

З.А. Стоцько, Б.І. Сокіл*, В.Г. Топільницький, Д.П. Ребот
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра електронного машинобудування,
 *Академія Сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного,
 кафедра електромеханіки

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ УМОВНОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ СІПКОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСІ ВІБРОСЕПАРАЦІЇ

© Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г., Ребот Д.П., 2012

Запропоновано методику визначення умовного модуля пружності сипкого середовища в процесі вібросепарації за його поперечних коливань. В її основу покладено принцип одночастотності коливань нелінійних систем та експериментальне визначення резонансної частоти.

The value of conditional elasticity modul of loose environment at transverse fluctuations in vibratory separation is investigated. It is based on the one frequency principle fluctuations in nonlinear systems and experimental determination of the resonance frequency.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка проблеми у загальному вигляді. Серед високопродуктивних технологій з порівняно малими енерго- і матеріалозатратами значну частку становлять ті, які використовують різноманітні вібраційні процеси, що сприяє підвищенню якості обробки, рівня механізації та автоматизації багатьох трудомістких операцій, економічної ефективності та продуктивності праці тощо. Вібраційні процеси залежно від галузей їх застосування можна розділити на багато узагальнених технологічних напрямів [1]: а) вібровплив на середовище, насипні та дисперсні системи; б) деформування і руйнування; в) подрібнення матеріалів; г) введення вібраційних елементів в середовища різної густини; д) розділення гранульованого середовища за його геометричними та іншими параметрами. Для вібраційних процесів характерні хвильові явища, а останнім незалежно від їх характеру і властивостей притаманні загальнохвильові закономірності. Кожна вібраційна система характеризується приводом (джерелом коливань); робочим простором, у межах якого реалізується енергія коливань і здійснюється вібраційний вплив на об'єкт оброблення (середовище деталі, конструкції тощо).

Останнім часом шляхом розроблення математичних моделей та за допомогою використання обчислювальної техніки і прикладного програмного забезпечення в той чи інший спосіб виконують такі завдання:

- визначають оптимальні режими руху завантаження (сипкого середовища) існуючих машин реалізації вібраційних технологій;
- розраховують динаміку вібраційних машин, які проектують;
- розробляють оптимальний вид руху робочих органів;
- розробляють оптимальну структуру приводу машин;
- розраховують оптимальні параметри машин, які проектують;
- прогнозують продуктивність машин, які проектують.

Визначення руху сипких середовищ обладнання реалізації вібраційних технологій (зокрема вібраційного об'ємного оброблення, помелу, сепарації) є доволі складним завданням динаміки, яке до сьогодні не виконане [2]. Причини останнього – громіздкість математичного апарата описання динаміки сипкого середовища, спрощувальні гіпотези та припущення, лінійність моделей, що не завжди адекватно відображають реальну фізику досліджуваного вібраційного процесу.

Формулювання мети досліджень. Автори розробили багато нелінійних математичних моделей описання руху робочих органів вібраційних машин різного типу і призначення, їх сипких завантажень. Проте актуальним завданням є подальше визначення “умовного” модуля пружності, що дасть змогу дослідити його вплив на фізико-механічні характеристики сипкого середовища, зокрема на зміну амплітудно-частотних показників в резонансному та нерезонансному випадках. Внаслідок цього проведено багато системних досліджень, що уможливають визначити продуктивність вібраційних машин від параметричних та фізико-механічних характеристик сипких завантажень [3–9].

Виклад основного матеріалу. У разі вібраційної сепарації фракцій сипкого середовища за густиною та розміром достатньо забезпечити тільки вертикальний напрямок коливання контейнера вібраційної машини, тобто надати сипкому завантаженню лише вертикальне збурення. Результат і інтенсивність такого вібраційного оброблення завантаження визначатиметься амплітудою і частотою коливань завантаження, які, своєю чергою, залежатимуть від типу збурення і параметрів системи (вібростанини і самого сипкого завантаження).

