

КІНЕТИКА НАРОЩУВАННЯ ОБОЛОНКИ НА ПОВЕРХНІ ЧАСТИНОК МАТЕРІАЛУ ПІД ЧАС КАПСУЛЮВАННЯ У СТАНІ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

Нагурський О.А. к.т.н., доцент, Нагурський А.О. студент
Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів

Отримано узагальнення у критеріальній формі залежності кінетики нарощування оболонки на поверхні частинок матеріалу, яке дає змогу розраховувати тривалість капсулювання у широких межах властивостей речовин, що приймають участь у процесі капсулювання.

Generalization is got in the criterion form of dependence of kinetics of increase of shell on the surface of particles of material, that gives an opportunity to expect duration of capsulation in the wide limits of properties of substances that take part in the process of capsulation.

Ключові слова: дисперсний матеріал, псевдозрідження, кінетика капсулювання, математичні моделі

Постановка проблеми. Важливим способом вдосконалення властивостей різних матеріалів є модифікування вихідних речовин нанесенням на їх поверхню функціональної оболонки. Покриття змінює властивості речовин, дозволяючи оптимізувати їх експлуатаційні властивості. Капсулювання широко застосовується в хімічній, хіміко-фармацевтичній та суміжних галузях промисловості і сільському господарстві [1,2]. Тривалість процесу капсулювання визначається товщиною покриття, яке необхідно нанести на поверхню частинок дисперсного матеріалу.

Мета роботи. Під час капсулювання за допомогою плівкоутворювальних розчинів, формування оболонки на поверхні частинок матеріалу здійснюється в результаті випаровування розчинника [3]. Інтенсивність видалення розчинника з поверхні частинки матеріалу визначає кінетику нарощування оболонки. Маса випареного розчинника ΔW за певний час Δt визначається за допомогою рівняння [4]:

$$\Delta W = \beta F(C_{\text{нас}} - C)\Delta t \quad (1)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі пари розчинника від поверхні частинки у середовище повітря, м/с; $C_{\text{нас}}$, C – концентрація пари розчинника у повітрі, відповідно, у стані насичення і робоча, кг/м³; F – площа поверхні масообміну, м².

Маса матеріалу оболонки ΔM_n , яка буде нанесена на поверхню частинок за час Δt , визначається за допомогою рівняння:

$$\Delta M_n = \Delta W C_p \tau \quad (2)$$

де C_p – концентрація плівкотвірних компонентів у розчині, кг компонентів / кг розчинника.

Виразимо масу оболонки через її об'єм V_n (м³) та густину ρ_n (кг/м³):

$$\Delta M_n = V_n \rho_n, \quad (3)$$

Звідси об'єм оболонки буде дорівнювати:

$$V_n = \frac{\Delta M_n}{\rho_n}, \quad (4)$$

Таж сама величина, виражена через геометричні розміри частинки:

$$V_n = N_q \frac{\pi}{6} (d^3 - d_0^3), \quad (5)$$

де N_q – кількість частинок матеріалу, шт.;

d , d_0 – діаметр частинки, відповідно, покритої оболонкою і початковий, м.

Після математичних перестановок та скорочень із (5) отримуємо рівняння такого вигляду:

$$d = d_0 \sqrt[3]{1 + \frac{6V_n}{\pi N_q d_0^3}}, \quad (6)$$

Переписуємо рівняння (4) із врахуванням (2) та підставивши (5), отримуємо:

$$\Delta V_n = \frac{\Delta W C_p \Delta t}{\rho_n} = \frac{\beta F (C_{\text{нас}} - C) \Delta t C_p}{\rho_n}, \quad (7)$$

де $C_{\text{нас}}$, C – концентрація пари розчинника у повітрі, відповідно, насичення і робоча, кг пари / м³ повітря.

Виражаємо у рівнянні (7) площу масообміну через геометричні розміри частинок, та після математичних перестановок і скорочень отримуємо:

$$d = d_0^3 \sqrt[3]{1 + \frac{6\beta(C_{\text{нас}} - C)\Delta\tau C_p}{d_0 \rho_n}}, \quad (8)$$

Товщину оболонки на поверхні частинки представляємо як половина різниці між діаметром капсульованої частинки та початковим її розміром і підставивши у рівняння (8), отримуємо:

$$\delta = \frac{d - d_0}{2} = \frac{1}{2} d_0 \left[\sqrt[3]{1 + \frac{6\beta(C_{\text{нас}} - C)\Delta\tau C_p}{d_0 \rho_n}} - 1 \right], \quad (9)$$

Рівняння (9) за формою аналогічне рівнянню, отриманому і перевіреному на адекватність у роботі [5]. Для надання рівнянню (9) узагальнюючого характеру, представляємо його у безрозмірній формі:

$$\frac{\delta}{d_0} = \frac{1}{2} \left[\sqrt[3]{1 + 6Fo \cdot Sh \cdot I_c} - 1 \right], \quad (10)$$

де $I_c = \frac{(C_{\text{нас}} - C) C_p}{\rho_n}$ - безрозмірний концентраційний симплекс. Даний симплекс представляє

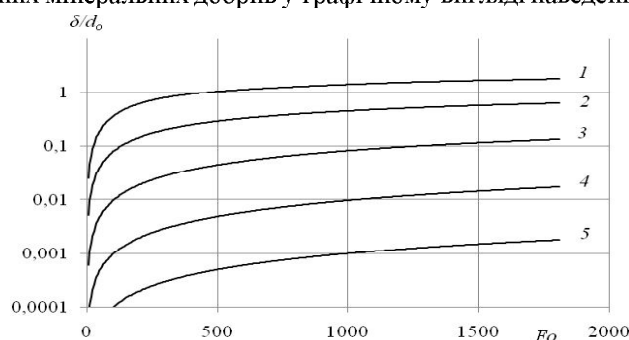
собою відношення маси плівкоутворювача до об'єму зріджувального повітря і його густини.

