

УДК 622.788.34:519.876.2

В.О. Рахуба, доцент, к.т.н.

М.Ю. Пазюк, зав. кафедрою, д.т.н., професор

О.В. Бакшеєв, магістр

## УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ ТАРИЛЧАСТОГО ГРАНУЛЯТОРА НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

*Запорізька державна інженерна академія*

Изложен принцип построения математической модели грануляции сыпучего материала в тарельчатом грануляторе. Приведены результаты математического моделирования процесса грануляции для условий Криворожского центрального горно-обогатительного комбината. Представлен алгоритм управления работой тарельчатого гранулятора.

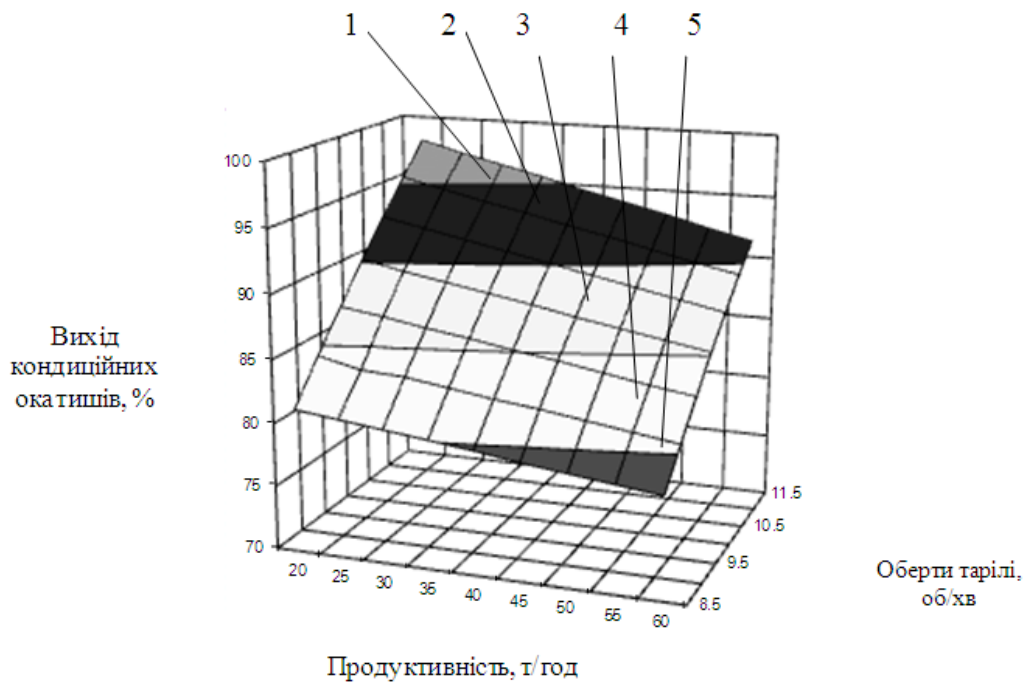
Викладено принцип побудови математичної моделі грануляції сипкого матеріалу у тарілчастому грануляторі. Наведені результати математичного моделювання процесу грануляції для умов Криворізького центрального гірничозбагачувального комбінату. Представлено алгоритм управління роботою тарілчастого гранулятора.

*Вступ.* Виробництво окатишів є одним із способів ефективного грудкування тонкоподрібнених концентратів і виробництва з бідних руд сировини, яка має цінні металургійні властивості. Під час розробки автоматичної системи управління процесом грудкування шихти, яка відповідає сучасному рівню автоматизації, велике значення має використання математичної моделі процесу.

*Аналіз досягнень у розв'язанні проблеми.* Переважна більшість досліджень з моделювання роботи тарілчастих та чашевих грануляторів заснована на апроксимації даних вихідного гранулометричного складу матеріалу одним з відомих законів розподілення, наприклад  $\gamma$ - або  $\beta$ -розподілення [1]. Проте такий підхід не дозволяє відобразити фізичну сутність процесу та одержати його аналітичну модель. У роботах [2,3] представлено балансовий метод моделювання процесу грудкування у барабанному грануляторі, який дозволяє з високою точністю одержати у чисельному вигляді функцію розподілу діаметрів часток багатofракційної суміші. Оскільки грудкування шихти у тарілчастих грануляторах має таку ж саму природу, доцільно використати зазначений метод для одержання моделі даного процесу.

*Постановка задачі.* Мета роботи полягає у розробці математичної моделі процесу грудкування сипкого матеріалу в тарілчастому грануляторі на основі балансового методу та у синтезі алгоритму управління, що використовує розроблену модель.

