

свою чергу, використання безрозмірних комплексних фізичних величин – відповідних критеріїв подібності.

Література

1. Озарків І.М., Сорока Л.Я., Грицюк Ю.І. Основи аеродинаміки і тепло масообміну: Навч. пос. – К.: ІЗМН, 1997. – 280 с.
2. Ликов А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.

УДК 622.767.55

Проф. З.А. Стоцько, д-р техн. наук; проф. Б.І. Сокіл, д-р техн. наук; доц. В.Г. Топільницький, канд. техн. наук; аспір. Д.П. Котлярова – НУ "Львівська політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРОЦЕС ЙОГО СЕПАРАЦІЇ

Досліджено вплив динамічного процесу розділення на фракції сипкого середовища, зокрема впливу на процес сепарації фізико-механічних та кінематичних характеристик.

Prof. Z.A. Stocko; prof. B.I. Sokil; assist. prof. V.G. Topilnytsky; post-graduate D.P. Kotlyarova – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

Influence of kinematical and physic – mechanical characteristics of loose environment on process of division into fractions is investigated

Influence of dividing on fractions the loose environment dynamic process, in particular physical-mechanical and kinematical characteristics on process of division into fractions is investigated.

Актуальність. Вібраційні методи оброблення та відповідні машини та обладнання отримали широке застосування за останній час у різних галузях промисловості та сільського господарства. Їх впровадження у виробництво сприяє інтенсифікації різноманітних процесів, підвищує рівень механізації та автоматизації багатьох трудомістких робіт, сприяє вдосконаленню або розробленню нових технологічних процесів, збільшує економічну ефективність та продуктивність праці.

Збільшується застосування вібромашин, що зарекомендували себе в наш час, створюються нові для виконання сучасних технологічних операцій. Це зумовлено їх конструктивною простотою і в багатьох випадках більш високою, ніж у звичайних машинах, технологічною ефективністю. Вібраційні сепаратори, зокрема порівняно з іншими сортувальними пристроями, забезпечують більш високу продуктивність та чіткість розділення при менших матеріальних затратах завдяки тому, що при вібруванні шару продукту на ситі, він інтенсивно коливається, зменшується тертя між частинками (вони стають більш рухомими), і одночасно проходить відносний перерозподіл їх за розмірами, а тому прискорює виділення прохідних через сита частинок [1].

Окрім того, вібросепарувальні машини можуть відділяти від сировини домішки та ділити їх на фракції, зокрема, перед подачею на переробку від зерна, горіхів та іншого необхідно відділити тверді домішки (феродомішки,

каміння, пісок), легкі домішки (пил, волокна мішковини та листки, що прилипли до сировини) та відсортувати за розмірами, через те, що тривалість термооброблення смаження великих та дрібних фракцій різні. Такий складний процес можна виконати тільки завдяки поділу за фракціями за розмірами чи іншими фізико-хімічними характеристиками. Очищувально-сортувальні машини є першими машинами, які обробляють сировину. Інколи їх розташовують безпосередньо на збиральних майданчиках або складах попереднього оброблення. За умови такого розміщення в виробничий цех не заноситься пил та бруд.

Не зважаючи на широке застосування вібросепарації у харчовій промисловості, проблема дослідження динаміки сипкого середовища у вібраційній машині на процес розділення на сьогодні не вивчена.

Таким чином, *метою роботи* є дослідження динамічного процесу розділення на фракції сипкого середовища, зокрема впливу на процес сепарації його фізико-механічних та кінематичних характеристик.

