

УДК 621.928.23

*І.І.Назаренко, д-р техн. наук, професор КНУБА,
С.В.Орищенко, аспірант КНУБА*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ МАТЕРІАЛУ ПО ГРОХОТУ

Вступ.

В промисловості процес класифікації матеріалів є одними з найбільш масштабних і енергоємних операцій. Цей процес практично завжди використовуються й при виробництві будівельних матеріалів. У процесі класифікації матеріалу широко використовуються віброгрохоти.

Огляд та аналіз досліджень.

Вдосконалення й створення нових віброгрохотів нерозривно пов'язане з теорією вібропереміщення, у розробку якої основний внесок внесли Бауман В.А, Блехман І. І., Биховський І.І., Вайсберг Л.А., Гончаревич І. Ф., Джанелідзе Г.Ю., Левенсон Б.І., Линднер Г., Мальцев В. А., Олевский В.А., Потураев В. Н., Спиваковский А. О., Терсков Г.Д., Червоненко А. Г., Франчук В.П., Юдин А. В. та інші відомі вчені. У більшості робіт модель матеріалу представляється у вигляді матеріальної частки, рух якої по робочому органу описується системою диференціальних рівнянь. Є й інші, більш складні моделі маси, що переміщується. Ці моделі покладені в основу розрахунків швидкості переміщення, що визначає продуктивність машини і ефективність класифікації.

Перший математичний опис процесу руху частки по віброуючій похилій площині виконав [1]. Він розглянув безвідривний режим переміщення частки й одержав середню швидкість її руху (м/с):

$$V_{\bar{n}\delta} = 0,06 \dot{A}_n f t g \beta, \quad (1)$$

де A - амплітуда коливань, м;
 n - число коливань площини в хвилину;
 f - коефіцієнт тертя, ковзання;
 β - кут вібрації, град.

Це рівняння справедливе для часткового випадку: $tg \alpha = f^2 tg \beta$ (α - кут нахилу площини, град.). У сучасних грохотах цей випадок зустрічається відносно рідко.

Розглядаючи процес руху частки по похилій площині, в роботах [22,23,24] запропонував визначати середню швидкість по формулі

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

де r - радіус ексцентрика.

В роботі [2] запропоновано більш досконалий розв'язок рівнянь руху частки без підкидання з використанням спеціальних графіків, що визначають моменти переходу від одного етапу руху до іншого.

В роботі [3] пропонується рівняння для визначення середньої швидкості руху частки з підкиданням:

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

де $z = g \cos \alpha (A \omega^2 \sin \beta)^{-1}$.

ω - кутова частота коливань, рад./с.

Для його використання необхідно експериментально визначати входні в це рівняння коефіцієнти (k_1, k_2).

В роботі [4] пропонується визначати швидкість вібропереміщення по формулі

$$V = \pi g p^2 \omega^{-1} [ctg \beta \cos \alpha - (2 - \lambda) \lambda^{-1} \sin \alpha] \quad (4)$$



де λ – коефіцієнт тертя породи при ударі;
 p – кратність періоду польоту періоду коливань робочого органа.

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

У роботах [5,6] отримана формула для визначення середньої швидкості вібропереміщення

$$V_{cp} = 4\pi^{-1}A\omega(1 - z_0)(1 + z_0^2)\cos\beta, \quad (5)$$

де $z_0 = g(A\omega^2 \sin\beta)^{-1}$.

При виведенні цієї формули передбачалося, що ковзання частки по площині відсутнє.

В роботах [7,8] докладно розглянуто можливі варіанти руху частки. Запропоновано класифікацію режимів руху частки по робочому органу: «тихохідний» - рух частки без зворотного ковзання; «напівшвидкохідний» - зі зворотним ковзанням; «швидкохідний» - з підкиданням. Для напівшвидкохідного режиму роботи машини їм була запропонована формула для визначення швидкості руху частки по робочому органу:

$$V = 5rn/60[(1 - k)^2 - (1 - q)^2], \quad (6)$$

де r - радіус обертання кривошипа, м;

n - число оборотів у хвилину кривошипа;

k - коефіцієнт відриву при русі робочого органа вперед;

q - косинус кута відриву при зворотнім ковзанні шматка.

При висновку формули (6) припускали, що статичний коефіцієнт тертя при вібропереміщенні рівний кінематичному і на процес руху частки не впливає.

В роботі [9] приведення рівняння швидкості переміщення частки по віброуючій поверхні для режиму з безперервним підкиданням:

$$V = \pi g p \omega^{-1} [(1 - k)(1 + k)^{-1} \operatorname{ctg}\beta \cos\alpha - (2 - \lambda)\lambda^{-1} \sin\alpha], \quad (7)$$

де k — коефіцієнт відновлення при ударі.

