

І.І. НАЗАРЕНКО, С.В. ОРИЩЕНКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

КРИТЕРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РЕЗОНАНСНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА

© Назаренко І.І., Орищенко С.В., 2011

Проаналізовано методи визначення технологічних параметрів вібраційних грохотів, які впливають на сортування матеріалу. Визначено швидкість переміщення матеріалу на ситі, та продуктивність і енергоємність, від яких залежить ефективність процесу. Порівняння вібраційних грохотів за енергетичним критерієм.

Analysis of existent methods of determination of technological parameters of oscillation grokhotiv, which influence on the process of sorting of material. Determination of speed of moving of material is on siti, and productivity and power-hungryness, which efficiency of process depends on. Comparison of oscillation grokhotiv is after a power criterion.

Постановка проблеми. Основними параметрами робочого процесу грохотів, що впливають на ефективність та продуктивність, є динамічні параметри: амплітуда і частота коливань, швидкість переміщення частинок по грохоту, енергетичні витрати. Важливими параметрами також є надійність та забезпечення стабільності режиму. Для оцінювання ефективності найважливішим параметром є швидкість переміщення частинок матеріалу по грохоту та критерій ефективності й енергоємності, оцінювання яких і є предметом досліджень.

Аналіз попередніх досліджень. Удосконалення й створення нових грохотів нерозривно пов'язане з теорією вібропереміщення, у розробленні якої найістотніший внесок зробили В.А. Бауман, І. І. Блехман, І. Ф. Гончаревич, Б.І. Левенсон, Г. Лінднер, В. А. Мальцев, В.А. Олевський, В. Н. Потураев, А. О. Спиваковський, Г.Д. Терсков, А. Г. Червоненко, А. В. Юдін, В.П. Надутий, В.П. Франчук та інші. У більшості робіт модель матеріалу подано у вигляді матеріальної частки, рух якої по робочому органу описується системою диференціальних рівнянь. Є й інші, складніші моделі процесу переміщення. Ці моделі покладено в основу розрахунків головних параметрів вібраційних грохотів.

Перший математичний опис процесу руху частки по вібрувальній похилій площині виконав Г. Ліндер. Він розглядав безвідривний режим транспортування частки й навів формулу середньої швидкості її руху (м/с):

$$V_{cp} = 0,06 A_n f t g b, \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань, м; n – кількість коливань площини за хвилину; f – коефіцієнт тертя, ковзання; b – кут вібрації, град.

Це рівняння слушне для часткового випадку: $t g a = f^2 t g b$ (a – кут нахилу площини, град.), у сучасних грохотах-живильниках це буває порівняно рідко.

Розглядаючи процес руху частки по похилій площині, в роботі [4] запропонували визначати середню швидкість за формулою

$$V_{cp} = 100000^{-1} n^3 r^2 (f \cos a - \sin a)^{-1} - 7,5 n^{-1} (f \cos a - \sin a), \quad (2)$$

де r – радіус ексцентрика.

У роботі [1] пропонується рівняння для визначення середньої швидкості руху частки з підкиданням:

$$V_{cp} = (k_1 - k_2 \sin a) A w \cos b (1 - z^2)^{0,5}, \quad (3)$$

де $z = g \cos a (A w^2 \sin b)^{-1}$; w – кутова частота коливань, рад./с.

Це рівняння слушне для “швидкохідного” режиму транспортування. Щоб використати його, необхідно експериментально визначати коефіцієнти (k_1, k_2) , які входять в це рівняння.

У роботі [3] пропонується знайти швидкість вібропереміщення за формулою

$$V = p g p^2 w^{-1} [ctg b \cos a - (2 - I) I^{-1} \sin a], \quad (4)$$

де I – коефіцієнт тертя породи під час удару; p – кратність періоду польоту періоду коливань робочого органа.

Це рівняння описує процес вібропереміщення в інтенсивному режимі, тобто з підкиданням.

У роботі [2] наводиться рівняння швидкості транспортування частки по вібрувальній поверхні для режиму з безперервним підкиданням:

$$V = p g p w^{-1} [(1 - k)(1 + k)^{-1} ctg b \cos a - (2 - I) I^{-1} \sin a], \quad (5)$$

де k – коефіцієнт відновлення при ударі.

