

УДК 66.011 (045)

КОРНІЄНКО Б. Я., к.т.н., доц.
Національний авіаційний університет

ДВОФАЗНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Розглядається математична модель динаміки зміни температурних полів при проведенні тепломасообмінних процесів у псевдозрідженому шарі. Одержані результати розподілу температури емульсії та теплоносія по висоті шару можуть бути використані для створення ефективної системи керування.

Ключові слова: моделювання, псевдозріджений шар, зневоднення, гранулювання.

Постановка проблеми. Створення багатошарових твердих композитів з рівномірним розподілом мікро- та макродомішок органічних та мінеральних речовин на рівні 100...1000 нм є актуальним для хімічної, фармацевтичної та харчової промисловості. Зокрема, при одержанні нового покоління комплексних гранульованих органо-мінеральних добрив, у яких вміст гумінових речовин становить менше 1 % (маси) відносно сухих речовин.

Для досягнення поставленої мети доцільніше проводити масову кристалізацію рідкої фази на поверхні твердих частинок з одночасним осадженням на поверхні мікрочастин колоїдних частинок гумінових речовин. Умови тепломасообміну дозволяють регулювати розмір кристалів у межах 100-900 нм.

Дослідним шляхом встановлено, що застосування техніки псевдозрідження для зневоднення гомо- і гетерогенних рідких систем є найбільш ефективним для досягнення такого механізму гранулоутворення.

Складний характер руху частинок у потоці газового теплоносія в грануляторі у псевдозрідженому шарі можна представити у вигляді двофазного потоку [1].

Метою досліджень є удосконалення математичної моделі для визначення температурних полів при проведенні інтенсивних тепломасообмінних процесів у псевдозрідженому шарі.

Виклад основного матеріалу. Для моделювання багатофакторних процесів зневоднення і гранулювання у псевдозрідженому шарі використовують двофазну модель Ейлера-Ейлера [1]. Для кожної фази враховували масообмін між фазами, наявність підйомної сили і сили, що діють на частинку – сили тертя, тиску, тяжіння, сили Архімеда, зчеплення частинок на межі фаз.

Транспортне рівняння температури гранул врахувало конвективний теплообмін, напругу твердої фази, потік коливання енергії, розсіяння енергії зіткнень, обмін енергії між фазами. Це дозволило визначити інтенсивність взаємодії газового (суцільного) середовища та твердих частинок (дисперсної фази) при різних гідродинамічних режимах та відповідну зміну температури гранул у процесі зневоднення та грануляції [2].

Математична модель [2] максимально враховує особливості процесу, але великий обсяг часу розрахунку ускладнює її використання при керуванні процесом зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі в реальних умовах.

Тому запропоновано дещо спрощену математичну модель, яка за своєю структурою відповідає описаній моделі, але значно поліпшує її адаптацію при керуванні процесом зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі.

Запропонована математична модель враховує багатофакторність процесу, що супроводжується фазовим переходом, який ускладнений формуванням рідкої фази на поверхні гранул з наступним виділенням рідкої фази і утворенням за рахунок масової кристалізації шару мікрочастин із розчинної фази.

У цьому наближенні дві фази – суцільна та дисперсна – моделюються як дві взаємопроникаючі суцільні. Фази взаємодіють безперервно в часі і просторі. Цей принцип застосований в усередненні до локальних неперервних миттєвого імпульсу і рівнянь енергії. Отримана система складається з рівнянь нерозривності

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\alpha_k \rho_k U_{ki}) = 0 \quad (1)$$

та імпульсу

$$\alpha_k \rho_k \frac{DU_{kj}}{D_i} = -\alpha_k \frac{\partial P_1}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\Theta_{kij} + \alpha_k \rho_k M_{kij}) + I_{kj} + \alpha_k \rho_k g_i, \quad (2)$$

де k – індекс фази (1 – для неперервної фази газу і 2 – для дискретної фази гранул).

Рівняння нерозривності подібне рівнянню для однофазного потоку з середнім складом фази k α_k . Рівняння імпульсів складає: тензор напруги – сума тензорів в'язкості ($k = 1$) і зіткнення ($k = 1$) Θ_{kij} і тензора напруги Рейнольдса $M_{kij} = (U_{ki}U_{kj})^k$. Складову додано, щоб врахувати з'єднуючу взаємодію між фазами (сила притягання). Складова I_{ki} є імпульсом, переданий між фазами, що визначається через середню відносну швидкість U_{ri} і середній час релаксації τ_{12} , тобто $I_{1i} = -I_{2i} = \alpha_2 \rho_2 U_{ri} / \tau_{12}$.

