

З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл*, Д.П. Ребот
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра електронного машинобудування,
 *кафедра теоретичної механіки

ВПЛИВ КІНЕМАТИЧНОГО ЗБУРЕННЯ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ СИПКОГО СЕРЕДОВИЩА НА ДИНАМІКУ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ

© Стоцько З.А., Сокіл Б.І. *, Ребот Д.П., 2009

Досліджено вплив кінематичного збурення та швидкості руху сипкого середовища на амплітудно-частотні характеристики його руху у вібраційному об’ємному сепараторі.

Influence of kinematics irritation, speed of movement of loose environment on the amplitude-frequency characteristics of it movement in vibratory separators is investigated.

Актуальність дослідження. Сепарація поширена у багатьох галузях виробництва, зокрема – у важкій (гірничорудній, будівельній), легкій та переробній промисловостях. За зростання потужностей виробництва кількість сировини, що сепарується, постійно збільшується, що призводить до великих метало- та енерговитрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою зменшення енерговитрат, збільшення продуктивності роботи та підвищення експлуатаційної надійності вібраційних сепараторів важливим є вивчення впливу на динамічні процеси при сепарації таких чинників, як швидкість руху сипкого середовища, його амплітудно-частотних характеристик. Ці питання розглядалися у [1, 2], де досліджувались резонансний і нерезонансний випадки руху сипкого середовища у його поздовжніх коливаннях вздовж сита вібросепаратора. Актуальним є розгляд руху сипкого середовища за поперечних коливань корпусу сепаратора. При цьому необхідно врахувати вплив зміни модуля пружності на структуру середовища.

Формулювання мети дослідження. Мета дослідження – підвищення ефективності експлуатації вібраційного об’ємного сепаратора сипких матеріалів шляхом дослідження впливу кінематичного збурення та швидкості руху сипкого середовища на амплітудно-частотні характеристики його руху.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 показано схему вібраційного сепаратора з вертикальним кінематичним збуренням руху сит. Корпус вібраційного сепаратора (1) приводиться в дію ексцентриком (5) і набуває зворотно-поступального руху вздовж направлених роликів (4). При цьому середовище (сировина) здійснює поперечні коливання і одночасно пересувається вздовж сита. Швидкість руху сипкого середовища вздовж робочої поверхні сепаратора регулюється за рахунок зміни кута нахилу сит до горизонту, що здійснюється за допомогою регулювальних планок (7). У сировині, що сепарується, відбувається розрихлення маси та поділ її за фракціями.

Дрібніші фракції відсіюються, тому структура сипкого середовища змінюється вздовж довжини сита, а значить модуль його пружності є змінною величиною. Вважатимемо, що матеріал середовища описується законом пружності:

$$\sigma = E(x)\epsilon + E'\epsilon^3, \quad (1)$$

де σ – нормальне напруження в шарі завантаження; $\epsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ – відносна деформація шару завантаження; $u = u(x, t)$ – поперечне переміщення перерізу довільного перерізу моделі середовища за деякий момент часу t ; $E(x)$ – модуль пружності середовища; E' – стала, що характеризує відхилення пружних властивостей від лінійного закону.

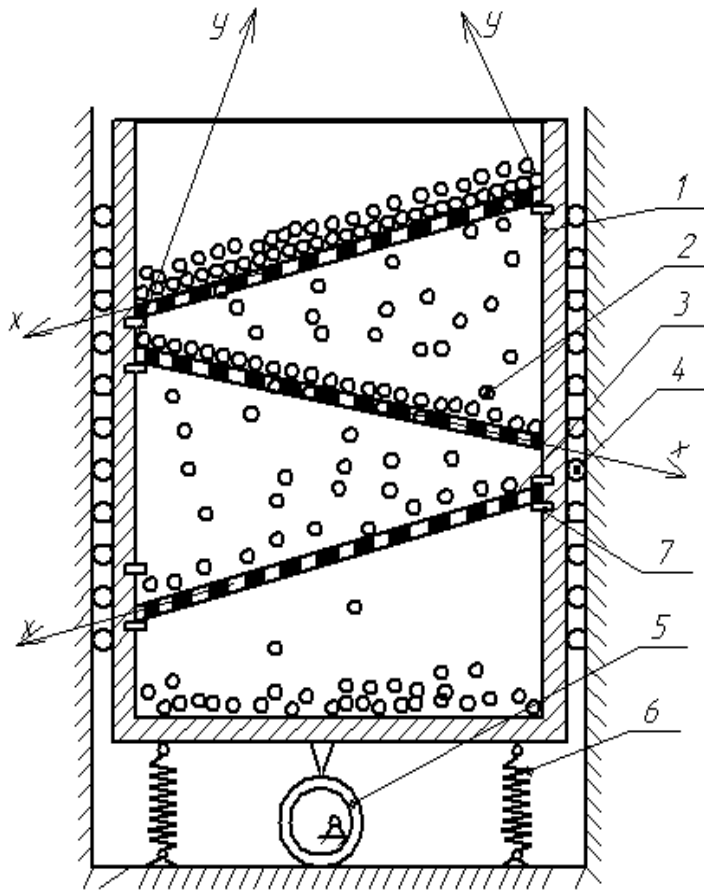


Рис. 1. Розрахункова схема вібраційного сепаратора для розділення сипкого матеріалу

Прийемо закон зміни модуля пружності:

$$E(x) = \frac{k}{1+k} e^{\gamma x},$$

де γ – коефіцієнт, що характеризує зміну пружних властивостей середовища вздовж сита, враховуючи, що дрібніші частинки відсіюються.

Приймаючи, що: а) швидкість руху частинок середовища є постійна вздовж сита; б) фізико-механічні характеристики – змінні і описуються залежністю (1); в) здійснюються тільки вертикальні коливання, диференціальне рівняння руху сипкого середовища набуде вигляду

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^4 u}{dx^4} = \left[V^2 \frac{d^2 u}{dx^2} + 2Vdt \frac{d^2 u}{dxdt} + \gamma^2 \delta \frac{d^2 u}{dx^2} \frac{E(x)W}{\rho} + 2\gamma\delta \frac{d^3 u}{dx^3} \frac{E(x)W}{\rho} \right] + \left[6 \frac{du}{dx} \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 + 3 \left(\frac{d^2 u}{dx^2} \right)^2 \frac{d^3 u}{dx^3} \right] \frac{E'}{\rho} + H \sin \theta \quad (2)$$

де V – швидкість руху сипкого середовища; ρ – густина сипкого середовища; W – момент інерції сипкого середовища; $H \sin \theta$ – амплітуда зовнішнього збурення; $q = \omega t$ (H, ω – визначаються через зміну ексцентриситету та кутової швидкості ексцентрика); ω, q – відповідно фаза та частота коливань корпусу вібросепаратора; $\frac{du}{dx}$ – відносна деформація шару завантаження вздовж осі Ox ;

$\frac{du}{dt}$ – швидкість руху шару завантаження.

Враховуючи, що модуль пружності матеріалу сипкого середовища повільно змінний вздовж сита, перше наближення розв'язку рівняння можна подати у вигляді:

$$u = a(t) \sin \frac{k\rho}{l} x \cos y(t), \quad (3)$$

де $a(t)$ – амплітуда коливань сипкого середовища; y – частота коливань сипкого середовища.

Проаналізуємо рівняння (2), використовуючи метод Ван-дер-Поля. Для випадку $m \neq w$ можна зазначити, що амплітуда зовнішнього збурення має незначний вплив на амплітудно-частотні характеристики руху сипкого середовища. На підставі цього з рівняння (2) з врахуванням (3) частота і амплітуда сипкого середовища визначаються такими диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} = & \frac{1}{2\pi\omega} \int_0^l \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[-\left(V^2 \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{d^2u}{dx^2} + 2V \frac{d^2u}{dxdt} + \gamma^2 \delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^2u}{dx^2} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{E(x)W}{\rho} \delta \frac{d^4u}{dx^4} + 2\gamma\delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^3u}{dx^3} \right) + H \sin \theta \right] \sin\left(\frac{k\pi}{l}x\right) \sin \psi d\theta d\psi dx \\ \frac{d\psi}{dt} = & \frac{1}{2\pi a \omega} \int_0^l \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[-\left(V^2 \left(\frac{k\pi}{l}\right)^2 \frac{d^2u}{dx^2} + 2V \frac{d^2u}{dxdt} + \gamma^2 \delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{E(x)W}{\rho} \delta \frac{d^4u}{dx^4} + \right. \right. \\ & \left. \left. 2\gamma\delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^3u}{dx^3} \right) + \left[6 \frac{du}{dx} \left(\frac{d^2u}{dx^2}\right)^2 + 3 \left(\frac{d^2u}{dx^2}\right)^2 \frac{d^3u}{dx^3} \right] \frac{E'}{\rho} + H \sin \theta \right] \sin\left(\frac{k\pi}{l}x\right) \cos \psi d\theta d\psi dx \end{aligned} \quad (4)$$

де $u(x)$ та її похідні визначаються відповідно до рівняння (3); w – власна частота коливань шару завантаження;

$$\omega = \frac{k\pi}{l} \alpha,$$

де l – довжина лотка сепаратора; a – повільнозмінна функція, що враховує зміну фізико-механічних характеристик сипкого середовища.

На рис. 2 показано закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища в часі залежно від швидкості його руху: $V = 50$ мм/с; $V_1 = 100$ мм/с; $V_2 = 75$ мм/с; $l = 1.5$ м; $S = 0.75$ м².

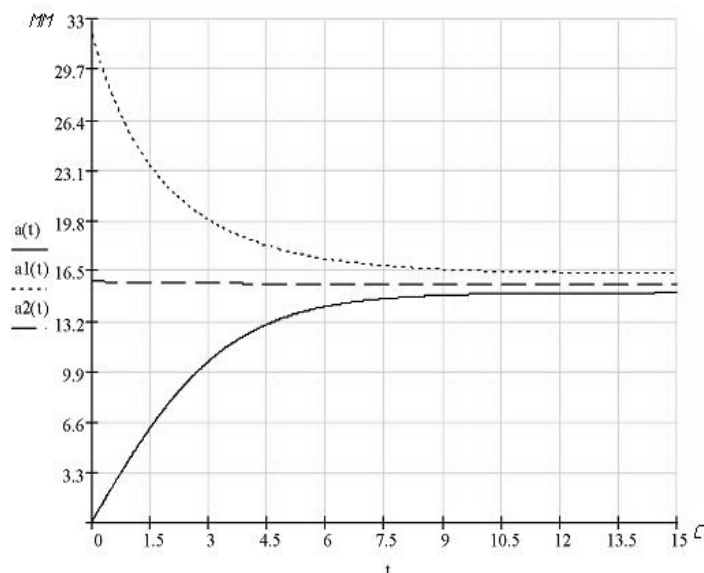


Рис. 2. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища в часі у нерезонансному випадку

У резонансному випадку фаза зовнішнього збурення дуже впливає на амплітудно-частотні характеристики. З цією метою введемо у рівняння (2) різницю фаз $j = \gamma - q$, тоді для випадку головного резонансу $w = m$ із (2) отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} = & \frac{1}{2\pi\omega} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[- (V^2 \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{d^2u}{dx^2} + 2V \frac{d^2u}{dxdt} + \gamma^2 \delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^2u}{dx^2} + \right. \\ & \left. + \frac{E(x)W}{\rho} \delta \frac{d^4u}{dx^4} + 2\gamma\delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^3u}{dx^3} \right) + H \sin \theta \left] \sin \left(\frac{k\pi}{l} x \right) \sin(\theta + \varphi) d\varphi dx \quad (5) \\ \frac{d\varphi}{dt} = & \omega - \mu + \frac{1}{2\pi a \omega} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[- (V^2 \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \frac{d^2u}{dx^2} + \gamma^2 \delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{E(x)W}{\rho} \delta \frac{d^4u}{dx^4} + 2\gamma\delta \frac{E(x)W}{\rho} \frac{d^3u}{dx^3} \right) + \right. \\ & \left. + 2V \frac{d^2u}{dxdt} + \left[6 \frac{du}{dx} \left(\frac{d^2u}{dx^2} \right)^2 + 3 \left(\frac{d^2u}{dx^2} \right)^2 \frac{d^2u}{dx^2} \right] \frac{E'}{\rho} + H \sin \theta \right] \sin \left(\frac{k\pi}{l} x \right) \cos(\theta + \varphi) d\varphi dx \end{aligned}$$

При цьому вважаємо, що під час проходження через резонанс, частота зовнішнього збурення відповідає швидкому проходженню через резонанс $m = (w + 2) - 0.4t$.

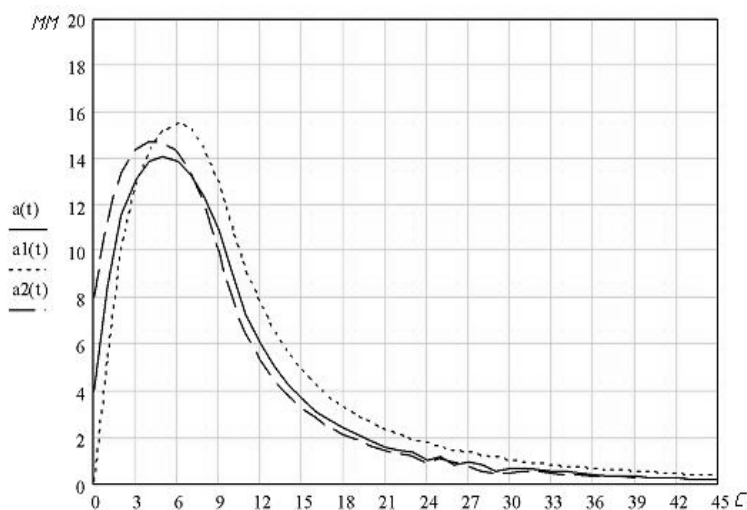


Рис. 3. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища у часі за різних амплітуд зовнішнього збурення у резонансному випадку

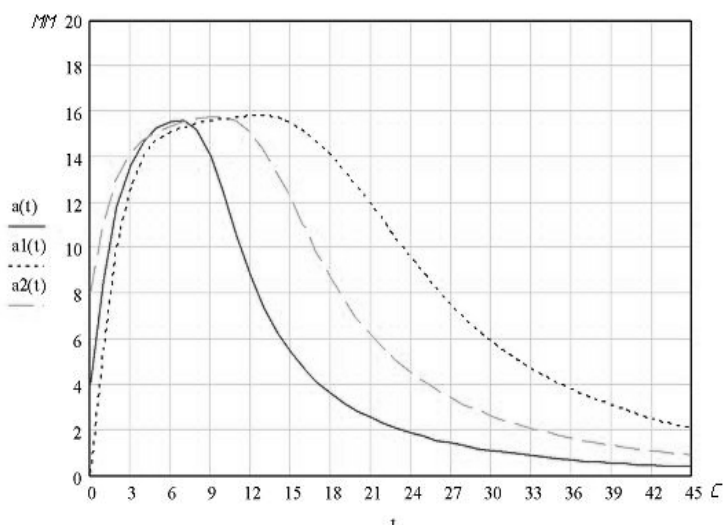


Рис. 4. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища у часі за різних швидкостей його руху у резонансному випадку

На рис. 3 і 4 показано закони зміни амплітуди коливань сипкого середовища від часу за різних значень амплітуди зовнішнього збурення та швидкості руху сипкого середовища: $V = 50$ мм/с; $V_1 = 100$ мм/с; $V_2 = 75$ мм/с; $l = 1.5$ м; $S = 0.75$ м²; $\dot{a}_0 = 4$ мм; $\dot{a}_{10} = 1$ мм; $\dot{a}_{20} = 8$ мм.

Висновки. З вищевказаних рівнянь можна зробити такі висновки:

1. У нерезонансному випадку амплітуда зовнішнього збурення та швидкість руху сипкого середовища не мають істотного впливу на зміну його амплітуди коливань (незалежно від початкових умов амплітуда коливань набуває стійкого стаціонарного значення).

2. У нерезонансному випадку швидкість поздовжнього руху впливає на зміну частоти коливань середовища, причому зі зростанням швидкості руху власна частота зменшується.

3. У резонансному випадку зростання амплітуди зовнішнього збурення та швидкості поздовжнього руху сипкого середовища призводить до зростання резонансної амплітуди. Наприклад, зміна амплітуди зовнішнього збурення від 1 до 8 мм приводить до зростання резонансної амплітуди сипкого середовища на 12 %, а за зміни швидкості коливань сипкого середовища від 50 до 100 мм/с спричиняє зростання тривалості резонансу і резонансна амплітуда збільшується на 7 %.

1. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Динаміка робочого середовища вібраційних машин об'ємної обробки // Автоматизація виробничих процесів і виробництв в машинобудуванні та приладобудуванні – 2000. – С. 26–31. 2. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г., Котлярова Д.П. Дослідження впливу технологічних і фізико-механічних параметрів сипкого середовища на процес його сепарації // Науковий вісник НЛУУ. – 2007. – С. 158–163. 3. Топільницький В.Г. Моделювання руху шару середовища робочого контейнера вібраційної машини об'ємної обробки виробів // Автоматизація виробничих процесів і виробництв в машинобудуванні та приладобудуванні. – 2000. – С. 104–110.