*Виклад матеріалів досліджень.* На основі експериментальних даних для умов Криворізького центрального гірничозбагачувального комбінату [4] було побудовано графік залежності якості грудкування (кондиційних окатишів) від продуктивності гранулятора й швидкості обертання таріли (рис. 1). Встановлено, що зазначені фактори доцільно розглядати як керуючі дії автоматичної системи регулювання процесу грануляції. Для ефективного дослідження впливу зазначених факторів на якість грануляції необхідно розробити математичну модель даного процесу.



1 - 95...100 %; 2 - 90...95 %; 3 - 85...90 %; 4 - 80...85 %; 5 - 75...80 %

**Рисунок 1** – Залежність виходу кондиційних окатишів від продуктивності гранулятора та швидкості обертання тарілі

Для сталого режиму роботи гранулятора загальна кількість шихти у ньому залишається постійною:

$$\Phi_{\Sigma}^{\tau_1} = \Phi_{\Sigma}^{\tau_2} = \Phi_{\Sigma}^{\tau_3} ; \quad (1)$$

$$\Phi_{\Sigma}^{\tau_n} = \Phi_{1зав}^{\tau_n} + \Phi_{2зав}^{\tau_n} + \Phi_{1зал}^{\tau_{n-1}} , \quad (2)$$

де  $\Phi_{1зав}^{\tau_n}$ ,  $\Phi_{2зав}^{\tau_n}$  – завантажена кількість дрібної та кондиційної фракції, %, відповідно;  $\Phi_{1зал}^{\tau_{n-1}}$  – кількість дрібної фракції, що залишилася в грануляторі після грудкування попередньої порції шихти, %;  $\tau_n$  – розподіл процесу на  $n$ -ні дискретні моменти часу.

Із системи рівнянь (1)-(2) можна записати

$$\Phi_{1зав}^{\tau_2} + \Phi_{2зав}^{\tau_2} + \Phi_{1зал}^{\tau_1} = \Phi_{1зав}^{\tau_3} + \Phi_{2зав}^{\tau_3} + \Phi_{1зал}^{\tau_3} ; \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Phi_{1зал} = \Phi_{1зав} - (\Delta_{12сер} - \Delta_{21сер}) \cdot \tau_{гр} ; \\ \Phi_{2вив} = \Phi_{2зав} - (\Delta_{21сер} - \Delta_{12сер}) \cdot \tau_{гр} \end{cases} ; \quad (4)$$

$$\begin{cases} \Delta_{12сер} = 0,5K_{12} \cdot (\Phi_{1зав} + \Phi_{1зал}) \\ \Delta_{21сер} = 0,5K_{21} \cdot (\Phi_{2зав} + \Phi_{2вив}) \end{cases} , \quad (5)$$

де  $\Delta_{12сер}$ ,  $\Delta_{21сер}$  – середні швидкості перенесення маси між фракціями 1 та 2 за час  $\Delta\tau$ ,  $\Delta\tau = \tau_n - \tau_{n-1}$ ;  $\tau_{гр}$  – час грануляції;  $\Phi_{2вив}$  – кількість шихти, яку вивантажено з тарілі за час  $\Delta\tau$ ;  $K_{12}$ ,  $K_{21}$  – коефіцієнти перенесення маси між фракціями 1 та 2 і навпаки (миттєві швидкості),  $c^{-1}$ .

У сталому режимі кількість шихти, що завантажують до гранулятора, дорівнює кількості шихти, що вивантажують з нього (кількості кондиційної фракції).

$$\Phi_{2\text{вив}}^{\tau_{n-1}} = \Phi_{1\text{зав}}^{\tau_n} + \Phi_{2\text{зав}}^{\tau_n} \quad (6)$$

Розв'язуючи сумісно рівняння (4)-(6) у припущенні сталості вхідного гранулометричного складу  $\Phi_{1\text{загр}} = \text{const}$  і  $\Phi_{2\text{загр}} = \text{const}$ , а також постійної продуктивності гранулятора, тобто  $\Phi_{2\text{вив}} = \text{const} \Rightarrow \Phi_{1\text{зал}} = \text{const}$ , одержують (коли  $\tau_{\text{гр}} = 1$ ) два рівнозначні рівняння:

$$\begin{aligned} 2\Phi_{1\text{зав}} + \Phi_{2\text{зав}} - \kappa_{12} \frac{\Phi_{1\text{зав}} + \Phi_{1\text{зал}}}{2} + \kappa_{21} \frac{\Phi_{2\text{зав}} + \Phi_{2\text{вив}}}{2} &= 100 \\ \Phi_{1\text{зав}} + \kappa_{21} \frac{\Phi_{2\text{зав}} + \Phi_{2\text{вив}}}{2} - \kappa_{12} \frac{\Phi_{1\text{зав}} + \Phi_{1\text{зал}}}{2} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