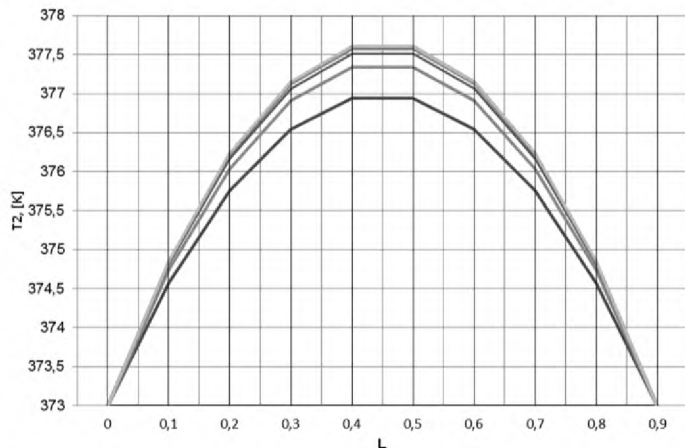


Рис. 1 – Розподіл температури емульсії за шириною апарата на різних висотах

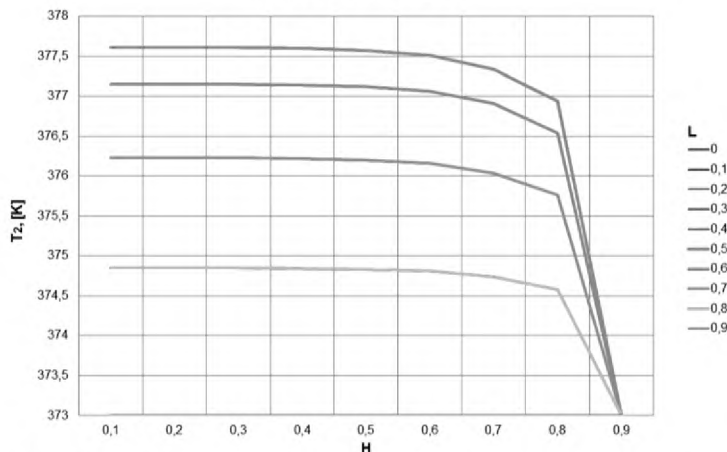


Рис. 2 – Розподіл температури емульсії за висотою шару на різних широтах

рівнянь руху визначали $\partial P / \partial x_i$. Далі розв'язували рівняння енергії для температури газових бульбашок T_1 та емульсії T_2 :

$$B \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} - v \frac{\partial T_1}{\partial x_i} \right) = \alpha (T_2 - T_1) + G_p (1 - x_p) (r + C_n T_2); \quad (4)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} (A + \alpha \tau^*) + Au \frac{\partial T_2}{\partial x_1} - \alpha \tau^* \frac{\partial T_1}{\partial t} + A \tau^* \frac{\partial^2 T_2}{\partial t^2} = A a_{22} \frac{\partial^2 T_2}{\partial x_2^2} + \alpha (T_1 - T_2) - G_p (1 - x_p) (r + C_n T_2) + G_p x_p q. \quad (5)$$

За допомогою рівнянь (4) і (5) розраховано основні характеристики температури емульсії в апараті зневоднення та гранулювання із псевдозрідженим шаром. Висота $H(x_1)$ і ширина $L(x_2)$ апарата є безрозмірними величинами.

Рівняння (1) і (2) доповнено рівняннями енергії

$$\alpha_k \frac{DT_{kj}}{Dt} + \alpha_k \tau_{12} \frac{\partial^2 T_{kj}}{\partial t^2} = \alpha_k \alpha_{ij} \frac{\partial^2 T_{kj}}{\partial x_i^2} + G_{ki} + B_{ki} + G_p x_p q_k, \quad (3)$$

де $\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x}$ – тензор темпе-

ратури, складова $\alpha_k \tau_{12} \frac{\partial^2 T_{kj}}{\partial t^2}$ ($k = 2$)

враховує хвильовий характер теплопереносу частинок у шарі, a_{ij} – коефіцієнт теплопровідності;

$$G_{1i} = -G_{2i} = -\alpha (T_{1j} - T_{2j}) \left(1 + \tau \frac{\partial}{\partial t} \right);$$

$$B_1 = -B_2 = G_p (1 - x_p) (r + C_n T_{ki}).$$

Фізичну картину процесу можна доповнити умовою, що теплоти, підведеної до плівки розчину та гранул достатньо для випаровування вологи. Тоді кристалізація відбувається на поверхні частинок, що зумовлює збільшення їх діаметра ($k = 2$).

