

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПЗИТИВ

Корнієнко Я.М., д-р. техн. наук, професор,

Сачок Р.В., аспірант

Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ

Розроблено математичну модель безперервного процесу гранулоутворення твердих багатошарових гуміново-мінеральних композитів в апараті псевдозрідженого шару, визначені умови стабілізації дисперсного складу та запропоновано узагальнену функцію визначення якості продукту.

The mathematical model of continuous process of granulation of hard multi-layered humic-mineral composites is developed in the vehicle of fluidized bed, the terms of stabilizing of dispersion composition are certain and the generalized function of determination of quality of product is offered.

Ключові слова: дисперсний, колоїдний, розчин, композити.

Створення нового покоління гуміново-мінеральних добрив з рівномірним розподілом всьому об'єму поживних та стимулюючих речовин сприятиме впровадженню принципів сталого розвитку для України і є актуальним. В якості сировини використовувались реальні водяні розчини сульфату амонію виробництва ВАТ "Азот". Враховуючи необхідність одержання азотно-гумінових добрив з пошаровою структурою з рівномірним розподіленням гумінових, мінеральних та поживних компонентів по всьому об'єму гранули, вибраний процес зневоднення композитних розчинів із застосуванням техніки псевдозрідження.

Фізична модель

Рідка фаза диспергується в двофазну систему: зернистий матеріал – газовий теплоносіє, і за рахунок дії адгезійно-сорбційних сил утримується на поверхні твердих частинок у вигляді надтонкої плівки, до якої від нагрітих твердих частинок і газового теплоносія підводиться теплота. Це призводить до інтенсивного випаровування розчинника, в результаті чого на поверхні твердих частинок утворюється тонкий шар з мікрокристалів мінеральних речовин та осаджених між ними колоїдних часток гумінових сполук з розмірами 10^{-6} - 10^{-7} м.

Такий механізм утворення багатошарових твердих композитів забезпечує рівномірність розподілення колоїдних частинок гумінових речовин при їх концентрації 0,8-1,5 %(мас) та міцності більше 7Н/гранулу, одержання готового продукту 90% за масою сфероподібних частинок з розмірами 1,5 – 4,5 мм.

Метою дослідження є стабілізація дисперсного складу частинок в псевдозрідженому шарі при значеннях коефіцієнта гранулоутворення $\psi \geq 97\%$ за рахунок внутрішнього і зовнішнього джерел нових центрів грануляції та визначення якості процесу.

Математична модель

В основу математичної моделі процесу авторами [1] покладено рівняння нерозривності, яке після розвитку авторів [2] записується в частинних похідних у вигляді

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} + 2 \left[\Lambda \frac{\partial g}{\partial D} + g \frac{\partial \Lambda}{\partial D} - \frac{3\Lambda g}{D} \right] = -S\psi K g + \varphi(D), \quad \tau > 0, 0 < D < \infty, \quad (1)$$

де g - функція масового розподілення гранул за діаметром, мм^{-1} ; τ - час, год; D - поточний діаметр гранул, мм; Λ - лінійна швидкість росту гранул, $\text{мм}/\text{год}$; S - функція сепаратора; ψ - коефіцієнт гранулоутворення, частка; K - константа вивантаження, год^{-1} ; φ - функція потужності джерела центрів грануляції, $(\text{мм} \times \text{годину})^{-1}$.

Якщо прийняти нульовий порядок росту гранул, $\frac{\partial \Lambda}{\partial D} = 0$, то рівняння (1) набуває вигляду:

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} + 2 \left[\Lambda \frac{\partial g}{\partial D} - \frac{3\Lambda g}{D} \right] = -S\psi K g + \varphi(D), \quad \tau > 0, 0 < D < \infty, \quad (2)$$

Звідки функція потужності джерела центрів грануляції визначиться, як:

$$\varphi(D) = \frac{\partial g}{\partial \tau} + 2 \left[\Lambda \frac{\partial g}{\partial D} - \frac{3\Lambda g}{D} \right] + S\psi K g, \quad (3)$$

Для стаціонарного процесу, коли $\frac{\partial g}{\partial \tau} = 0$, рівняння (3) набуває вигляду:

$$\varphi(D) = 2 \left[\Lambda \frac{\partial g}{\partial D} - \frac{3\Lambda g}{D} \right] + S\psi Kg \quad (4)$$

Проведені авторами дослідження показали, що дисперсний склад гуміново-мінеральних твердих композитів може бути промодельований за допомогою гамма-функції:

$$g = \frac{z^n}{(n-1)!} D^{*(n-1)} \cdot e^{-zD^*} \quad (5)$$

де n і z параметри γ – розподілення, а D^* – приведений діаметр.