Для грохотів зі спрямованими коливаннями середню швидкість руху матеріалу рекомендують знаходити з рівняння

$$V = g f v w^{-1} \cos a, \quad (6)$$

де v – безрозмірна середня швидкість вібропереміщення.

Отже, наведені залежності для визначення швидкості руху частинки по грохоту суттєво відрізняються, що, очевидно, пояснюється різним моделюванням руху частинки, різним врахуванням наявності безвідривного або відривного руху частинки та коефіцієнтів тертя і їхньої залежності від параметрів робочого процесу.

Формулювання мети доповіді. Метою дослідження є оцінювання критеріїв ефективності процесу сортування на підставі залежностей продуктивності та енергоємності досліджуваного процесу, а також конструктивного вдосконалювання машини – досягнення максимальної продуктивності й зниження енергоємності технологічного процесу, що істотно підвищує ефективність їх роботи. Це зумовлено постійним зростанням вартості електроенергії. Одним зі способів досягнення цієї мети є визначення раціонального завантаження робочого органа й величини підведеної до машини енергії.

Виклад основного матеріалу. Характерними і важливими параметрами робочого процесу сортування також є продуктивність та ефективність.

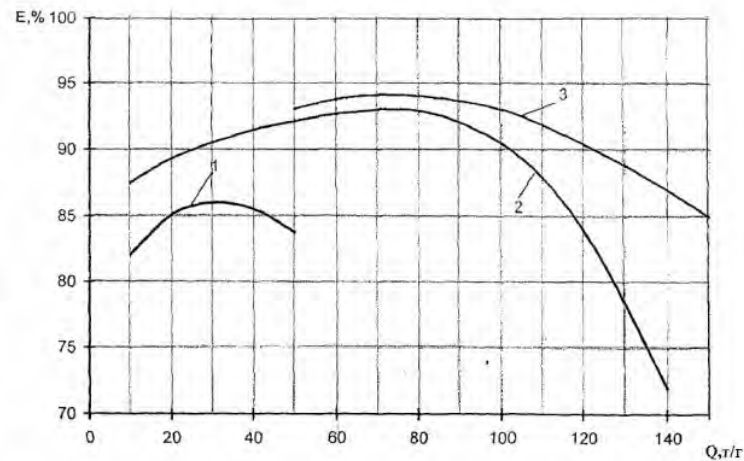
Для розрахунків продуктивності В.А. Бауман [1] запропонував такі формули:

$$Q = q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (7)$$

$$Q = q \cdot S \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3; \quad (8)$$

де Q – продуктивність 1 м² сита, м³/год; q – питома продуктивність, м³/год·м²; K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти, які відповідно враховують вміст мілкового класу в матеріалі, який надходить на сито, вміст у мілкому класі зерен розміром менше за $0,5D$, типу грохота та матеріалу.

Ці формули започаткували напрямок оцінювання впливу умов просівання на ефективність (ВНПбдормаш), що стверджує про незалежність максимального значення ефективності сортування від продуктивності, якщо остання не перевищує критичного значення для умов сортування. Ефективність залежить лише від довжини сита (див. рисунок), а також тих факторів, від яких залежить продуктивність (форми отворів, зерновий склад матеріалу, кут нахилу грохота).



Залежність ефективності просівання E від живлення Q , для різних матеріалів;
 1, 2, 3 – відповідно довжина сита 800, 1600 і 2400 мм

Якість робочого процесу характеризує ступінь поділу вихідного матеріалу за класами величини – ефективність сортування, з якої доволі часто виокремлюють поняття “точність відсівання”, “старанність сортування”, “коефіцієнт якості”.

Ефективність E визначають за формулами [4]:

$$E = \frac{(C'_1 - b) \cdot 10^4}{C'_2 \cdot (100 - b)} \quad (9)$$

$$E = \frac{\left[C'_2 - \frac{C_1 - C'_1}{C'_1} (100 - C'_2) \right] \cdot 100}{C'_2}, \quad (10)$$

$$e = \frac{C_2}{C'_2} \quad (11)$$

де β – вміст зерен нижнього класу в надрешітковому продукті, %; C'_1 і C'_2 – відповідно вміст зерен верхнього і нижнього класів у вихідному матеріалі, %; C_1 і C_2 – відповідно вихід надрешіткового і підрешіткового матеріалу, %.