Методика розв'язання системи рівнянь (1)-(3) базується на методі кінцевих об'ємів. Цикл виконують, поки не отримують збіжний числовий розв'язок.

Розв'язували рівняння руху і знаходили швидкості U_i . Розв'язували рівняння нерозривності і уточнювали ці швидкості. Потім з

Розподіл температур за шириною апарата свідчить про наявність різниці температур у 4,5 К між периферійними точками і центром (рис. 1). Це пояснюється зниженням інтенсивності перемішування в пристінних зонах зі змінням висоти шару H від 0 до 0,9. Із збільшенням висоти в центральній частині шару $0,4 \leq L \leq 0,5$ різниця температур, коли $H = 0,0$ і $H = 0,9$, досягає максимуму $\Delta T = 0,6$ К. Такий характер розподілу температур властивий для апарата ідеального перемішування.

На мінімальній висоті від газорозподільного пристрою $H = 0,1$ спостерігається відмінність температури 0,5...10 К (рис. 2). Ця залежність зберігається до значень $H \leq 0,6$. Після $H \geq 0,8$ температура підвищується до $T_2 = 373$ К, що характеризує передачу теплоти одним механізмом.

На рис. 3 наведено тривимірну функцію 0,5 за різної висоти наведено на рис. 4. Максимальна тривалість стабілізації температури від 373 до 377,5 К ($t = 78$ с) характерна для максимального значення висоти $H = 0,5$.

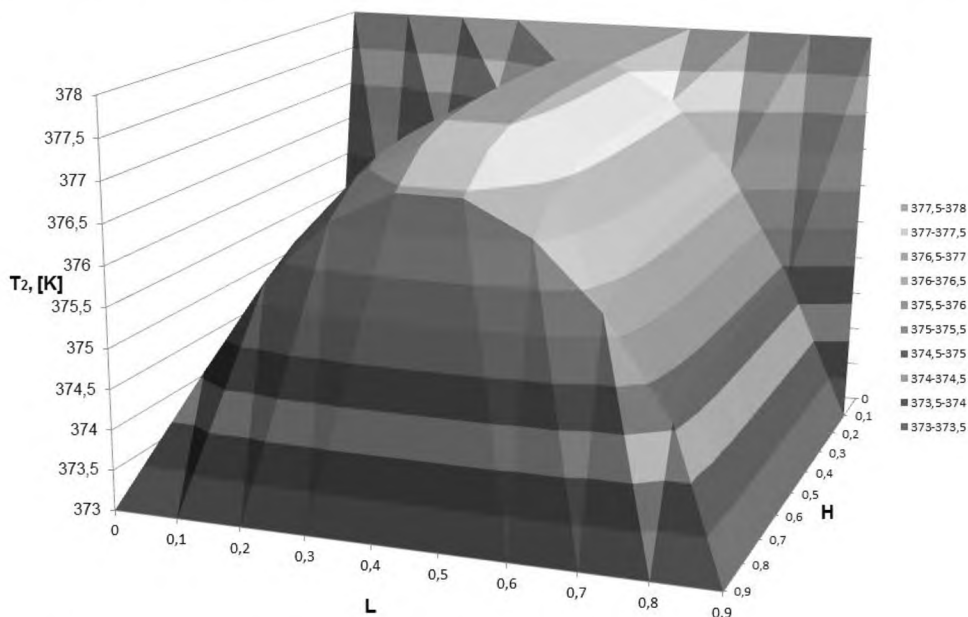


Рис. 3 – Розподіл температури емульсії по ширині L та висоті H в апараті з псевдозрідженим шаром