Для визначення функції розподілення теоретично постає задача обрахунку параметрів n і z . Якщо прологарифмувати рівняння (5), отримаємо:

$$\ln g = \ln z - \ln(n-1)! + (n-1) \ln D^* - zD^* \quad (6)$$

З рівняння (6) за методом найменших квадратів можна визначити коефіцієнти n і z .

Розрахунок функції потужності зовнішнього джерела нових центрів грануляції проводився, як різниця розрахункової $\Phi_{\text{розрах}}$ та реальної $\Phi_{\text{реальне}}$ функцій, де розрахункове значення обчислено з рівняння (4) при коефіцієнті гранулоутворення $\psi = 1$ та функції сепарації $S = 1$. При цьому реальні значення $\Phi_{\text{реальне}}$ враховують зміну гранулометричного складу гранул та реальні коефіцієнт гранулоутворення, константу вивантаження та функцію сепарації S . Таким чином, функція потужності зовнішнього джерела нових центрів грануляції приймає вигляд:

$$\Delta \Phi = \Phi_{\text{розрах}} - \Phi_{\text{реальне}} \quad (7)$$

Проведений розрахунок дав можливість використати внутрішній рецикл – повернення кількості гранул, що не вистачає для стабілізації, у апарат з псевдозрідженим шаром.

Проведені теоретично-експериментальні дослідження для складу азотно-кальцієво-гумінових композитів $N:Ca:\Gamma = 18,5:7,5:2$ з реальних розчинів ВАР "Азот" із застосуванням зовнішнього рециклу, величина якого, виходячи з проведених досліджень, може бути розрахована з інтегрування значень різниці значень "реальної" та "ідеальної" функцій нових центрів грануляції, показують стабілізацію еквівалентного діаметра на заданому рівні, рис. 1.