Рівняння (10) дає змогу описати кінетику процесу нарощування оболонки на поверхні частинок твердого дисперсного матеріалу у залежності від гідродинаміки, тепло- і масообміну під час капсулювання у стані псевдозрідження у широких межах властивостей матеріалів, які застосовуються для капсулювання.

Згідно літературних джерел [5], параметри компонентів плівкоутворювача, які входять до концентраційного симплексу I_c мають значення такого порядку:

- концентрація насичення пари розчинника:
вода – $C_{\text{нас}} \approx 1 \cdot 10^{-2}$ кг розчинника / кг повітря;
чотирихлористий вуглець – $C_{\text{нас}} \approx 1 \cdot 10^{-1}$ кг розчинника / кг повітря;
- робоча концентрація пари розчинника:
вода – $C \approx 1 \cdot 10^{-3}$ кг розчинника / кг повітря;
чотирихлористий вуглець – $C \approx 1 \cdot 10^{-2}$ кг розчинника / кг повітря;
- густина плівкоутворювальної суміші $\rho_n \approx 1 \cdot 10^3$ кг/м³;
- концентрація плівкоутворювача у розчині $C_p \approx 1 \cdot 10^{-1}$ кг плівкоутворювача / кг розчину.

Виходячи із наведених даних, величина концентраційного симплексу I_c набуває значень такого порядку: водні розчини плівкоутворювача $I_c \approx 1 \cdot 10^{-7}$, розчини на основі чотирихлористого вуглецю $I_c \approx 1 \cdot 10^{-6}$. Приймаючи до уваги, що значення критерію Шервуда $Sh \approx 1 \cdot 10^2$, за допомогою рівняння (10) проводимо розрахунок залежності $\delta/d_0 = f(Fo)$ для різних значень комплексу $Sh \cdot I_c$. Результати розрахунків для гранульованих мінеральних добрив у графічному вигляді наведені на рис. 1.



1 – 0,01, 2 – 0,001, 3 – 0,0001, 4 – 0,00001, 5 – 0,000001

Рис.1 – Кінетика нарощування оболонки на частинках дисперсного матеріалу під час капсулювання у стані псевдозрідження за різних значень комплексу $Sh \cdot I_c$

Наведена на рис.1 діаграма дає можливість для конкретного типу добрива та плівкотвірної композиції визначити час досягнення необхідної товщини покриття у залежності від кінетичних параметрів процесу капсулювання.

Висновки.

Отримано узагальнення у критеріальній формі (10) залежності кінетики нарощування оболонки на поверхні частинок матеріалу, яке дає змогу розраховувати тривалість капсулювання у широких межах властивостей речовин, що приймають участь у процесі капсулювання.

Література

1. Кунин Д. Промышленное псевдооживление. / Кунин Д., Левеншпиль О. США, 1969. Пер. с англ. Под ред. М.Г. Слинько и Г.С. Яблонского. М.: Химия, 1976. – 448 с.
2. Winiarski A. Metody zwiekszenia wykorzystania azotu z nawozow mineralnych zwiazane z technologia ich wytwarzania i stosowania / Winiarski A. // Prace Nauk. ITN I NMPWr. – 1994. - № 40. - 69 s.
3. Овчинников, Л.Н. Капсулирование минеральных удобрений во взвешенном слое: монография / Л.Н.Овчинников, А.Г.Липин Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2011. – 140 с.
4. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах / Гельперин Н.И. – М.: Химия, 1981. – 812 с.
5. Демчук И.А. Разработка технологии и моделирования процессов капсулирования твердых лекарственных форм в псевдооживленном слое: дис. к. т. н. : 05.17.08 / Демчук Иван Андреевич. – Львов, 1991 – 203с.

УДК 66.047.45

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Симак Д.М. канд. техн. наук, Гумницький Я.М. докт. техн. наук, професор,
Атаманиук В.М. докт. техн. наук, професор
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Проаналізовано процес теплообміну у шарі дрібнодисперсного матеріалу. Обґрунтовано неможливість одержання аналітичних рішень. Наведено емпіричну апроксимацію експериментальних даних.

Analyzes the process of heat transfer in a layer of fine-dyspersated material. Has been proved the impossibility of obtaining analytical solutions. Has been shown empirical of approximation of experimental data.

Ключові слова: теплообмін, тепловий агент, стаціонарний шар, дисперсний матеріал, кек глиноземистий, кам'яне вугілля

В основі фільтраційного сушіння лежить метод профільтрування теплового агента через нерухомий (стаціонарний) шар дисперсного матеріалу. Метод характеризується високою інтенсивністю, особливо для процесів сушіння, що протікають у першому періоді, а також за наявності вільної вологи, що за лічені секунди видаляється з шару матеріалу. Сушіння є тепломасообмінним процесом, причому температура теплового агента відіграє суттєву роль у видаленні вологи.

Теплові та масообмінні процеси у шарі відзначаються значною складністю визначення поля температур та концентрацій. Структура потоку теплового агента значно відрізняється від структури потоку у реакторі ідеального витіснення (наприклад, вихідні криві у процесах адсорбції).

У процесах сушіння необхідно враховувати температурний фактор, який впливає на рівноважний вологовміст, фізико-хімічні характеристики дисперсного матеріалу та теплового агента.

Балансове рівняння для визначення зміни температури t теплового агента, записане у безрозмірних координатах для одиниці довжини шару, має вид [1]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = -3 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi} \right)_{\varphi=1}, \quad (1)$$

у якому:

$\varphi = \frac{r}{R}$ – безрозмірний радіус частинок;