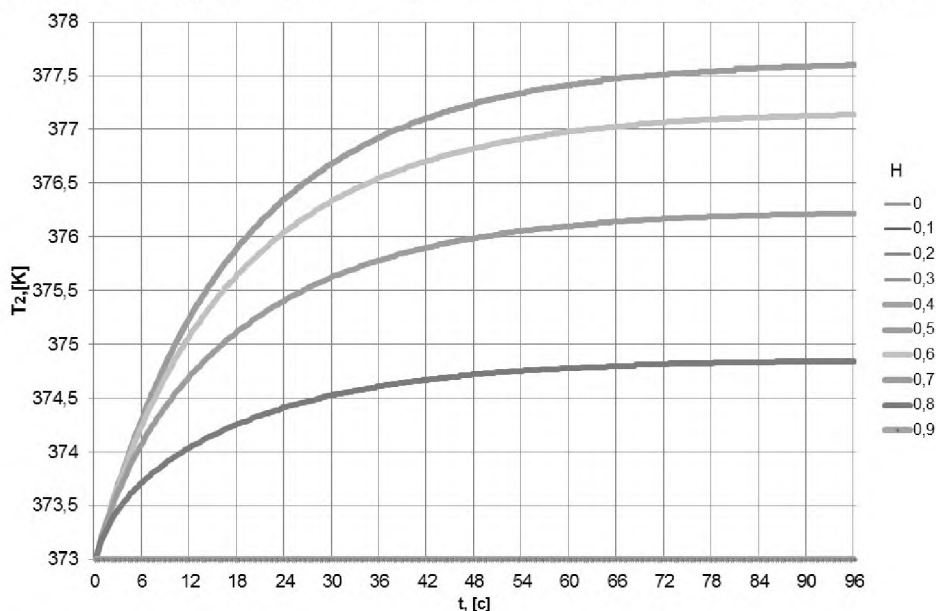


Рис. 4 – Перехідна характеристика температури емульсії на різній висоті апарата на ширині $L = 0,5$

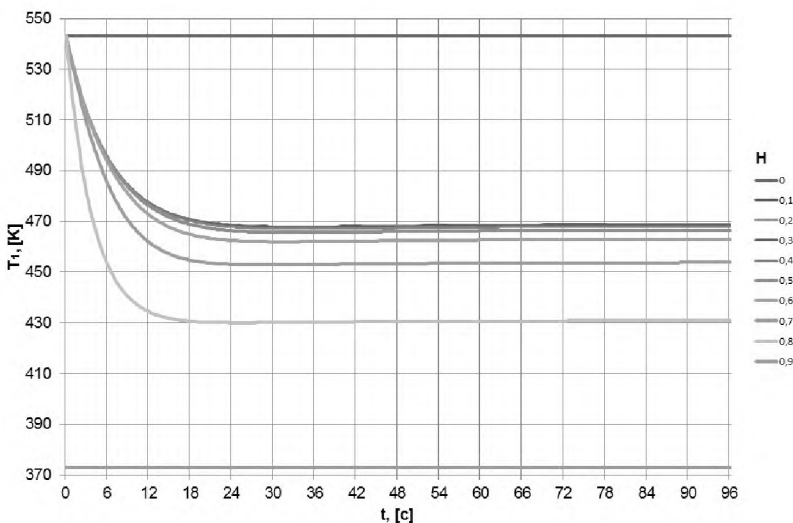


Рис. 5 – Перехідна характеристика температури теплоносія на різних висоті апарата

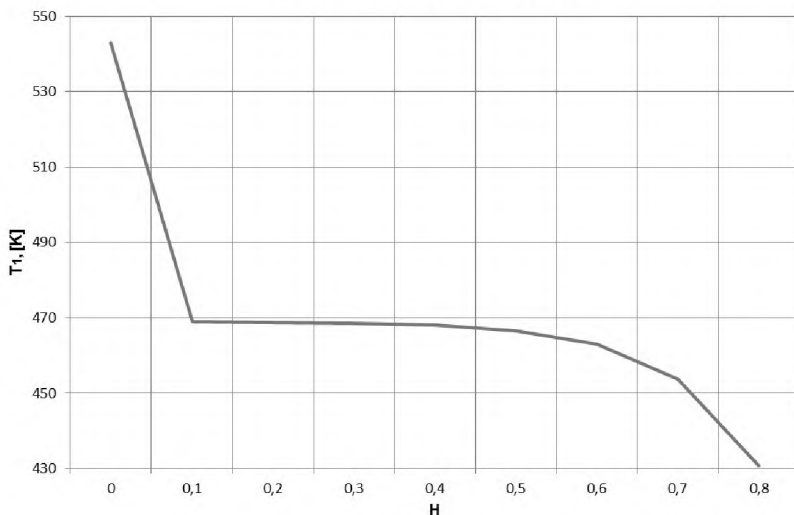


Рис. 6 – Залежність температури теплоносія від висоти апарата

Список використаної літератури

1. Корнієнко Б. Я. Особливості моделювання процесів переносу у дисперсних системах / Б. Я. Корнієнко // Вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т»; сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2011. – № 2 (8). – С. 5-9.
2. Корнієнко Б. Я. Динаміка процесів зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі / Б. Я. Корнієнко // Вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т»; сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2012. – № 1 (9). – С. 15-19.