На рис. 1 зображено модель вібраційного об'ємного сепаратора для розділення на фракції різних діаметрів. Оброблюваний матеріал (1) через живильник (2) поступає на сита (4), що розміщені під певним кутом до корпусу (3). Після закінчення процесу сепарації фракції різного діаметра зі збиральних ємностей (6) через вихідні патрубки (5), подаються назовні, для подальшої переробки чи зберігання. При русі вздовж сита частинки сипкого середовища здійснюють складний коливний рух, який можна модельно представити нахарахуванням плоских балок [2-5]. У зв'язку з тим, що відбувається розділення на фракції (частинки меншого діаметра через отвори проходять на наступне сито), фізико-механічні характеристики середовища на різних ситах різні та змінюються вздовж сита. Таку задачу динаміки сипкого середовища у [2-5] не розглядали. Тому вказані вище фактори, а також рух сипкого середовища вздовж сита потребують уточнення математичної моделі його руху при сепарації.

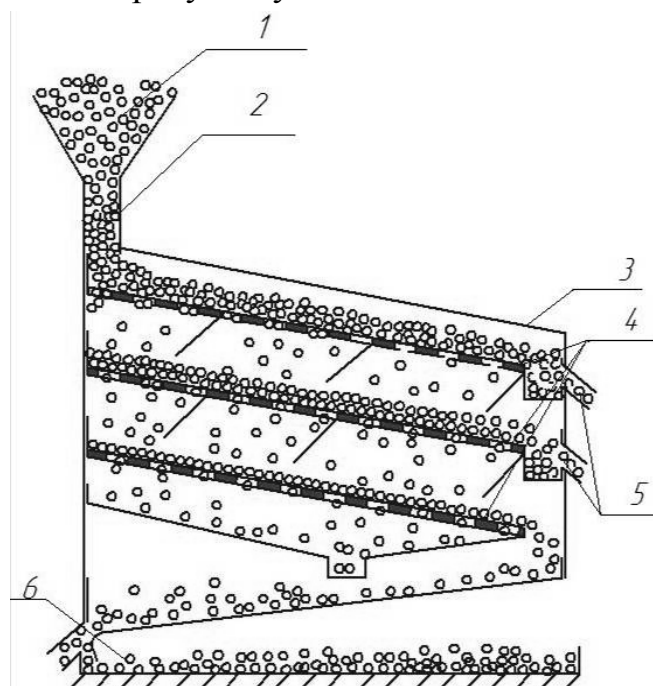


Рис. 1. Розрахункова схема вібраційного об'ємного сепаратора для розділення на фракції

Розрахункову схему шару середовища та зусилля, які діють на його частинку, вказано на рис. 2.

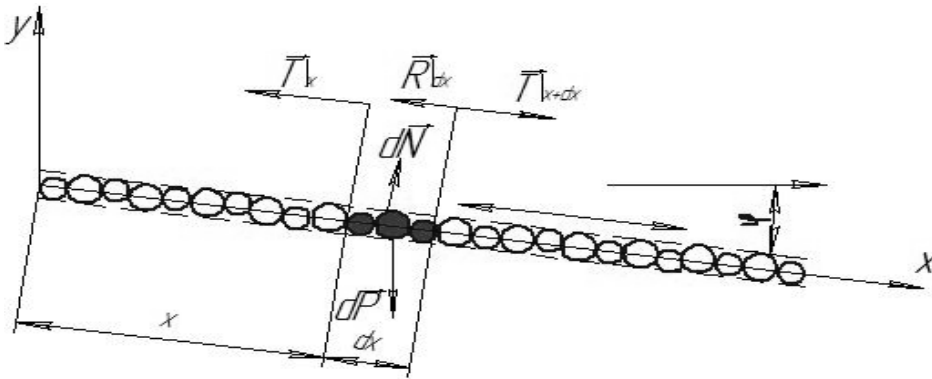


Рис. 2.
Розрахункова
схема шару
середовища та
сил, які діють на
його частинку

Для дослідження динамічного процесу розділення на фракції сипкого середовища (русі його вздовж сита), складемо диференціальне рівняння руху запропонованої вище моделі. Позначимо площу поперечного перерізу елементарного шару середовища S , $u(x, t)$ – переміщення елементарного шару з координатою x у довільний час t ; характеристика сили взаємодії у сипкому середовищі близька до лінійного закону пружності і визначається залежністю [3]:

$$T = ES \frac{\partial u}{\partial x} + \varepsilon f \left(\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t} \right),$$

де: T – внутрішнє зусилля в довільному перерізі шару середовища; E – модуль пружності; $\partial u / \partial x$ – відносна деформація шару середовища вздовж осі x ($\frac{\partial u}{\partial x} = u_x$, $\frac{\partial u}{\partial t} = u_t$); $f \left(\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t} \right)$ – функція, яка характеризує нелінійні пружні властивості матеріалу середовища; ε – малий параметр, який вказує на незначну величину нелінійних сил.

