

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОСТАДІЙНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЦЕМЕНТНИХ ШИХТ У ТРУБНИХ МЛИНАХ З АКТИВОВАНИМИ БРОНЕФУТЕРАЦІЯМИ

Подано результат математичного моделювання та експериментальних досліджень технологічних процесів подрібнення цементних шихт.

Пульсаційний режим роботи мелючого завантаження для трубних млинів є суттєвим засобом підвищення ефективності процесу подрібнення [1,2,5]. Детальний опис такого технологічного режиму та схеми і плану проведення експериментальних досліджень подані автором в роботі [5].

Технологічні процеси подрібнення цементних шихт у модельних млинах, обладнаних броньфутераціями БАТ-1 і БАТ-2, моделювались і досліджувались з використанням дробових факторних планів у вигляді чверть-реплік від повного факторного експерименту за п'ятьма параметрами (ДФЭ2⁵⁻²). В якості варійованих змінних були використані: n – кількість функціональних ділянок на колі; A - амплітуда коливань кута відриву, град; ψ - відносна частота обертання барабана у частках від критичної з нульовим рівнем 0,75 (середнім для оптимальних значень по БАТ-1 і БАТ-2); ϕ - коефіцієнт заповнення мелючими тілами; q – коефіцієнт заповнення подрібнюючим матеріалом з нульовим рівнем $q=0,12$ (також середнім),:

Спочатку була проведена серія експериментів за планами ДФЭ 2⁵⁻² за погодженням роботи БАТ-1 і БАТ-2, яка полягала в досягненні прийнятних по тривалості і рівних між собою відрізків часу роботи на кожній із стадій з отриманням матеріалу високої дисперсності (5 мм частинок). В якості цільвих функцій використовувались: $R_{0,008}$, %,- залишок на ситі 80 мкм; S , м² – повна поверхня продукту; A/S , кДж/м² - питома витрата енергії.

Реалізація вказаних планів і статистична обробка дозволили отримати адекватні рівняння регресії, коефіцієнти яких подані у табл.1.

Таблиця 1.

Коефіцієнти рівнянь регресії за планом ДФЭ 2⁵⁻² для БАТ-1 і БАТ-2

Коефіцієнти рівнянь регресії							
Бронь-футерації	Цільова функція	B_0	$B_1(n)$	$B_2(A)$	$B_3\psi$	$B_4\phi$	$B_5(q)$
БАТ-1	$R_{0,008}$, %	33,76	-5,76	-1,64	-3,89	-1,61	3,61
	S , м ²	108,40	9,02	20,71	16,11	13,74	15,22
	A/S , кДж/м ²	1,97	-0,21	-0,29	-0,14	-0,12	0,08
БАТ-2	$R_{0,008}$, %	12,29	-1,22	-2,01	-1,89	-1,06	1,27
	S , м ²	369,41	29,31	47,79	33,43	48,05	34,54
	A/S , кДж/м ²	2,31	-0,26	-0,48	-0,12	-0,23	0,18

Рандомізована серія експериментів ставилася згідно плану , що містить 20 дослідів, із зірковим плечем 1,682 і шістьма дослідями в центрі плану[5]. Коефіцієнти моделі згідно даних плану експерименту мають вигляд:

$$b_0 = 2.385, b_1 = -0.145, b_2 = -0.210, b_3 = 0.210, b_{11} = -0.024, \\ b_{22} = -0.122, b_{33} = -0.191, b_{12} = -0.122, b_{13} = 0.112, b_{23} = -0.092.$$

Відповідно дисперсія дослідів визначиться: $S_0 = \sum_{k=1}^{N_0} 0^2 = 0,332; f_0 = N_0 - 1 = 5,$

$S_0^2 = \frac{S_0^2}{f_0} = 0.0664.$ Остаточна сума квадратів відхилень обчислиться:

$$S_{od} = S_{ocm} = S_0 = 0.03703; \quad f_{od} = f_{ocm} - f_0 = 5; \quad S_{od}^2 = \frac{S_{od}}{f_{od}} = 0.07406.$$

Розрахункове значення критерію Фішера: $F_p = \frac{S_{od}^2}{S_0^2} = 1.115.$ Табличне значення критерію Фішера F_m для ступеню вільності $f_{od} = 5$ і $f_0 = 5$ $F_m = 5.05.$ Отже, умова адекватності математичної моделі експериментальним даним $F_p < F_m$ виконується.