Залежність ефективності E від α і C_2 виражається такою формулою:

$$E = 80,3 - \frac{\alpha^2}{28,4} + 0,287 \cdot C_2. \quad (12)$$

У роботі [1] формула для визначення ефективності має вигляд:

$$E = E_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots, \quad (13)$$

де E_0 – еталонне значення ефективності грохочення; K_1 – коефіцієнт, що враховує кут нахилу грохота; K_2 – коефіцієнт, який враховує відсотковий вміст нижнього класу у вихідному матеріалі; K_3 – коефіцієнт, що враховує відсотковий вміст у нижньому класі зерен, менших за $0,5 D$.

Разом з тим, розвивається й інший напрям [1], що визначає функціональну залежність ефективності просівання від продуктивності:

$$Q = \frac{100 - E}{7,5} \cdot 1,67 D \cdot 0,95 \cdot B \cdot L \cdot d, \quad (14)$$

де B – ширина сита, м; L – довжина сита, м; δ – насипна вага, t/m^3 ;

$$Q = q \cdot S \cdot K_e \cdot K_y \cdot K_c, \quad (15)$$

$$q = \lg D \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (16)$$

де K_1 і K_2 – коефіцієнти, що залежать від конструкції сит; K_e – поправка на ефективність грохочення; K_y – поправка, яка враховує механічний режим роботи грохота, кут нахилу сита, відношення довжини і ширини сита; K_c – поправка на розташування сита у двоситному грохоті.

Л.Б. Левенсон і Г.М. Ключев запропонували визначати:

$$Q = K \cdot S \frac{100}{C_2' \cdot E} \left[100 + \frac{100}{E \cdot C_2'} (100 - C_2') \ln \left(1 - \frac{C_2' \cdot E}{100} \right) \right], \quad (17)$$

де K – постійний для конкретного грохота коефіцієнт.

В роботі [6, 7] пропонують визначати потужність двигуна при роботі резонансного грохота із пружним шатуном за формулою

$$N = 0,25rcw[mw(r - X \cos j) - X \sin j] \quad (18)$$

де X – амплітуда коливань робочого органа; m – швидкість відносної деформації пружних елементів; c – коефіцієнт твердості пружних елементів; r – радіус кривошипа.

Для режиму з підкиданням витрату енергії за одиницю часу для переміщення матеріалу по робочому органу, тобто корисну потужність, рекомендується знаходити з рівняння (19).

$$N = 0,5em_{po}(1 + em_{\dot{a}}/m_{po})A^2w^2f(K) \quad (19)$$

де e – коефіцієнт зменшення нормального тиску, що залежить від коефіцієнта режиму роботи; $m_{po}, m_{\dot{a}}$ – маса робочого органа і вантажу відповідно; $f(K)$ – функція, що залежить від коефіцієнта режиму роботи.

Виводячи формулу (19), передбачали, що під час падіння часток на робочий орган відбувається пластичний удар і вся їхня енергія розсіюється.

Для “напівшвидкохідного” режиму ці формули використовувати практично неможливо, тому що в них відсутні статичний і кінематичний коефіцієнти тертя матеріалу.

Складний характер залежностей параметрів сортування визначив в основному емпіричний підхід до їхнього виявлення. Незважаючи на велику кількість робіт з цього питання, у літературі ще немає чітких вказівок щодо вибору оптимальних технологічних параметрів сортування, а розглянуті вище рекомендації часом суперечливі.

Проблеми енергоспоживання під час сортування й вібротранспортування маси матеріалу є нині актуальними, тому що вартість електроенергії безупинно росте, становлячи істотну частину загальних витрат. Однією з оцінок ефективності роботи машини у відомих дослідженнях [7] є енергетичний критерій (K_e) – відношення добутку швидкості транспортування й величини маси до потужності двигуна (Vm_{sp}/P). Цей критерій дає змогу порівнювати однотипні за конструктивним виконанням машини і визначати раціональні режими їх роботи.