Рівнодійна сил, які діють на елемент шару завантаження завдовжки dx , визначається за формулою [3]

$$\begin{aligned} T|_{x+dx} - T|_x &= \left[Eu_x + \varepsilon f(u_x, u_t) \right]_{x+dx} - \left[Eu_x + \varepsilon f(u_x, u_t) \right]_x = \\ &= \left[\frac{\partial}{\partial x} (Eu_x) + \varepsilon \frac{\partial f(u_x, u_t)}{\partial u_x} u_{xx} + \varepsilon \frac{\partial f}{\partial u_t} u_{xt} \right] dx \end{aligned} \quad (1)$$

Для розглядуваного елемента середовища:

$$\rho \frac{d^2 u}{dt^2} = \frac{\partial}{\partial x} (Eu_x) + \varepsilon \frac{\partial}{\partial x} f(u_x, u_t). \quad (2)$$

Середовище рухається, тому наявне таке:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial x} V + \frac{\partial u}{\partial t}; \quad \frac{d^2 u}{dt^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} V + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} V^2 + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dV}{dt}; \quad V = \frac{\partial x}{dt}; \quad (3)$$

З врахуванням останнього рівняння динамічної рівноваги набере вигляду¹

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2V \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} - \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \varepsilon f(u, u_x, u_t) + \frac{\partial \alpha^2}{\partial x} u_x, \quad (4)$$

¹ При виведенні дослідного рівняння середовища вважатимемо, що сили тяжіння елементарних частин є малими і ними можна знехтувати.

де $\alpha^2 = \frac{E}{\rho S}$; ρ – погонна маса середовища; S – площа поперечного перерізу елементарного шару середовища.

У зв'язку з тим, що вздовж сита проходить процес сепарації, фізико-механічні властивості середовища змінюються по довжині сита за законом:

$$\alpha^2(x, t) = \frac{E}{S\rho} \sqrt{1 + g(x)}, \quad (5)$$

де: $\alpha^2(x, t)$ – повільнозмінна функція; $g(x)$ – функція, яка враховує зміну фізико-механічних характеристик сипкого середовища вздовж сита. Приймається у вигляді: $g(x) = kx^n$; k – сталий коефіцієнт.

Таким чином, вивчення динаміки сипкого середовища на ситі пов'язане із побудовою та дослідженням розв'язків рівняння (4).

Методика дослідження

Враховуючи, що швидкість руху частинок середовища при його сепарації мала то для дослідного рівняння (4) можна використати асимптотичний метод нелінійної механіки [6]. З цією метою подамо його у вигляді

$$u_{tt} - \alpha u_{xx} = \frac{\partial \alpha^2}{\partial x} u_x - V^2 u_{xx} + \varepsilon f(u, u_x, u_t). \quad (6)$$

Одночастотні розв'язки незбуреного рівняння за умов контакту оброблюваного середовища з ситом вібросепаратора мають вигляд

$$u = a(t) \sin \frac{k\pi}{l} x \cos \psi(t), \quad (7)$$

де $\psi = \omega t + \varphi$, a, ψ – відповідно амплітуда та фаза коливань шару завантаження.