В інших роботах він визначив область існування стійких режимів руху частки вгору і вниз на віброуючій похилій площині без підкидання і з підкиданням. В його роботах, а також статті [11] викладена методика розрахунків оптимального кута вібрації і, відповідно, параметрів машин для безвідривного режиму вібропереміщення матеріалу.

В цих роботах при розрахунках швидкості руху часток передбачався постійний коефіцієнта тертя.

В роботах [12,13] для грохотів з направленими коливаннями середню швидкість руху матеріалу рекомендують знаходити з рівняння

$$V = gfv\omega^{-1} \cos\alpha, \quad (8)$$

де v - безрозмірна середня швидкість вібропереміщення.

Рівняння (8) справедливо для кута вібрації 45 град., при коефіцієнті тертя, рівному 0,6.

В роботах [14,15] наводяться експериментальні дані про змінність величин коефіцієнтів тертя практично у всіх матеріалах. Отже, наведені рівняння, що містять постійні коефіцієнти тертя, не завжди можуть бути використані без коректування для визначення швидкості переміщення маси матеріалу по робочому органу.

У середині ХХ століття Блехманом І.І, Гончаревичем І.Ф., Спиваковським А.О. було запропоновано оцінювати ефективність роботи машини техніко-економічними показниками - капітальними й експлуатаційними витратами. Оптимальними потрібно вважати такі конструктивні й режимні параметри машини, які забезпечували б мінімум наведених витрат при досягненні цільової функції. Було запропоновано кілька критеріїв, що дозволяють оцінити ефективність роботи машини: швидкість вібропереміщення (V , м/с), питома витрата енергії (W , кВт/т), коефіцієнт динамічної ефективності режиму

вібропереміщення ($k_a = V(A\omega^2)^{-1}, c$), коефіцієнт енергетичної ефективності режиму вібропереміщення ($k_A = V(W)^{-1}, \text{м}\cdot\text{т}/(\text{кВт}\cdot\text{с})$), коефіцієнт узагальненої ефективності режиму вібропереміщення ($k_0 = V(W \cdot A^2)^{-1}, \text{т}\cdot\text{с}/\text{кВт}$). Енергетичний критерій дозволяє порівнювати однотипні по конструктивним виконанням віброгрехотів і знаходити раціональні режими їх роботи.

В роботі [16] обґрунтовується комплексний критерій енергетичної ефективності. Він дорівнює частці від розподілу коефіцієнта енергетичної ефективності на величину коливальної маси машини ($k_k = V(Wm_{po})^{-1} \text{с}/\text{кВт}$). Цей коефіцієнт дозволяє оцінити конструктивна досконалість різноманітних машин. Енергоємність робочого процесу машин залежить від відносно великого числа конструктивних і режимних параметрів. По раніше наведених енергетичних критеріях не завжди можливо об'єктивно оцінити енергетичну ефективність роботи машини. У зв'язку з цим виникло завдання обґрунтування узагальненого критерію енергетичної ефективності режиму роботи машини.

Дослідження робочих процесів резонансних машин наведено в роботах [17, 18]. В них розглядаються питання міцності конструктивних елементів, процес запуску й витрати енергії при роботі машин з ексцентриковими віброзбудниками, конструкція й робочий процес яких суттєво відрізняється від лінійних імпульсних віброзбуджувачів [19, 20].

Пріоритетною метою конструктивного вдосконалення машини є досягнення максимальної продуктивності й зниження енергоємності технологічного процесу, що дозволяє суттєво підвищити ефективність їх роботи. Це обумовлене постійним зростанням вартості електроенергії. Одним зі способів досягнення цієї мети є визначення раціонального завантаження робочого органа й величини підведеної до машини енергії.

В роботі [21] пропонують визначати потужність двигуна при роботі резонансного грехоту з пружним шатуном по формулі

$$N = 0,25rc\omega[\mu\omega(r - X \cos \varphi) - X \sin \varphi] \quad (9)$$

де X - амплітуда коливань робочого органа;

μ - швидкість відносної деформації пружних елементів;

c - коефіцієнт твердості пружних елементів;

r - радіус кривошипа.

Для режиму з підкиданням витрата енергії в одиницю часу для переміщення матеріалу по робочому органу, тобто корисну потужність в [25] рекомендується знаходити з рівняння

$$N = 0,5\varepsilon m_{po}(1 + \varepsilon m_{oD}/m_{po})A^2\omega^2 f(K) \quad (10)$$

де ε - коефіцієнт зменшення нормального тиску, що залежить від коефіцієнта режиму роботи;

m_{po}, m_i - маса робочого органа і матеріалу,

$f(K)$ - функція, що залежить від коефіцієнта режиму роботи.

При висновку формули (10) передбачалося, що при падінні часток на робочий орган відбувається пластичний удар і вся їхня енергія розсіюється.

Висновки.

1). Швидкість переміщення матеріалу в резонансних машинах залежить від коефіцієнта тертя, який є випадковою величиною.