Вихідне рівняння математичної моделі має вигляд:

$$\tilde{y} = 2,385 - 0,145x_1 - 0,210x_2 + 0,210x_3 - 0,24x_1^2 + 0,122x_2^2 - \\ - 0,191x_3^2 - 0,122x_1x_2 + 0,112x_1x_3 - 0,092x_2x_3. \quad (1)$$

Перенос початку координат в нову точку факторного простору здійснюємо з урахуванням мінімуму функції \tilde{y}

$$\frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_1} \equiv -0.145 - 2 \cdot 0.24x_1 - 0.122x_2 + 0.112x_3 = 0; \\ \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_2} \equiv -0.21 - 2 \cdot 0.122x_2 - 0.122x_1 - 0.092x_3 = 0; \\ \frac{\partial \tilde{y}}{\partial x_3} \equiv 0.21 - 2 \cdot 0.191x_3 + 0.112x_1 - 0.092x_2 = 0.$$

Розв'язком цієї системи рівнянь є: $x_{1s} = -1.0787; x_{2s} = -0.4502; x_{3s} = 0.3419.$

Вихідна змінна в новому центрі S набуває вигляду $\hat{y}_s = 2.5463.$ Поворот осей в новому центрі S здійснюється при допомозі ортогонального перетворення, визначеного характеристичним рівнянням:

$$f(B) \equiv \begin{vmatrix} (b_{11} - B) & 0.5b_{12} & 0.5b_{13} \\ 0.5b_{21} & (b_{22} - B) & 0.5b_{23} \\ 0.5b_{31} & 0.5b_{32} & (b_{33} - B) \end{vmatrix} = 0.$$

Елементарними перетвореннями це характеристичне рівняння зводимо до вигляду:.

$$B^3 - a_1B^2 + a_2B - a_3 = 0, ,$$

$$\text{де } a_1 = \sum_{i=1}^n b_{ii} = -0.3370; \quad a_2 = \sum_{j,i=1}^n b_{ii}b_{jj} - 0.25 \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij}^2 = 0.0101 ;$$

$$a_3 = \sum_{i=1}^n b_{ii} + 0.25 \prod_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} - 0.25 \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j=q}}^n b_{ii}b_{jq} = 0.027.$$

Розв'язком рівняння є: $B_1 = -0.0699; B_2 = 0.1499; B_3 = 0.2569.$

Остаточно, регресійним рівнянням моделі в канонічній формі є:

$$y - 2.55 = -0.07x_1^2 + 0.15x_2^2 + 0.26x_3^2. \quad (2)$$

Найбільший вплив на питому витрату енергії має співвідношення часу подрібнення на першій і другій стадіях t_1/t_2 (x_3). Двовимірні перерізи поверхні відклику наведені на рис. 1-3. Технологічно обґрунтований вибір фіксованого параметру (наприклад, Ψ , у діючого промислового млину) дозволяє оцінити вплив різних співвідношень інших варійованих параметрів на питому витрату енергії.

Хід процесу подрібнення при послідовному використанні бронефутерацій БАТ-1 і БАТ-2 поданий на рис. 4. Параметр m на бронефутерації БАТ-1 залишився практично колишнім, характерним для першої стадії, що реалізується окремо - 0.712, а на другий стадії (БАТ-2) він зріс з 1.064 до 1.15. Цьому сприяв гранулометричний склад матеріалу, отриманого на першій стадії процесу.