Невідомі функції $a(t), \psi(t)$ визначаються диференціальними рівняннями:

$$\dot{a} = \varepsilon A(a) = \frac{1}{2\pi\omega} \int_0^l \int_0^{2\pi} \left[\varepsilon \frac{d\alpha^2}{dx} U_x - V^2 U_{xx} - 2V U_{xt} - U_x \frac{dV}{dt} + \varepsilon f(U_x, U_t, U_{xx}) \right] \sin \frac{k\pi}{l} x \sin \psi d\psi dx \quad (8)$$

$$\dot{\psi} = \omega(x) + B(a) = \frac{1}{2\pi a \omega} \int_0^l \int_0^{2\pi} \left[\varepsilon \frac{d\alpha^2}{dx} U_x - V^2 U_{xx} - 2V U_{xt} - U_x \frac{dV}{dt} + \varepsilon f(U_x, U_t, U_{xx}) \right] \sin \frac{k\pi}{l} x \cos \psi d\psi dx.$$

Зокрема, для випадку $f(u, u_x, u_t) = k_1 u_x^3 + k_2 u_t^3$, розв'язки залежностей будуть мати такий вигляд:

$$\frac{da}{dt} = A(a) = \frac{a\varepsilon}{4\omega} \left(\frac{15}{64} \kappa_2 a^2 \omega^2 \frac{l}{\kappa\pi} \right) \quad (9)$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \omega(x) + B(a) = \frac{1}{4\omega} \left(V^2 l \left(\frac{\kappa\pi}{l} \right)^2 - \frac{3\varepsilon}{16} a^2 \left(\frac{\kappa\pi}{l} \right)^3 l^2 + \varepsilon \int_0^l \frac{n\kappa}{e} \frac{ES}{\rho} \frac{\kappa\pi}{l} x^{n-1} \cos \left(\frac{2\kappa\pi}{l} \right) x dx \right) + \omega(x)$$

На рис. 3,4 показано залежності зміни амплітуди та частоти коливань при деяких значеннях пришвидшення та параметра n .

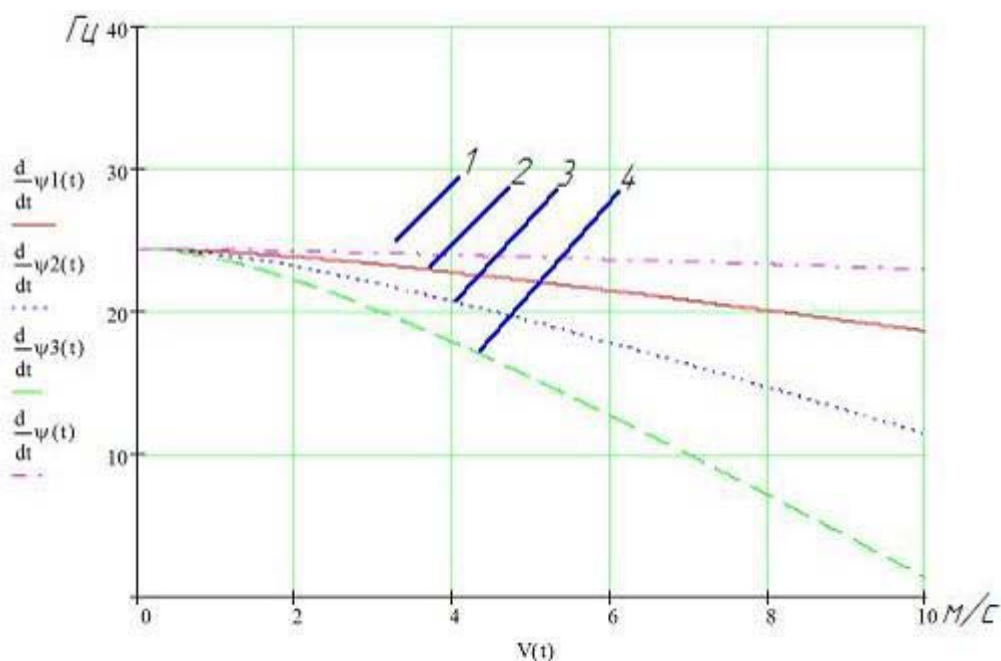


Рис. 3. Графік залежності частоти коливання середовища від швидкості його руху при різних значеннях $\dot{V}$: 1 – $\dot{V} = 0$; 2 – $\dot{V} = 1$; 3 – $\dot{V} = 2$; 4 – $\dot{V} = 3$