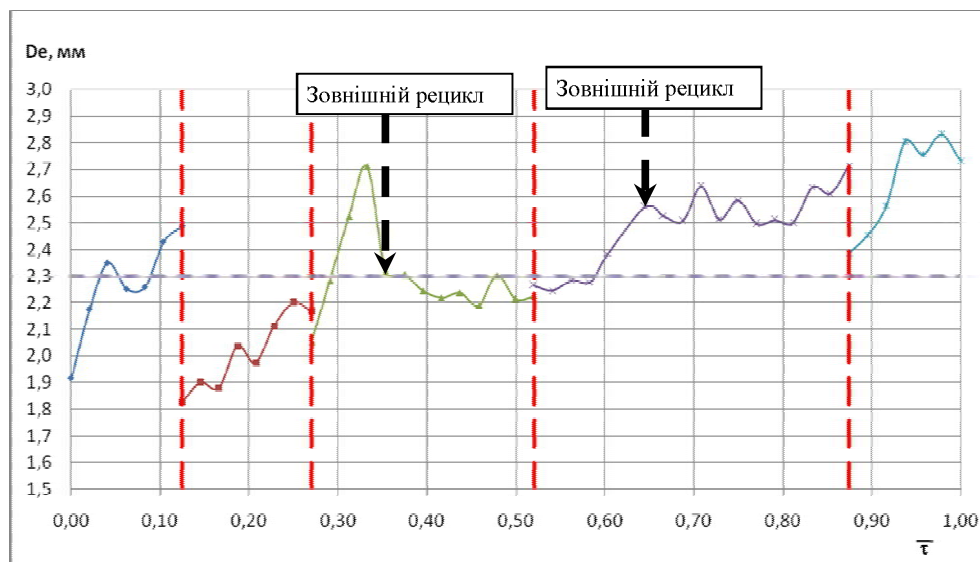
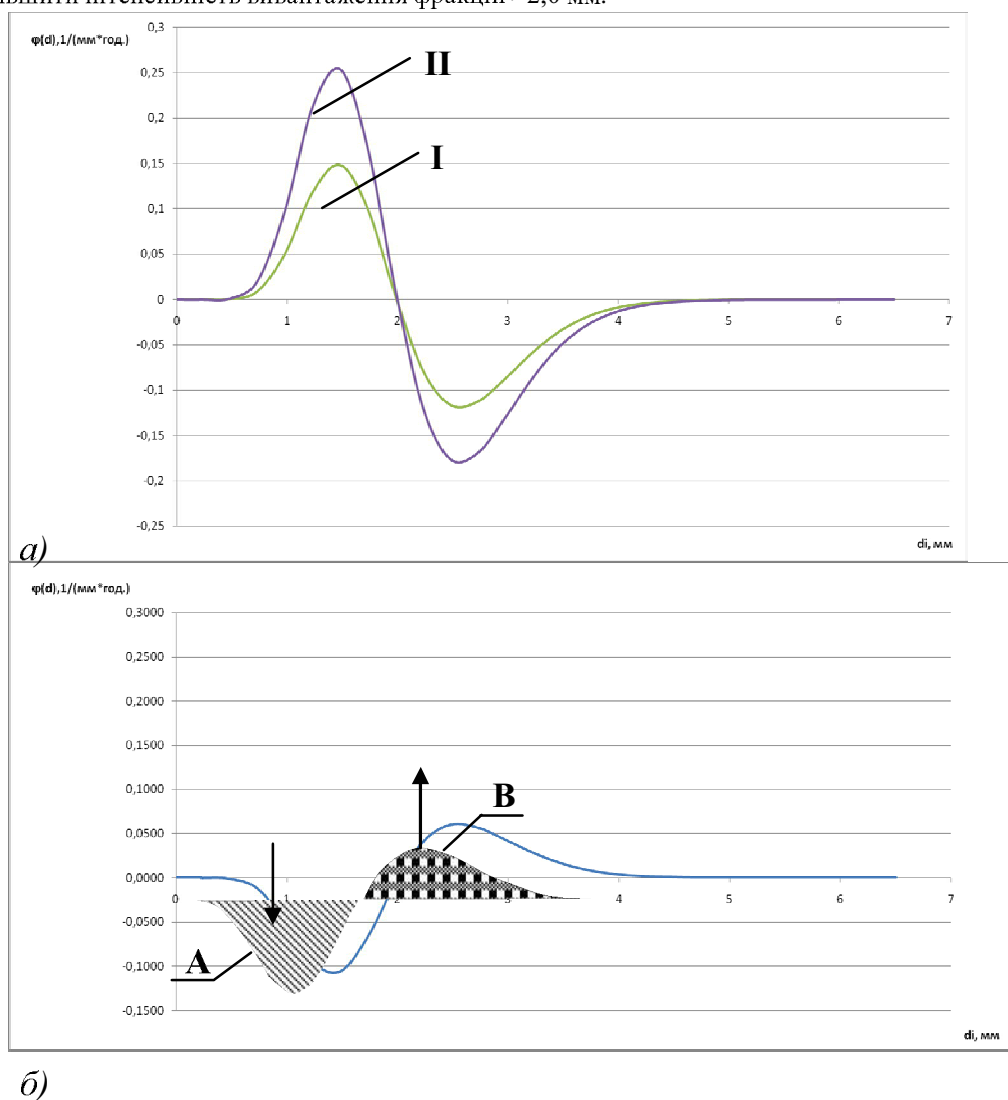


Рис. 1 Динаміка еквівалентного діаметра при одержанні азотно-кальцієво-гумінових композитів

Визначення величини функції потужності нових центрів грануляції для розрахунку кількості та гранулометричного складу зовнішнього рециклу показано на рис. 2. Виходячи з проведених теоретично-експериментальних досліджень, для стабілізації процесу гранулоутворення і отримання гранульованого продукту з заданими властивостями необхідно застосування зовнішнього рециклу, тобто в інтервалі зна-

чень поточного діаметра частинок d_i 0,7 – 2,0 необхідно збільшити подачу нових центрів із зовні, і відповідно, збільшити інтенсивність вивантаження фракцій $>2,0$ мм.



- а) I – потужність внутрішнього джерела центрів грануляції реального процесу; II – потужність джерела центрів грануляції, необхідна для стабілізації дисперсного складу;
 б) А – потужність зовнішнього джерела нових центрів грануляції Б – інтенсивність вивантаження фракцій

Рис. 2 – Визначення потужності зовнішнього джерела центрів грануляції

Узагальнену оцінку якості процесу запропоновано проводити через порівняння дисперсного складу продукту із заданими властивостями за допомогою функції втрат Тагучі вигляду:

$$L(y) = k (y - T)^2$$

де $L(y)$ – функція втрат; y – фактичне значення розподілення; T – задане значення розподілення; k – коефіцієнт пропорційності.