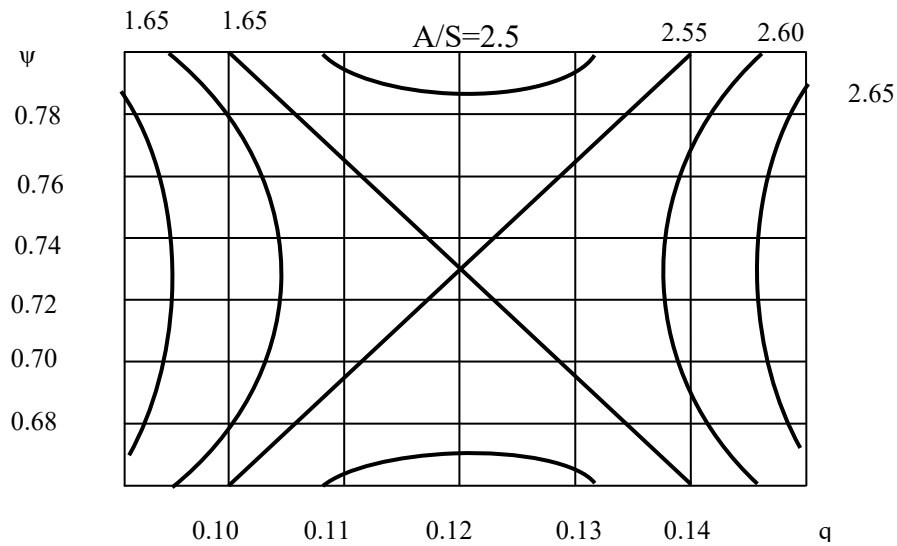


Рис. 1. Двовимірний переріз поверхні відклику по рівнянню (2) при $\phi=0,12$.