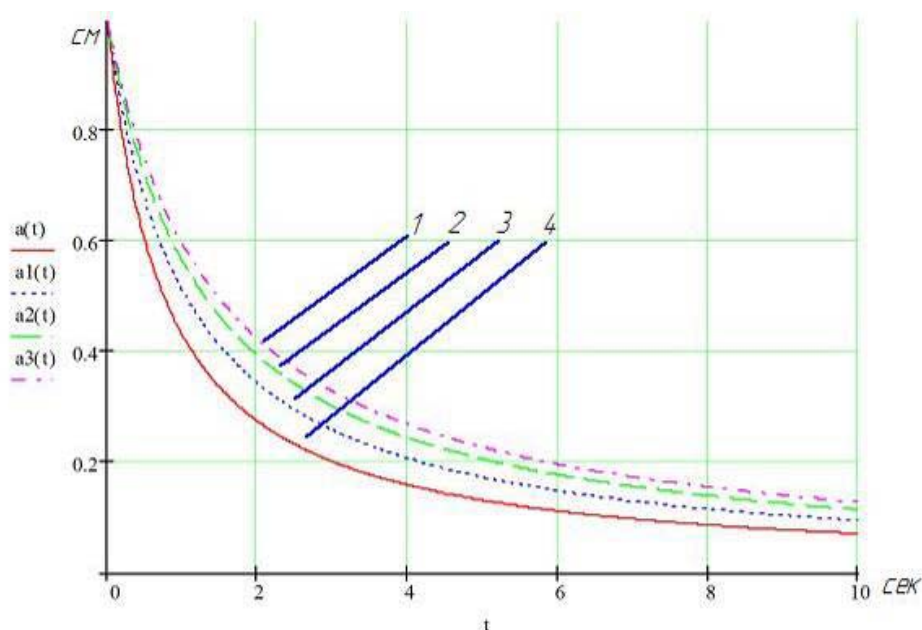


Рис. 4. Графік залежності амплітуди коливання середовища від часу при різних значеннях параметра n : 1 – $n = 1$; 2 – $n = 2$; 3 – $n = 3$; 4 – $n = 4$

На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

1. Зростання пришвидшення руху середовища приводить до зменшення частоти його власних коливань.
2. Швидкість руху середовища сприяє зменшенню частоти його власних коливань.
3. При зростанні значення повільно змінної функції α амплітуда коливань зростає.
4. Дані дослідження необхідно врахувати при виборі режимів сепарації, тому що амплітуда та частота коливань сипкого середовища істотно впливає на інтенсивність процесу сепарації.

Література

1. Гончаревич И.Ф., Урьев Н.Б., Телейник М.А. Вибрационная техника в пищевой промышленности. – М., 1977. – 278 с.
 2. Субач А.П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей. Рига. – М.: Знание, 1991. – 400 с.
 3. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г., Пилипишин М.В. Вплив оброблювальних деталей на динаміку завантаження контейнера вібромашини// Укр. зб.: Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003, вип. 37. – С. 39-43.
 4. Афтаназів І.С., Баранецька О.Р., Волошкевич П.П., Кирилів Д.Б., Криницький І.І. Дослідження динаміки і оптимізація технологічних параметрів віброперемішування сипучого середовища// Вісник ДУ "Львівська політехніка": Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів: ДУ "Львівська політехніка". – 2000, вип. 394. – С. 48-56.
 5. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Нелінійна модель руху шару середовища робочого контейнера вібраційної машини об'ємної обробки виробів зі змінним параметром нелінійності// Машинознавство. – 2001, № 1. – С. 19-23.
 6. Митропольский Ю.А., Моисеенков Б.И. Асимптотические решения уравнений в частных производных. – К.: Вища шк., 1976. – 592 с.
-
-