Дослідним шляхом встановлено, що функція заданого розподілення гранульованого продукту та масового розподілення в шарі описується γ - розподіленням з вірогідністю 0,95.

Тому модифікована функція втрат якості набуває вигляду:

$$L(y) = k_1 (z y - z T)^2 + k_2 (n y - n T)^2,$$

де $z y$, $n y$, $z T$, $n T$ – відповідно фактичні і задані значення масового розподілення (γ - розподілення), k_1 , k_2 – коефіцієнти впливу.

Порівняння проводиться із заданим розподіленням, що має еквівалентний діаметр 2,3 мм. Динаміка функції втрат якості від приведенного часу наведена на рис. 3. В ідеальному випадку функція втрат якості $L \rightarrow 0$.

На початковому етапі $\bar{\tau} < 0,05$ при значеннях $d_e \ll 2,3$ мм L досягає значення 14, тобто існує суттєве відхилення дисперсного складу проміжного продукту від заданого.

В подальшому $L < 2$ спостерігається в інтервалі $\bar{\tau} < 0,08$.

Експериментально встановлено, що при $\bar{\tau} > 0,65$ за допомогою зовнішнього рециклу вдалося зменшити функцію якості до значень $L < 2$, що відображається стабілізацією еквівалентного діаметра у відповідних інтервалах, ($D_e=2,5$), рис. 1.

В інтервалі $0,3 \leq \bar{\tau} \leq 0,5$ при застосуванні зовнішнього рециклу, потужність якого розраховано за виразом (7), вдалося зменшити значення функції L до 0,6-1, при цьому значення еквівалентного діаметра $D_e=2,3$ мм, що підтверджує адекватність запропонованої математичної моделі.

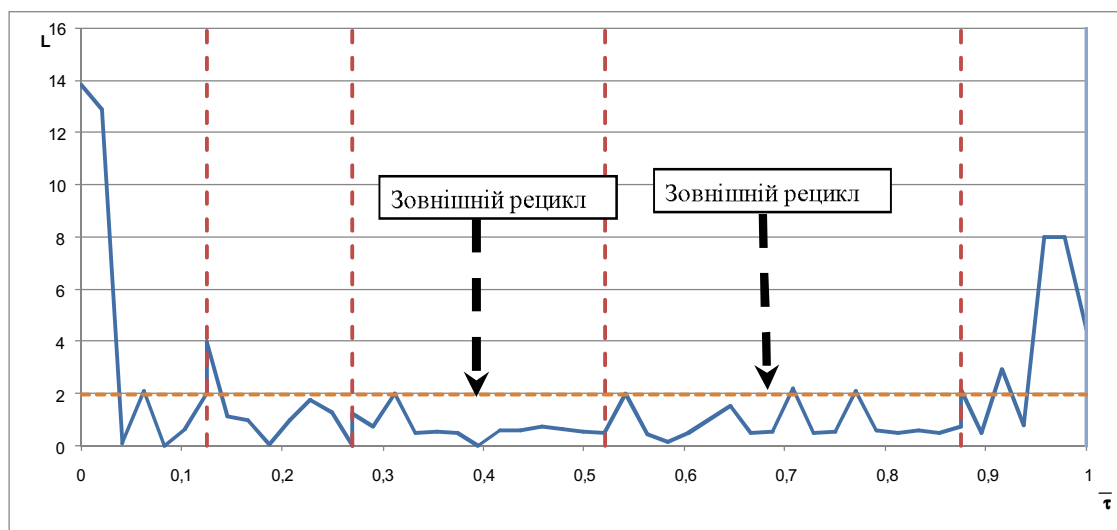


Рис. 3 – Динаміка функції втрат якості процесу гранулоутворення азотно-кальцієво-гумінових композитів

Висновки

Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність математичної моделі щодо визначення умов стабілізації дисперсного складу в заданому діапазоні значень.

Запропонована функція втрат якості дозволяє безперервно визначати відхилення дисперсного складу продукту від заданого і своєчасно вживати заходів запобігання цьому.

Одержані функціональні залежності будуть входити до узагальненої математичної моделі, створеної на основі теорії нечітких множин.

Література

1. Тодес О.М., Каганович Ю.Я., Себалло В.А. и др. Обезвоживание растворов в кипящем слое. – М.: Металлургия, 1973. – 287с
2. Корнієнко Я.М. Математичне моделювання безрециклового процесу грануляції у псевдозрідженому шарі. // Наукові вісті НТУУ “КПІ” – 2000. - № 2. - С. 38 – 41.