2). Для резонансних, низькочастотних машин зміна технологічного навантаження приводить до істотної зміни режиму роботи, тобто швидкості переміщення, і відповідно продуктивності й енергетичної ефективності.

*Література*

1. Lindner G, Forderrinnen. Die Fordertechnik. - 1912. - Heft 2.
2. Терсков Г.Д. Рух тіла на похилій площині з поздовжніми коливаннями /Г.Д.Терсков// Ізд. Томського індустріального інституту ім. СМ. Кірова, 1937. - Том 56. - Вип. IV.
3. Бауман В.А. Дослідження вібраційного живильника /В.А.Бауман//Зб. тр. Ленінградського інституту механізації будівництва (ЛІМС). - Л.-М.: Будіздат, 1939.
4. Гончаревич І.Ф. Теорія вібраційної техніки й технології / І.Ф. Гончаревич К.В. Фролов. - М.: Наука, 1981. - 320 с.
5. Осмаков С.А. Наближений спосіб визначення середньої швидкості руху частки по горизонтальній віброуючій поверхні /С.А.Осмаков// Звістки вузів. Будівництво й архітектура. - 1958. -№5.
6. Klockaus W. Fordergeschwindigkeit von Schwingrinnen und Schwingsiebe /W.Klockaus// Erdl und Kohle. - 1952. - № 8.
7. Олевський В.А. Кінематика грохотів/В.А.Олевський. - Л.-М.: ГНТИ, 1941. - Частина I і II.-156 с.
8. Олевський В.А. Параметри режиму й продуктивності грохотів/ В.А.Олевський // Збагачення руд. - 1967- №3 (69). - С. 31-37.
9. Блехман І.І. Про вибір основних параметрів вібраційних конвеєрів/І.І.Блехман // Збагачення руд. - Л.:, 1959. - №2.
10. Блехман І.І. Про ефективні коефіцієнти тертя при вібраціях / І.І.Блехман, Г.Ю.Джанелідзе // Звістки АН СРСР, ОТН. - 1958. -№7.
11. Брусин В.А. До теорії вибротранспортировки /В.А.Брусин/ Звістки вузів. Радіофізика. - 1960. - Т. III. - Вып. 3.
12. Довідник по збагаченню руд. Підготовчі процеси / під ред. О.С. Богданова [і ін.]. - М.: Надра, 1982. - 365 с.
13. Нагаєв Р.Ф. Періодичні режими вібраційного переміщення/Р.Ф.Нагаєв. -М.: Наука, 1978. - 152 с.
14. Барон Л.І. Гірсько технологічне породоведення. Предмет і способи досліджень /Л.І.Барон. - М.: Наука, 1977. - 301 с.
15. Барон Л.І. Характеристики тертя гірських порід/Л.І.Барон. - М.: Наука, 1967.-206 с.
16. Афанасьєв А.І. Комплексний критерій ефективності робочого процесу вибротранспортних машин / А.І. Афанасьєв, Е.В. Братыгин, А.А. Чиркова // Проблеми кар'єрного транспорту: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Єкатеринбург 20-23 вересня 2005. - Єкатеринбург, 2005. - С. 48-52.
17. Литвак А.Г. Резонансний грохот для зневоднювання вугільного шламу / А.Г.Литвак, В.Н.Потураєв, Ф.І.Марковський //Кокс і хімія. - М, 1960.-№5.- З 17-21.
18. Гаків Б.І. Динаміка вібраційних машин резонансного типу/Б.І.Гаків. -Київ: Наукова думка, 1967. - 212 с.
19. Чиркова А.А. Дослідження взаємозв'язку електромеханічних і силових параметрів магнітно-індукційного лінійного імпульсного двигуна /А.А.Чиркова// Звістки вузів. Гірський журнал. - 2005. - №6. - С. 101-106.
20. Афанасьєв А.І. Параметри робочого процесу магнітно-індукційного імпульсного двигуна вибогрохота / А.І. Афанасьєв, А.А. Чиркова // Звістки вузів. Гірський журнал. - 2007. - № 7. -С. 94-98.
21. Потураєв В.Н. Резонансні грохоти/В.Н. Потураєв. - М.: ЦНИИ-Вугілля, 1963.-94 с.
22. Левенсон Л.Б. Машини для збагачення корисних копалин/ Л.Б.Левенсон. -М.-Л.: Госмашметиздат, 1933. - 323 с.
23. Левенсон Л.Б. Дроблення, просівання корисних копалин / Л.Б. Левенсон, Б.І. Прейгерзон. - М.-Л. : Гостоптехиздат, 1940. - 771 с.
24. Левенсон Л.Б. Дробильно-сортувальні машини й установки / Л.Б. Левенсон, П.М. Цигельный. - М.: Госстройиздат, 1952. - 562 с.