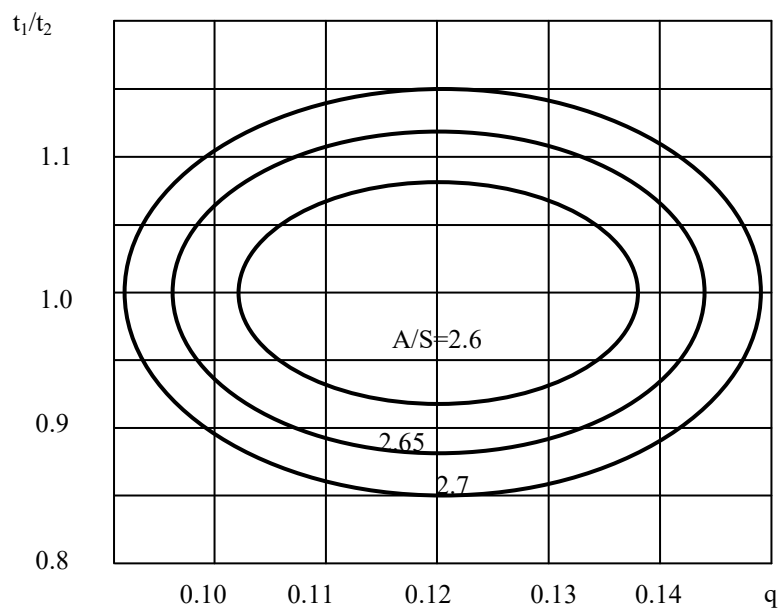


Рис.2. Двовимірний переріз поверхні відкликання згідно (2) при $\psi = 0.73$

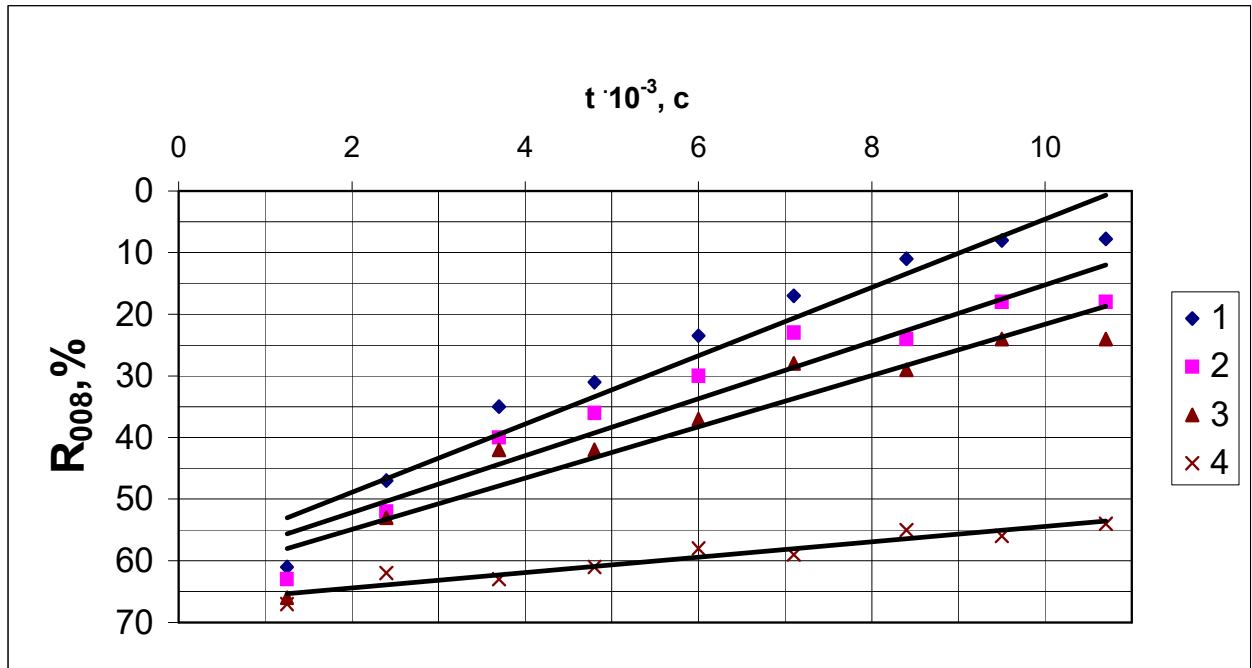


Рис. 3. Двовимірний переріз поверхні відклику за рівнянням (2) при $\psi = 0.73$

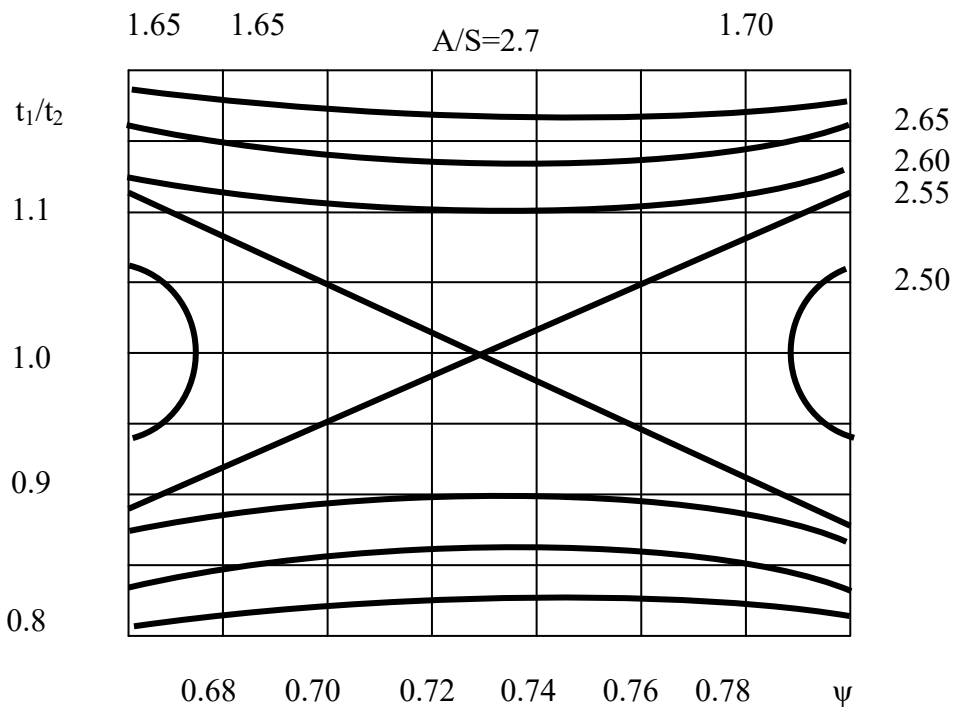


Рис. 4. Кінетика подрібнення цементного клінкеру з вхідним розміром частинок 5 мм:
 1 - БАТ-1 ($m=0.712$, $t \leq 5400$); 2 - БАТ-2 ($m=1.15$, $t > 5400$); 3 - хвиляста футерація ($m=0.640$);
 4 - полична футерація ($m=0.567$); 5 - гладка циліндрична футерація ($m=0.184$).

Аналіз кінетики стадійного процесу подрібнення на БАТ-1 і БАТ-2 дозволяє зробити суттєво важливий висновок: спільне використання обох бронефутерацій - БАТ-1 і БАТ-2 в одному млині є ефективніше, ніж застосування їх окремо при обладнанні кульових або циліндричних камер трубних млинів [166].