На рис. 1 показано деякі принципові схеми вібраційних машин, які забезпечують вертикальне (або домінуюче вертикальне) коливання контейнера вібростанини – вертикальну силу збурення сипкого завантаження. Схеми на рис. 1, а, б, в зображують вібростанини, які мають дебалансний привід (вал з нерівноваженою масою кріпиться до робочого контейнера, а її обертання зумовлює колильний рух контейнера у вертикальній площині). На рис. 1, г показано схему вібростанини, контейнер якої коливається вертикально за рахунок кулачкового приводу. У вібростанині, зображеній на рис. 1, а, коливання лише вздовж вертикальної осі контейнера досягаються обмежувачем руху 5 та його напрямними 4 (різного конструктивного виконання). Така конструкція виключає повністю коливання контейнера вздовж його горизонтальної осі. У вібростанині, зображеній на рис. 1, б, підвіска складається з вертикальних і горизонтальних пружин, причому жорсткість горизонтальних пружин набагато більша за жорсткість вертикальних, що зумовлює домінуючі вертикальні коливання порівняно з незначними горизонтальними. У вібростанині, зображеній на рис. 1, в, наявність двох дебалансних приводів, незалежних між собою і прикріплених не до днища контейнера (рис. 1, а, б), а до його бокових стінок, зумовлює універсальність застосування машини: під час обертання дебалансів в одному напрямі – контейнер здійснює плоский рух у вертикальній площині і машину можна використовувати для вібраційного об’ємного оброблення виробів; під час обертання дебалансів однакової маси з однаковим ексцентриситетом та кутовою швидкістю у протилежних напрямках горизонтальні складові збурень від лівого та правого дебалансів взаємно компенсуються – контейнер рухається лише вертикально. Окрім того, наявність двох незалежних дебалансів за рахунок перерозподілу амплітуди коливань контейнера дає змогу проводити сепарацію складових завантаження вібростанини не лише вздовж вертикальної осі симетрії контейнера, але й вздовж горизонтальної. Щодо вібростанини, схему якої зображено на рис. 1, г, то вона може мати обмежувач горизонтальних коливань як і у вібростанини, зображеної на рис. 1, а. Окрім того, замість пружинної підвіски у вібростанинах, схеми яких зображені на рис. 1, може бути й інший тип підвіски, зокрема пневматичний.

Отже, у вібростанинах (сепараторах) з вертикальним рухом контейнера до сипкого завантаження контейнера прикладене лише вертикальне збурення.

На рис. 2. показано схему вібраційного сепаратора, що рухається вздовж напрямних роликів 7, з вертикальним збуренням руху сит. За руху по робочій поверхні в середовищі, що сепарується, проходить розрихлення та сортування за фракціями. Це відбувається завдяки наданню корпусу вібраційного сепаратора 1 зворотно-поступального руху за рахунок дебалансу 5. При цьому сипке середовище (наприклад, скляні пластинки діаметром 1 см) здійснює поперечні коливання і одночасно пересувається вздовж сита. Швидкість руху сипкого середовища вздовж робочої поверхні регулюється за рахунок зміни кута нахилу сит до горизонту за допомогою частоти обертання та маси дебалансу 5 та жорсткості підвіски. Сипким середовищем вважатимемо скляні пластинки діаметром 0,5–1 см. Вони використовуються в процесі виготовлення різного типу цоколів ламп, зокрема енергоощадних. Рухомою стрічкою у вібростаніонах подаються форми зі скляними пластинками, звідки вони вибиваються та сепаруються залежно від діаметра, а також відсіюється брак.