Надійшла до редакції 15.01.2012

Kornijenko, B. Ja.

THE TWO-PHASE MODEL OF THE DEHYDRATION AND GRANULATION IN THE FLUIDIZED BED

We consider a mathematical model of the dynamics of change of temperature fields during the heat-mass transfer processes in a fluidized bed. The obtained results of the temperature distribution and heat transfer liquid emulsion bed height can be used to create an effective system of control.

Keywords: modeling, fluidized bed, dehydration, granulation.

References

1. Kornijenko, B. Ja. Osoblyvosti modeljuvannja procesiv perenosu u dyspersnykh systemakh [Features of design of processes of transfer in the dispersible systems] / B. Ja. Kornijenko // Visnyk Nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu Ukrainy «Kyjivskij politekhnichnyj instytut», serija «Khimichna inzhenerija, ekologhija ta resursozberezhennja». – 2011. – No 2(8). – P. 5-9.
2. Kornijenko, B. Ja. Dynamika procesiv znevodnennja ta ghranuljuvannja u psevozridzhenomu shari [A dynamics of processes of dehydration and granulation in the pseudofluidized layer] / B. Ja. Kornijenko. Visnyk Nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu Ukrainy «Kyjivskij politekhnichnyj instytut», serija «Khimichna inzhenerija, ekologhija ta resursozberezhennja». – 2012. – No 1(9). – P. 15-19.

УДК 519.216(045)

НЕЧИПОРУК В. В., к.т.н., доц.
Національний авіаційний університет

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СТОХАСТИЧНИХ ЛІНІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглядається порівняльний аналіз двох підходів для моделювання енергетичних процесів: аксіоматичний і конструктивний, та їх використання в електроенергетиці. Показано, що маючи нуассонівські спектри стрибків у формі Колмогорова для процесів з дискретним або неперервним часом, можна знаходити n -вимірні характеристичні функції моделюючого процесу, а значить, і відповідні їм функції розподілу.

Ключові слова: лінійний процес, аксіоматичні і конструктивні підходи, спектр стрибків, моделювання, просторово-часові сигнали.

Постановка проблеми. Значного поширення серед теоретичних та прикладних досліджень, зокрема у задачах моделювання радіотехнічних сигналів, у технічній діагностиці, гідроакустиці, геофізиці, медичній діагностиці знайшли застосування лінійні випадкові процеси. Основною перевагою лінійного випадкового процесу є його конструктивність, бо це дає змогу ефективно використовувати лінійний випадковий процес для проведення імітації сигналів на ЕОМ. Крім того, на базі лінійного випадкового процесу можливо проводити опис та аналіз сигналів у рамках багатовимірних функцій розподілу та характеристичних функцій.

Вивчення моделей випадкових процесів та їх комп'ютерне моделювання відіграють важливу роль при розв'язуванні широкого кола прикладних задач. Спосіб моделювання випадкового процесу визначається способом його завдання. У цій роботі під моделюванням будемо розуміти операції, спрямовані на одержання реалізацій того чи іншого процесу з певними стохастичними властивостями. Функції, які будуть одержані в результаті моделювання, називатимемо моделями та їх реалізаціями. Як відомо, повний опис ймовірнісного процесу $\{x(t), t \in T\}$, де T – деяка параметрична множина (найчастіше її фізичний зміст – це час або простір) дає послідовність скінченновимірних функцій розподілів, яка має вигляд

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n); \quad \forall t_1, t_2, \dots \in T; \quad n = 1, 2, \dots; \quad x_1, \dots, x_n \in R^n. \quad (1)$$

Відзначимо, що елементи послідовності (1) не можна вибирати довільним чином, вони повинні відповідати певним умовам (інваріантності та узгодженості) [1].

Такий опис процесу носить назву аксіоматичного, оскільки базується на системі аксіом, запропонованих А. Колмогоровим [2] і на яких базується сучасна теорія ймовірностей та теорія випадкових процесів. Але крім описаного вище аксіоматичного підходу для опису процесу, що моделюється, часто використовують так званий конструктивний підхід, який є більш наочним, близьким до практики, а параметри його конструкції є зручними для опису фізичних явищ. В якості таких конструктивних моделей сьогодні використовують конструктивну модель лінійного випадкового процесу, яка близька до згортки функцій або моделі фільтрації деякого породжуючого процесу фільтром із детермінованою імпульсною