Дисперсний склад продукту (рис.5), отриманий з використанням бронефутерацій БАТ-1 і БАТ-2, є також найсприятливішим по відношенню до хвилястої, поличної і гладкої циліндричної бронефутерацій. Слід відзначити, однак, що

вміст цільової фракції 5-30 мкм знизився по відношенню до того продукту, що був отриманий окремо, на другий стадії, з 46.5% до 37, 6%. Цей факт є, на перший погляд, неочікуваним і пояснюється тим, що процес подрібнення на БАТ-2 в випадку суміщення стадій тривав 5400 с, а окремо на другий стадії 7200 с. Таким чином в сумісному процесі формування дисперсного складу при каскадному пульсуючому режимі його тривалість була на 33% меншою. В цілому, вивчення водоспадного і каскадного пульсаційних режимів роботи мелючого завантаження показало їхню істотну перевагу як у відношенні кількісних, так і якісних показників процесу подрібнення.

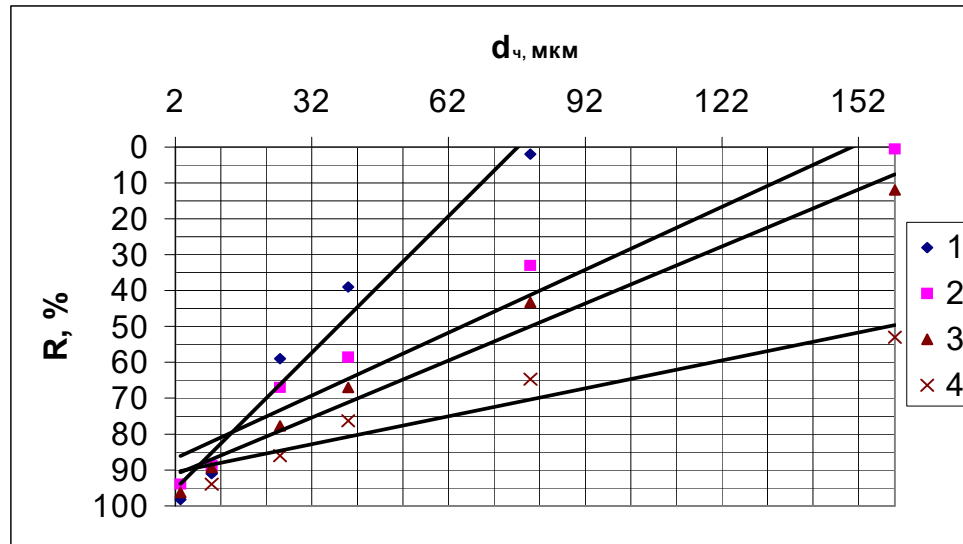


Рис. 5. Дисперсний склад продуктів подрібнення:
1-БАТ-1+БАТ-2;2-хвиляста футерація;3-полична футерація;4-гладка циліндрична футерація.

Отримані результати характеризують роботу активованих бронефутерацій на початковій і кінцевій стадіях процесу подрібнення, але в реальних умовах шихта переходить безпосередньо з першої камери до другої, і остання на вході має продукт з частково сформованим гранулометричним складом. Як наслідок потрібно на наступному етапі дослідження перенести продукт, потриманий на бронефутерації БАТ-1, у барабан, обладнаний БАТ-2.

Крім того, одним з важливих факторів, що впливає на роботу промислових трубних млинів, є відношення в довжинах першої і другої камер. Щодо лабораторних умов це можна інтерпретувати як відношення часу подрібнення на обох бронефутераціях.

Подані в роботі моделі і отримані результати моделювання дозволяють визначити переважні рівні технологічних параметрів процесу в промислових умовах.

The result of mathematical modeling and experimental researches deals with technological processes of cement mixture drizzling.

Література

1. Матієга В. Дослідження процесу подрібнення у модельних млинах, обладнаних активуючими бронефутеровками // Вісник ТДТУ. – 1998. –Т.3 –Число 4.- С.29-31.
2. А.с. №1315021 (СССР). Способ измельчения твердых материалов.
1. Змарада А.А. и др. – Оpubл. в БИ №21. 1987.
2. А.с. №761003 (СССР). Футеровка трубной мельницы. Змарада А.А. и др. – Оpubл. в БИ №33.1980.
3. Змарада А.А., Пироцкий В.З. Исследование угловых бронефутеровок трубных мельниц // Измельчение цементного клинкера. – М., 1980.
4. Змарада А.А., Матієга В.М., Тверитникова. Исследованиедвустадийного процесса измельчения с активизирующими бронефутеровками//Сб. научн.труд. ХГПУ, Т.1:Экология химической техники и биотехнологии.. Харьков, 1997.-С.69-74.

Одержано 07.03.2000 р.