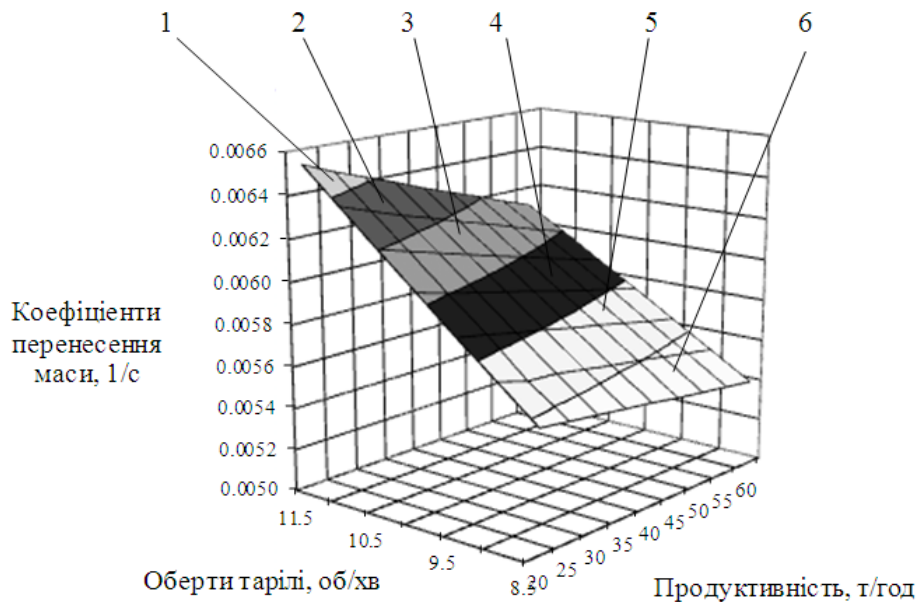
Тому доцільно спростити систему, виключивши з моделі  $\kappa_{21}$ : оскільки  $\Phi_{2\text{зав}}$  менше ніж 5 %, то перенесенням шихти з великої фракції до дрібної фракції можна зневажити.

Після нескладних перетворень одержують модель процесу, що має вигляд:

$$2\Phi_{1\text{зав}} + \Phi_{2\text{зав}} - 0,5\kappa_{12} \cdot (\Phi_{1\text{зав}} + \Phi_{1\text{зал}}) = 100 \% \quad (8)$$

Шляхом використання рівняння (8) можна для різних комбінацій факторів, що впливають, знаходити коефіцієнт перенесення маси  $\kappa_{12}$ , від значення якого залежить ефективність роботи гранулятора.

Так, для умов Криворізького центрального гірничозбагачувального комбінату, одержали залежності для  $\kappa_{12}$  від факторів, що подано на рис. 2, а також залежність ви-ходу кондиційних окатишів від коефіцієнту перенесення маси (табл. 1). Похибка моделювання складає менше 0,1 %, тому можна вважати, що вона визначається похибкою засобів вимірювання.



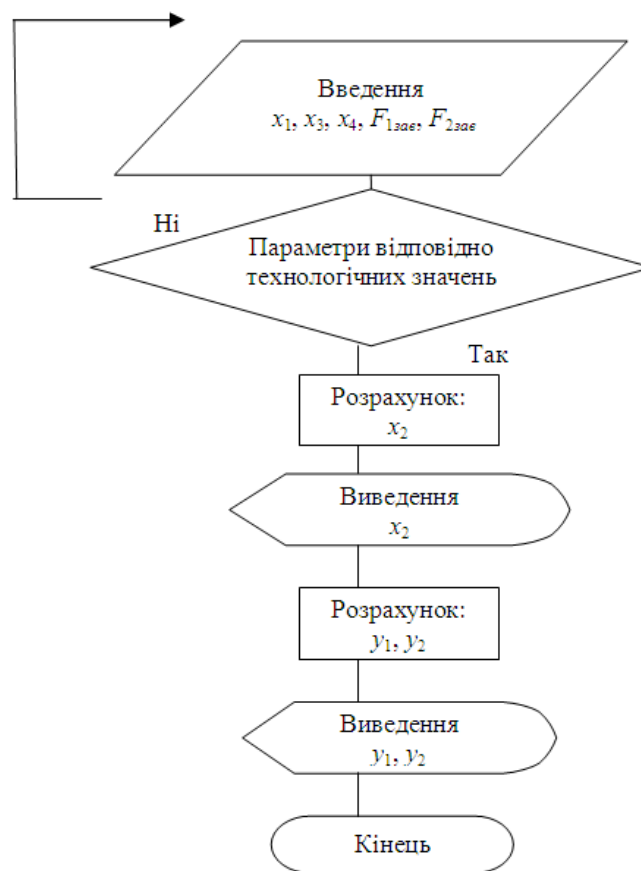
1 - 0,0066...0,0064 1/с; 2 - 0,0064...0,0062 1/с; 3 - 0,0062...0,0060 1/с;  
4 - 0,0060...0,0058 1/с; 5 - 0,0058...0,0056 1/с; 6 - 0,0056...0,0054 1/с