На нашу думку, оцінювати енергетичну ефективність роботи машини доцільно за узагальненим енергетичним критерієм (K_p) – відношенням енергії, яка витрачається на переміщення матеріалу по всій довжині робочого органа, до маси вантажу, Дж/кг [5]:

$$K_p = E/m_{mp}, \quad (20)$$

де E – енергія, витрачена на переміщення матеріалу по всій довжині робочого органа, Дж; m_{mp} – маса транспортованого матеріалу, кг.

Мінімальне значення узагальненого енергетичного критерію відповідає максимальній ефективності робочого процесу машини.

Цей критерій (K_p) за суттю є інтегральним критерієм ефективності. Він дає змогу оцінювати загальні витрати енергії на заданий обсяг виробництва.

У таблиці наведено значення продуктивності (Q , т/с), потужність двигуна (P , кВт), кут нахилу робочого органа (α , град.), кута вібрації (β , град.) і розраховані значення критерію енергетичної ефективності (K_e) вібраційних грохотів легкого, середнього й важкого типів. Дані для розрахунків взято з робіт [6–9].

Параметри і критерії енергетичної ефективності машини

№	Модель	Q , Т/с	P , кВт	(кг-м)/(секВт)	K_e Дж/кг	α , град
1	ГСТ-42	0,025	4	31,5	161	0
2	ГСТ-72	0,28	37	45,4	135	10
3	ГСТ-72М	0,28	44	38,2	157	10
4	ГПТ -54Н	0,28	22	44,5	78	15-30
5	ГСТ-72	0,28	37	45,4	135	10
6	ГСТ-41	0,044	6	29,3	136	10
7	ГПЛ-52А	0,047	10	21,2	212	10-25
8	ГПЛ-62	0,069	15	21,4	217	10-25
9	ГРЛ-62	0,041	13	19,0	315	5
10	ГРЛ-72	0,066	17	28,1	257	5

Критерії енергетичної ефективності (K_e) у грохотів ГПТ-54Н і ГСТ-72, що мають однакову продуктивність і суттєво різну потужність двигуна, практично рівні. У грохотів ГСТ-41 і ГСТ-31 потужності двигунів однакові, продуктивності відрізняються в 1,5 раза, а критерій енергетичної ефективності – в 2,1 раза. Енергетичний критерій для резонансних грохотів ГРЛ-62 і ГРЛ-72 порівнюємо з таким самим критерієм в інерційних грохотах, які мають аналогічні технічні характеристики. Це не цілком узгоджується із законами механіки.

Висновки

1. Розбіжність у технологічних параметрах пояснюються тим, що енергоємність процесу транспортування залежить головно від кута нахилу робочого органа, кута вібрації, амплітуди й частоти коливань і властивостей матеріалу, що підлягає сортуванню.
2. Запропоновано енергетичний критерій, який дає можливість оцінити ефективність вібраційної машини.

1. Бауман В.А., Быховский И.И. *Вібраційні машини й процеси в будівництві*. – М.: Виш. шк., 1977. – 255 с. 2. Блехман И.И. *Про вибір основних параметрів вібраційних конвеєрів* / И.И. Блехман // *Збагачення руд*. – Л.: Механобр, 1959. – № 2. 3. Гончаревич И.Ф. *Теорія вібраційної техніки й технології* / И.Ф. Гончаревич К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с. 4. Левенсон Л.Б. *Дробильно-сортувальні машини й установки* / Л.Б. Левенсон, П.М. Цигельный. – М.: Госстройиздат, 1952. – 562 с. 5. Назаренко И.И. *Машини для виробництва будівельних матеріалів*. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с. 6. Потураєв В.М. *Резонансні грохоти* / В.Н. Потураєв. – М., 1963. – 94 с. 7. Потураєв В.М., Франчук В.П., Надутый В.П. *Вібраційна техніка і технології у енергоємних підприємствах*. – Дніпропетровськ, 2001. – 315 с. 8. Спиваківський А.О. *Вібраційні конвеєри, живильники й допоміжне обладнання* / А.О. Спиваківський, И.Ф. Гончаревич. – М.: Машинобудування, 1972. – 326 с. 9. Юдін А.В. *Важкі вібраційні живильники й живильники-грохоти для гірських перевантажувальних систем* / А.В. Юдин. – Єкатеринбург: Вид.-В УГГ-ГА, 1996. – 188 с.