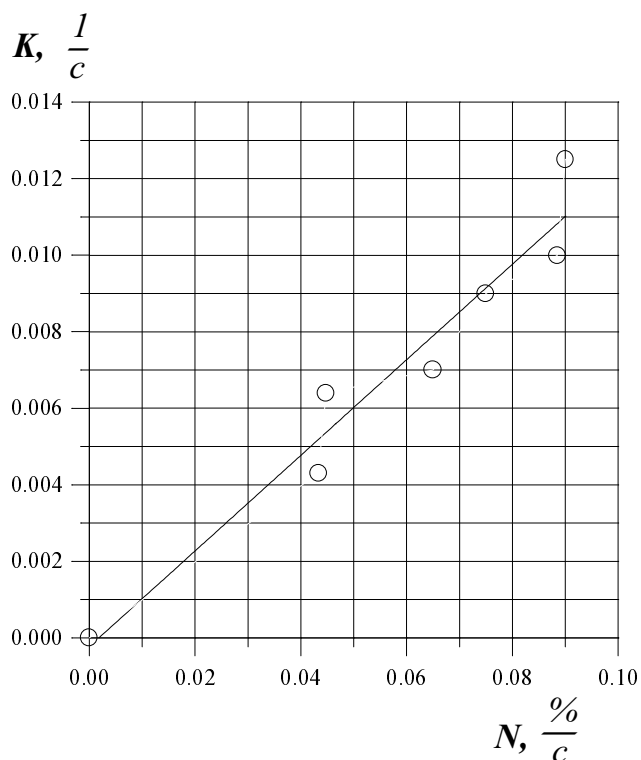


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта сушіння  $K$  від швидкості сушіння в першому періоді  $N$

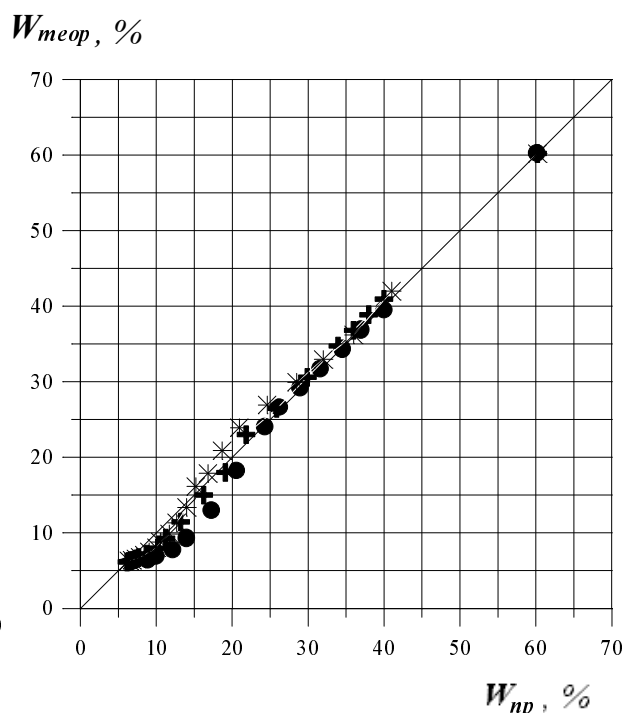


Рис 5. Кореляційна залежність між теоретично розрахованими  $W_{теор}, \%$ , і отриманими експериментальними значеннями  $W_{пр}, \%$ , вологості матеріалу при різних висотах шарів цеоліту

На рис. 5 подано порівняння розрахункових та експериментальних значень вологості для першого і другого умовних періодів. Відносна похибка не перевищує 15 %.

1. Цицишвили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.Н. и др. Природные цеолиты. – М., 1985. 2. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов: Дис. ...д-ра техн. наук. – Львов; 1992. – 401 с. – Машинопись 3. Атаманюк В.М. Гідродинаміка та масообмін в процесі фільтраційного сушіння хімічного волокна: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Львів, 1995. 4. Лыков А.В. Теория сушки. – Львов, 1968. – 471 с. – Машинопись.