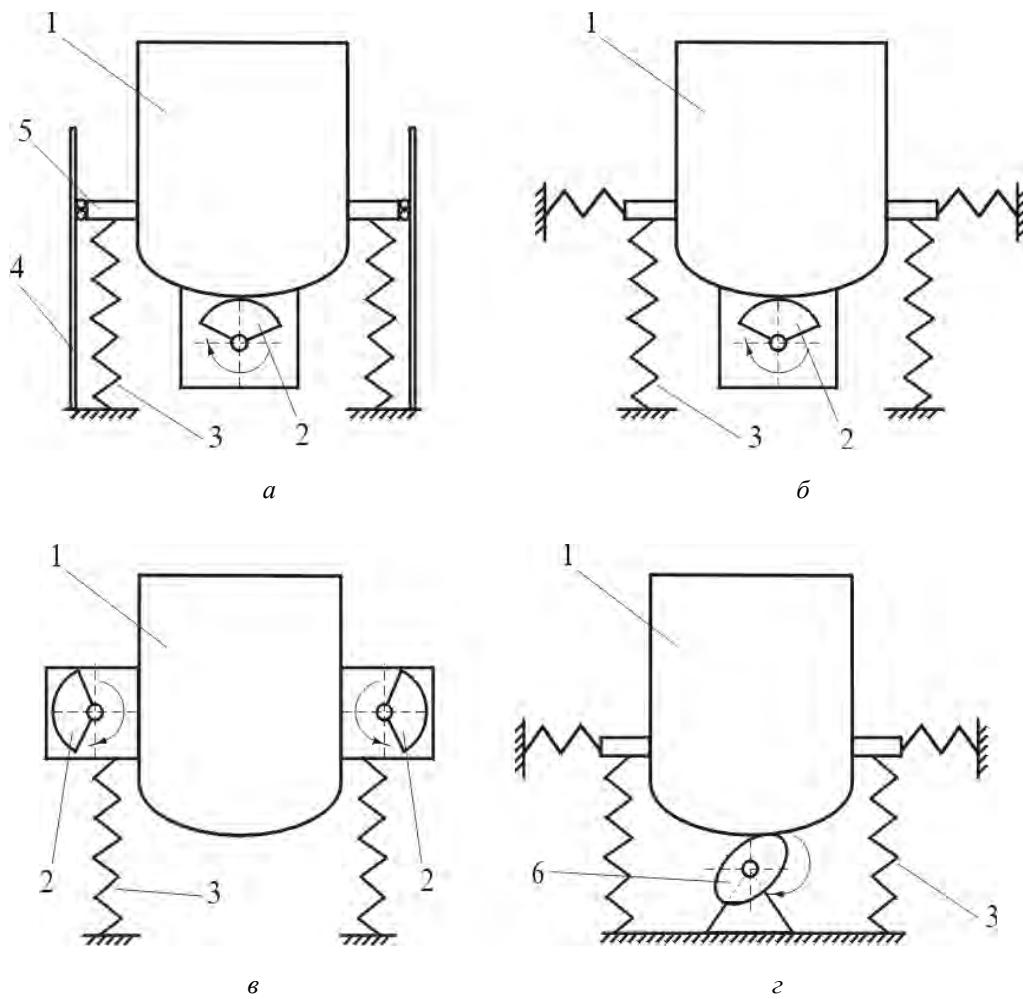


Рис. 1. Вібрмашини для проведення вібраційної сепарації сипкого завантеження:
 1 – робочий контейнер; 2 – привідні дебаланси; 3 – пружинна підвіска; 4 – напрямні горизонтального обмежувача руху; 5 – горизонтальний обмежувач руху з роликами; 6 – привідний ексцентрик (кулачок)

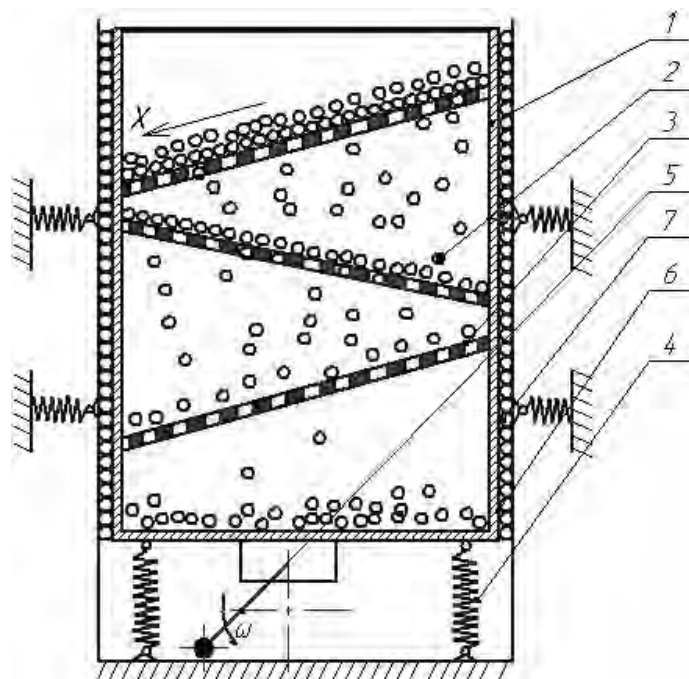


Рис. 2. Розрахункова схема вібраційного сепаратора для розділення сипкого матеріалу

У цій задачі, як і в [2–4], сипке середовище пропонується розглядати, як нашарування плоских пружно-пластичних балок, товщина яких значно менша від ширини і довжини, причому вони контактують зі стінками робочого контейнера пружно або як шарнірно закріплені балки [3, 8–10].

Для дослідження динаміки сипкого середовища у процесі вібросепарації за вищенаведеної моделі необхідно мати його основні фізико-механічні характеристики – умовний модуль пружності E , густину середовища ρ , момент інерції J . Вказані параметри при сепаруванні вздовж похилих сит є змінними величинами і переважно залежать від частоти приводу.

У роботі для подальших досліджень ставиться мета розробити наближений, універсальний для сипких середовищ спосіб визначення умовного модуля пружності E .

В його основу покладено візуальне визначення частоти резонансних коливань середовища – μ .

Беручи до уваги, що:

а) швидкість руху частинок вздовж сита є стала і мала величина;

б) оскільки фізико-механічні характеристики сипкого середовища змінні, то диференціальне рівняння руху середовища має вигляд:

$$u_{tt} + \frac{E_0 J_0}{\rho_0} u_{xxxx} = - \left[V^2 u_{xx} + 2V u_{xt} + k_1 \frac{E_0 J_0}{\rho_0} u_{xx} + k_2 \frac{E_0 J_0}{\rho_0} u_{xxx} \right] + H \sin \mu t, \quad (1)$$

де ρ_0 – густина сипкого середовища; V – швидкість руху сипкого середовища; S – площа поперечного перерізу сипкого середовища; μ – частота коливань контейнера вібросепаратора; t – час сепарації; E_0 – умовний модуль пружності сипкого середовища; J_0 – момент інерції сипкого середовища; u_{xx} – пришвидшення шару завантаження; u_{xt} – поперечне переміщення довільного перерізу моделі середовища за деякий час t ; k_1, k_2 – коефіцієнти, які характеризують зміну фізико-механічних характеристик вздовж сита.

За умов контакту середовища, які еквівалентні до шарнірного закріплення умовно прийнятих за моделі балок, крайові умови для рівняння (1) матимуть вигляд

$$u(x;t)|_{x=j} = u_{xx}(x;t)|_{x=j} = 0; \quad j = 0; l \quad (2)$$

Одночастотний розв’язок незбуреної крайової задачі має такий вигляд:

$$u = a(t) \sin \frac{\kappa \pi}{l} x \cos(\omega t + \psi), \quad (3)$$

де $a(t), u$ – сталі; ω визначається через фізико-механічні характеристики середовища:

$$\omega = \frac{\kappa \pi}{l} \sqrt{\frac{E_0 J_0}{\rho_0}}. \quad (5)$$

Остання формула дає змогу у першому наближенні визначити умовний модуль пружності сипкого середовища, за умови, що відома частота резонансних коливань середовища. Із залежності

$$\frac{\kappa \pi}{l} \sqrt{\frac{E_0 J_0}{\rho_0}} = \mu \quad (6)$$

знаходимо

$$E_0 = \left(\frac{\mu l}{\kappa \pi} \right)^2 \frac{\rho_0}{J_0}. \quad (7)$$

Висновки. Визначення умовного модуля пружності сипкого середовища дає змогу у подальшому використати його у дослідженні впливу оброблюваного середовища на процес вібросепарації та інших вібраційних методів обробки сипких середовищ.

Запропонована методика дає можливість достатньо точно у межах розглядуваної фізичної моделі середовища визначити основні його характеристики. Її можливо узагальнити і на складніші моделі середовищ [6, 8].

1. Бабичев А.П. Проблемы вибрационной технологии // Всеукраїнський наук.-техн. журнал "Вибрації в техніці та технологіях". – Вінниця, 1994. – № 1. – С.1–3. 2. Субач А.П. Динамика процессов и машин объемной обработки. – Рига, 1991. – 240 с. 3. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Динаміка робочого середовища вібраційних машин об'ємного оброблення // Український міжвідомчий науково-технічний збірник "Автоматизація технологічних процесів і виробництв в машинобудуванні і приладобудуванні". – 2000. – № 35. – С. 26–32. 4. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Комплексне дослідження і моделювання процесу оброблення в нелінійній багатомасовій вібраційній системі // зб. тез 5-го Міжнар. симпозіуму інженерів-механіків у Львові. – Львів, 16–18 травня. – 2001. – С. 90. 5. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Вплив конструкційних і кінематичних параметрів вібромашини на підвищення інтенсивності об'ємної оброблення // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Вібрації в техніці та технологіях". – 2002. – № 4(25). – С. 46–52. 6. Стоцько З., Сокіл Б., Топільницький В., Сокіл М. Математичне моделювання коливань одновимірних тіл при їх поздовжньому русі // Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал „Машинознавство”. – 2010. – № 1–2 (151–152). – С. 21–25. 7. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Кусий Я.М., Завербний А.Р., Топільницький В.Г. Дослідження динамічних процесів сипкого середовища віброактивних машин, пристроїв та механізмів // Український міжвідомчий науково-технічний збірник "Автоматизація технологічних процесів і виробництв в машинобудуванні і приладобудуванні". – 2006. – № 40. – С. 233–237. 8. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Кусий Я.М., Топільницький В.Г. Динаміка нелінійної механічної системи вібраційного об'ємного оброблення виробів // Всеукраїнський науково-технічний журнал "Вібрації в техніці та технологіях". – 2006. – № 1(43). – С. 120–122. 9. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Котлярова Д.П., Топільницький В.Г. Дослідження впливу технологічних і фізико-механічних параметрів сипкого середовища на процес його сепарації // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: зб. наук.-техн. пр. – Львів: НЛТУУ, 2007. – Вип. 17.7. – С. 158–163. 10. Митропольський Ю.А. Асимптотические решения уравнений в частных производных. – К.: Вища шк., 1976. – 592 с.