**Рисунок 2** – Залежність коефіцієнту перенесення маси від продуктивності гранулятора та швидкості обертання тарілі

**Таблиця 1** – Ступінь виходу  $\theta$  кондиційних окатишів при змінюванні коефіцієнту перенесення маси  $K$

$\theta$	63,2	72,9	76,8	80,8	84,7	88,9	92,1	95,9	98,9
$K$	0,0050	0,0052	0,0054	0,0056	0,0058	0,0060	0,0062	0,0064	0,0066

Одержані залежності можуть бути покладені в основу алгоритму управління, що використовуватиметься в автоматизованій системі управління процесом грудкування для тарілчастих грануляторів. Для досягнення певного показника якості за різних значень збурюючих дій вологості та вмісту заліза у шихті процес управління тарілчастим гранулятором полягає в стабілізації деякої певної швидкості обертання тарілі (рис. 3).



**Рисунок 3** – Блок-схема алгоритму управління тарілчастим гранулятором

На рис. 3:  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – витрата шихти, швидкість обертання тарілі гранулятора, витрата води, вміст заліза у шихті, відповідно;  $F_{1зав}, F_{2зав}$  – кількість дрібної та конденційної фракції у завантаженій шихті, відповідно;  $y_1, y_2$  – міцність окатишів при скиданні та вихід кондиційних окатишів, відповідно.

В наведеному алгоритмі цільовою функцією є міцність окатишів при скиданні. Для знайденого оптимуму стабілізують вихід кондиційної фракції. Розрахунки здійснюють за формулами (1)-(7), тобто для заданих вхідних параметрів обчислюють коефіцієнт перенесення маси. Далі на основі його значення за регресійними залежностями визначають відповідну швидкість обертання тарелі. Також прогнозують вихід кондиційної фракції та міцність окатишів при скиданні.

На підставі вищенаведеного з використанням пакету прикладних програм «*MatLab*» розроблено програмний код алгоритму управління роботою тарілчастого гранулятора, доступ до якого може здійснюватися із будь-якої сучасної SCADA-системи. Запропонований алгоритм може бути використаний у системах управління роботою тарілчастих грануляторів.

#### *Висновки*

Розроблено модель процесу формування сирих окатишів у тарілчастому грануляторі, використання якої дозволить забезпечити стабілізацію гранулометричного складу матеріалу, що, в свою чергу, буде сприяти як стабілізації процесу випалювання, так і властивостей готових окатишів. Аналіз результатів моделювання показує, що підвищення коефіцієнту перенесення маси сприятливо позначається на якості одержаних окатишів. Максимальний коефіцієнт перенесення маси сягають під час збільшення швидкості обертів тарілі до 11,5 об/хв. та зменшення продуктивності гранулятора до 20 т/год. Проте при цьому зменшується міцність окатишів при скиданні, тому для формалізації пошуку оптимуму розроблено алгоритм управління роботою гранулятора. Також створено програмний код даного алгоритму, що може бути використано у системах управління роботою тарілчастих грануляторів.

#### **ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Стародумов, А. В.* Моделирование гранулометрического состава окатышей, формируемых чашевым окомкователем [Текст] / А. В. Стародумов, И. Д. Степанов // *Сталь*. – 2003. – № 1. – С. 6-8.
2. *Рахуба, В. О.* Оптимізація управління формування гранулометричних характеристик агломераційної шихти при підготовці до спікання: автореф. дис. канд. тех. наук : 05.13.07 / В. О. Рахуба [Київський ін-т автоматики]. – Київ, 2010. – 21 с.
3. *Пазюк, М. Ю.* Массоперенос при грануляции железорунных материалов / М. Ю. Пазюк // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1990. – № 4. – С. 8-9.
4. Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов / *И. Н. Богаенко, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмшин* и др. – Киев. : Техника, 2001. – 290 с. – Библиогр. : с. 287-288. – ISBN 5-337-00631-2.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2012 р.  
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко