

Висновки. З отриманих результатів випливає, що при малих об'ємах вхідних даних ефективними є суперкомп'ютери, а при великих об'ємах вхідних даних ефективними є *qr*-системи.

Література

1. Пастух О.А. Науково-технічні основи побудови квантових нечітких обчислювальних засобів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.05 / Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – К., 2013. – 38 с.

Пастух О.А. Исследование и математическое моделирование эффективности преобразования информации квантовыми радиотехническими системами

Выполнен анализ исследования и математическое моделирование эффективности работы квантовых радиотехнических систем при превращении нечеткой информации. Установлено, что эффективность превращения нечеткой информации квантовыми радиотехническими системами является большей в сравнении с эффективностью соответствующих превращений нечеткой информации в суперкомпьютерных системах. Важность результатов статьи заключается в том, что фактически рассмотрены реализации нечетких баз знаний в квантовых радиотехнических системах. Важность полученных результатов обусловлена тем, что квантовые радиотехнические системы имеют возможность осуществлять обработку информации, которая содержит неопределенность.

Ключевые слова: квантовая радиотехническая система, нечеткая информация, суперкомпьютер.

Pastukh O.A. The Investigation and Mathematical Simulation of Information Transformation Efficiency by Quantum Radio-Engineering Systems

The analysis and mathematical simulation of the quantum radio-engineering system operation efficiency by transformation of fuzzy information is carried out. The efficiency of transformation of fuzzy information by quantum radio-engineering systems is determined to be higher comparing to the efficiency of corresponding transformation of indistinct information in supercomputers. The importance of the research is due to the fact that implementation of indistinct knowledge bases in quantum radio-engineering systems is studied. The importance of the obtained results is due to the fact that quantum radio-engineering systems are able to process information that contains uncertainty.

Key words: quantum radio-engineering system, fuzzy information, supercomputer, transformation, knowledge base.

УДК 621.9.048.6 Проф. З.А. Стоцько, д-р техн. наук; асист. Д.П. Ребот; доц. В.Г. Топільницький, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ВПЛИВ НЕПЕРІОДИЧНИХ СИЛ НА ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІД ЧАС ВІБРАЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ

Описано метод визначення амплітудно-частотних характеристик сипкого середовища за умови впливу на процес його сепарації неперіодичних сил. Для цього розглянуто математичну модель сипкого середовища за умови його вертикального збурення в контейнері вібраційного сепаратора. У цьому випадку сипке середовище розглядається як нашарування плоских балок. Побудовано залежності зміни амплітуди коливань сипкого середовища від швидкості його руху вздовж сита. Досліджено вплив явища резонансу на амплітуду коливань сипкого середовища за умови певної заданої маси завантаження.

Ключові слова: вібросепаратор, динаміка, сипке середовище, математична модель, амплітудно-частотні характеристики.

Актуальність. Враховуючи зростаючі темпи виробництва у гірничодобувній, хімічній, будівельній, харчовій галузях промисловості, у машинобудіванні, сільському господарстві щоразу більша кількість сировини різного типу потребує переробляння сепарацією, що сприяє необхідності дослідження та вдосконалення конструкції сепаруючого обладнання. Для цього на відповідних підприємствах запроваджують дедалі досконаліше обладнання, зокрема вібраційні сепаратори. Вони належать до ефективних видів технологічного обладнання та можуть широко застосовуватись для розділення всіх видів сипких матеріалів, окрім липких. Вони чудово зарекомендували себе при збагаченні та переробленні різних видів мінеральної сировини. Спосіб розділення у вібросепараторах оснований на ефекті сепарації частинок матеріалу за їх властивостями на віброуючих поверхнях та дає змогу здійснювати розподіл за розміром, формою, коефіцієнтом тертя, пружністю та іншими фізико-механічними характеристиками частинок.

У різних сферах промисловості використовують різні типи вібраційних сепараторів. Загалом можна виділити сім типів машин для вібросепарації у виробництві [2, 7]. До першого типу належать обертові ситові барабани із зовнішньою та внутрішньою подачею суміші. У вібросепараторах шафового типу для видалення сторонніх домішок створений робочий вузол, для попереднього очищення від грубих, об'ємних та частково легких домішок.

Другий тип – вібраційні машини з коловими поступальними рухами робочих органів. Прикладом таких машин є сепаратор для розділення сипких середовищ фірми SWECO [8]. У цій сфері проведено дослідження зі збільшення можливостей фракціонування в машинах даного типу, зосередження в окремих фракціях домішок, які важко відділяються. Це дозволило збільшити ефективність машин, зменшити втрати з відходами та раціонально використовувати середовища, що вантажуються.

Третій тип – вібраційні машини зі зворотно-поступальним рухом робочих органів. Здійснено дослідження із заміни решітчастих робочих органів на робочі органи з рифленою поверхнею, створення надійних приводних механізмів з мінімальними силовими навантаженнями та параметрами, що регулюються.

Четвертий тип – вібровідцентрові сортувальники. Характерні наявністю постійної та гармонічної складових кутової швидкості ситового барабана навколо вертикальної осі. У цих вібросепараторах досягнуто високої ефективності розділення сипких середовищ.

П'ятий тип – вібропневматичні сепаратори. Ці машини ефективно використовують для усунення із середовищ домішок, які важко видаляються.

Шостий тип – ударно-вібраційні сепаратори. Використовують для сепарації сипкого середовища по фракціях за масою та пружними властивостями.

Сьомий тип – використання вібрацій у робочих органах з повітряним потоком, шляхом застосування вібраційних лотків, що ділять сипкі суміші на шари перед подачею її в повітряний канал. Це дасть змогу зосередити легкі домішки у верхній частині шару, а важкі фракції у нижній частині шару.

Вагомою особливістю всіх типів вібросепараторів є те, що збурення від приводу передаються безпосередньо до просіюючих поверхонь. Параметри ко-

ливання сит дають змогу забезпечити інтенсивне розрихлення середовища, що сепарується. При цьому більш великі частинки підкидаються вище та дають змогу меншим частинкам частіше контактувати із ситом, що значно підвищує ймовірність просіювання. Тому значну увагу в дослідженнях надають вивченню зв'язку амплітудно-частотних характеристик системи "вібросепаратор – сипке середовище".

Постановка задачі дослідження. Одним із найпоширеніших вібраційних сепараторів, що застосовуються у промисловості, є решітчастий сепаратор. Його будова дає змогу досягти високої якості сепарування у відокремленні й зменшенні домішок у гранульованих матеріалах. Решітчастий вібросепаратор застосовують для сортування відходів, для пофракційного поділу та ін. Його перевагами є тиха дія, легкий доступ до решіт та легка їх заміна, можливість змінювати кут нахилу решіт.

За умови, що вібраційний сепаратор здійснює вертикальні коливання, рівняння руху поперечних коливань сипкого середовища матиме вигляд [1]:

$$m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} V^2 + 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + V \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^{\nu+1} \right) + S \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \varepsilon q \left(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial x}, \dots, \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \right). \quad (1)$$

Вважаючи, що матеріал, який сепарується, контактує зі стінками контейнера пружно, або як шарнірно закріплена балка [6], крайові умови для рівняння (1) матимуть вигляд:

$$u(x, t)|_{x=j} = 0, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}|_{x=j} = 0, j = 0, l. \quad (2)$$

Відповідно до основної ідеї методу Бубнова-Гальоркіна [4, 5], розв'язок рівняння (1) при $\nu = 0$, який задовольняє крайові умови (2), можна подати у вигляді

$$u(x, t) = \sum_{k=1}^s X_k(x) T_k(t), \quad (3)$$

де $\{X_k(x)\}$ – повна система функцій, яка задовольняє крайові умови (2), тобто $X_k(0) = X_k(l) = 0$ та $X_k'(0) = X_k'(l) = 0$. Можна стверджувати, що такою найпростішою системою функцій буде $\{X_k(x)\} = \left\{ \sin \frac{k\pi}{l} x \right\}$. Тоді для знаходження невідомих функцій $T_k(t)$ із (3), здійснивши деякі перетворення, отримуємо звичайні диференціальні рівняння

$$\frac{d^2 T_k(t)}{dt^2} + \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \left(\frac{EI - S_0}{m} - V^2 \right) T_k(t) = \varepsilon F \left(t, T_k, \frac{dT_k}{dt} \right). \quad (4)$$

Що стосується впливу нелінійних та періодичних сил на динаміку процесу, то розглянемо випадок, для якого:

- сила опору пропорційна кубові відносної швидкості руху сипкого середовища;
- відновлювальна сила задовольняє нелінійному технічному закону пружності;
- періодичне збурення одночастотне.

Методика розв'язування задачі. Диференціальне рівняння (4) у зазначеному вище випадку трансформується до вигляду

$$\frac{d^2 T(t)}{dt^2} + \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \left(\frac{\left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 EI - S}{m} - V^2 \right) T(t) = \varepsilon \left\{ -k_1 \left(\frac{dT}{dt} \right)^3 + k_2 T^3 + h \sin \mu t \right\} \quad (5)$$

Тут k_1 та k_2 – відповідно, трансформовані коефіцієнти сили опору та нелінійної складової відновлювальної сили, тобто

$$k_1 = \delta \omega^3 \int_0^l \sin^4 \frac{k\pi}{l} x dx, \quad k_2 = \delta \left(\frac{k\pi}{l} \right)^8 \int_0^l \sin^4 \frac{k\pi}{l} x dx,$$

де μ – частота зовнішнього періодичного збурення.

Відповідно до методу Бубнова-Гальоркіна із рівняння в частинних похідних (5) отримують звичайне нелінійне рівняння вигляду

$$\frac{d^2 T(t)}{dt^2} + \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \left(\frac{S + \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 EI}{m} - V^2 \right) T(t) = \frac{\mu}{m} \left(-k_1 \frac{dT(t)}{dt} + k_2 T^3(t) \right), \quad (6)$$

в якому k_1 – коефіцієнт, пропорційності сили опору швидкості, а

$$k_2 = \left(\frac{k\pi}{l} \right)^8 \int_0^l \sin^4 \frac{k\pi}{l} x \cos^2 \frac{k\pi}{l} dx = \frac{l}{4} \left(\frac{k\pi}{l} \right)^8.$$

Нижче, для простоти будемо розглядати лише випадок близький до головного резонансу в сипкому середовищі ($p = q = 1$). Тоді рівняння (4) трансформується до вигляду

$$\frac{d^2 T}{dt^2} + \mu^2 T = \varepsilon \left(F \left(T, \frac{dT}{dt} \right) - \Delta T + h \sin \theta \right), \quad (7)$$

$$\left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 \left(\frac{S + \left(\frac{k\pi}{l} \right)^2 EI}{m} - V^2 \right) = \mu^2 + \varepsilon \Delta, \quad (8)$$

де $\varepsilon \Delta$ – розбалансування частот.

Перше наближення розв'язку диференціального рівняння (7) у такому разі матиме такий вигляд:

$$T(t) = a(t) \cos(\mu t + \theta(t)),$$

де функції $a(t)$ і $\theta(t)$ визначаються із системи диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{\partial a}{\partial t} &= -\frac{l}{\pi} \varepsilon a k - \frac{h}{2\omega} \cos \phi, \\ \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \omega - \mu + \frac{\varepsilon}{4\omega} k_2 a^2 + \frac{h}{2a\omega\pi} \sin \phi. \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 1-3 представлено амплітудно-частотні характеристики коливань сипкого середовища за різних швидкостей його руху та різних значень погонної маси та довжини сита.

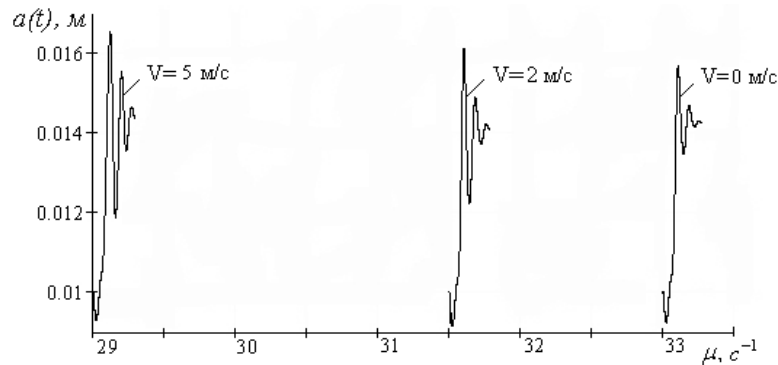


Рис. 1. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища при переході через резонанс за різних швидкостей його позовдвжнього руху при $l = 1,2\text{ м}$, $m = 120\text{ кг/м}$

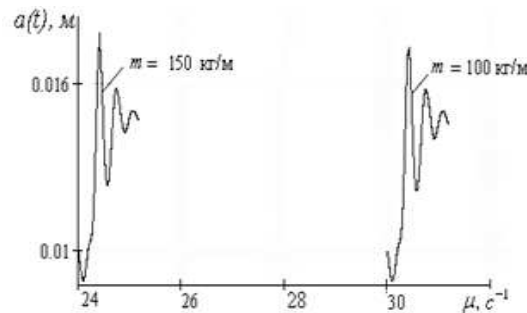


Рис. 2. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища при переході через резонанс за різних значень його погонної маси та $V = 3\text{ м/с}$, $l = 1,2\text{ м}$

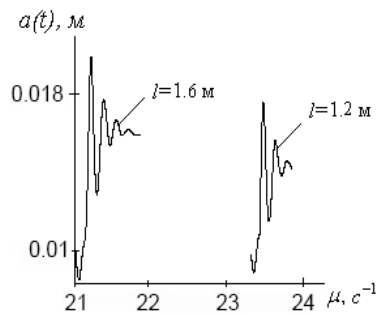


Рис. 3. Закон зміни амплітуди коливань сипкого середовища при переході через резонанс за різних значень довжини сита $V = 2\text{ м/с}$ та $m = 150\text{ кг/м}$

Із поданих графічних залежностей випливає:

- а) зміна маси одиниці довжини сипкого середовища приводить до зменшення частоти, за якої має місце резонанс, і одночасно – до збільшення величини резонансної амплітуди у процесі сепарування.
- б) зміна довжини сита впливає на резонансне значення амплітуди його коливань подібним чином як і маса одиниці довжини.

Висновки. Побудована математична модель поперечних коливань сипкого середовища дає змогу отримати оптимальні значення амплітуди та частоти коливань сипкого середовища для ефективного процесу сепарації. Відомо, що найсприятливішими для сепарації є резонансні коливання у сипкому середовищі. Тому отримані залежності можуть бути базою для подальших досліджень впливу швидкості завантаження та маси, що сепарується, на ефективність вібросепарації сипких середовищ.

Література

1. Ребот Д.П. Формування динамічних параметрів та підвищення ефективності вібросепараторів сипких середовищ : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д.П. Ребот. – Львів. – 2013. – 19 с.
2. Гончаревич И.Ф. Вибрационные машины в строительстве / И.Ф. Гончаревич, П.А. Сергеев. – М. : Изд-во МАШГИЗ. – 1963. – 312 с.
3. Топільницький В.Г. Динамічні процеси у вібраторах для об'ємної оброблення з дебалансним вібробудником : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.Г. Топільницький. – Львів. – 2002. – 16 с.
4. Боголюбов Н.И. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н.И. Боголюбов, Ю.А. Митропольский. – М. : Изд-во "Спайт". – 1974. – 264 с.
5. Митропольский Ю.А. Асимптотические решения уравнений в частных производных / Ю.А. Митропольский, Б.И. Моисеенков. – К. : Вид-во "Наука". – 1976. – 384 с.
6. Бабаков. И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М. : Изд-во "Наука". – 1965. – 560 с.
7. Гончаревич И.Ф. Вибрационные грохоты и конвейеры / И.Ф. Гончаревич, В.Д. Земсков, В.И. Корешков. – М. : Изд-во Госгортехиздат. – 1960. – 380 с.
8. Сепаратори фірми SWECO. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.sweco.com/separators_sifters_screeners.html – (дата звернення 15.02.2014). – Назва з екрану.

Стоцько З.А., Ребот Д.П., Топільницький В.Г. Влияние неперидических сил на динамические процессы в сыпучей среде при вибрационной сепарации

Описан метод определения амплитудно-частотных характеристик сыпучей среды при условии влияния на процесс его сепарации неперидических сил. Для этого рассмотрена математическая модель сыпучей среды при условии его вертикального возмущения в рабочем контейнере вибрационного сепаратора. В рассмотренном случае сыпучая среда считается наложением плоских упругих балок. Построенные зависимости изменения колебаний сыпучей среды от скорости его движения вдоль сита. Исследовано влияние явления резонанса на амплитуду колебаний сыпучей среды при определенной заданной массе загрузки.

Ключевые слова: вибросепаратор, динамика, сыпучая среда, математическая модель, амплитудно-частотные характеристики.

Stotsko Z.A., Rebot D.P., Topolnytsky V.G. The Influence of Non-periodic Forces on the Dynamic Processes in Granular Environment during Vibratory Separation

The method for determining the amplitude-frequency characteristics of a loose environment providing the impact on the process of separation of non-periodic forces is described. A mathematical model of the loose environment is considered under the condition of its vertical oscillation in a working container of the vibrating separator. In this case, the granular medium is seen as layers of planar beams. Dependences of the loose medium amplitude on its velocity along the sieve are designed. The influence of resonance effects on the vibration amplitude of loose medium under a certain specified weight load is researched.

Key words: vibrating separator, dynamic, loose environment, mathematical model, frequency response.