

УДК 622.74

Т.М. Кадильникова, Н.О. Сіліна, І.Л. Шинковська, І.П. Заєць  
**ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ВІБРАЦІЇ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ СИРОВИНИ ДЛЯ  
МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Анотація. Розглянуті умови застосування вібрації для класифікації сировини в апаратах та машинах, що реалізують вібраційний вплив на матеріал і являють собою типові обладнання. Досліджується вплив параметрів вібрації на розташування пристроїв і режими експлуатації обладнання. Для підтримки тривалого терміну коливань пропонуються заходи, пов'язані з введенням спеціальної лінії зворотного зв'язку.*

*Ключові слова. Класифікація матеріалів, вібрація, зони тертя, структурні зв'язки, робочий тиск.*

**Формулювання проблеми**

Головною задачею сучасного вітчизняного виробництва є підвищення конкурентоспроможності готової продукції за якістю з одночасним зниженням її собівартості. Все це стає можливим завдяки створенню нової техніки в короткі терміни часу й на рівні кращих світових стандартів, що висуває до проектно-конструкторської діяльності особливі вимоги. Процес розробки проектних рішень передбачає випробування, доведення обладнання, а також удосконалення існуючих технологій.

У зв'язку з цим на перший план виходить розробка ефективної технології класифікації сипких матеріалів, які є сировиною для багатьох процесів металургійного виробництва. Однак тут виникає низка проблем, що вимагають свого рішення, а саме: скорочення терміну операцій, підвищення стійкості обладнання для класифікації матеріалів, зниження витрат електроенергії та інші.

**Аналіз публікацій за темою досліджень**

В даний час все більш широке застосування отримує використання вібрації для операцій класифікації сировини при підготовці матеріалів для металургійного виробництва. Роботами вітчизняних і зарубіжних дослідників [1-3] доведено, що ефективність і доцільність

промислового застосування коливань звукового та ультразвукового діапазонів обумовлено можливістю використання різних фізичних ефектів, таких як зменшення опору матеріалів при переміщенні щодо віброуючої поверхні, дисипативні тепловиділення, створення певних форм відносного руху фаз. Зниження зон тертя дозволяє транспортувати сипкі та в'язкі матеріали, інтенсифікувати їх переробку [4]. Завдяки дисипативним виділенням теплоти забезпечується висока однорідність температурних полів, а також, при відповідних видах руху однієї фази відносно іншої, частки матеріалів направлено переміщуються, при цьому підвищується насипна щільність, полегшується регулярне укладання частинок матеріалу, збільшується поверхня контакту фаз, прискорюється їх переміщення [5]. Як наслідок вище наданих явищ здійснюється порушення контактів частинок матеріалу між собою, і матеріал починає розпушуватися та посилено циркулювати. Під впливом вібрації перебудовуються і руйнуються структурні зв'язки в багатьох матеріалах, які знаходяться у в'язкому стані, що призводить до скорочення терміну класифікації, зниження робочого тиску та витрат електроенергії, підвищенню якості виробництва.

#### **Формування цілей статті**

Апарати та машини, що реалізують вібраційний вплив на матеріал, являють собою, як правило, типові обладнання, яке забезпечене спеціальними пристроями, що генерують вібрації та передають їх як виконавчим органам, так і безпосередньо матеріалу. Ціллю статті є дослідження умов застосування вібрації для класифікації сировини, впливу параметрів вібрації на розташування пристроїв і режими експлуатації обладнання.

#### **Основна частина**

Основною частиною будь-якої вібраційної системи є вібробудники, які встановлюються безпосередньо на корпусах агрегатів таким чином, щоб частота, амплітуда та напрям вібрації знаходилися у певному співвідношенні, завдяки цьому знижується коефіцієнт зовнішнього тертя, усувається зависання та завалювання матеріалів. Вібробудники забезпечують варіацію параметрів вібрації, що дозволяє коригувати режими роботи обладнання, при цьому велике значення надається дослідженню частоти власних коливань всієї вібротехнічної системи.

Частота власних коливань - невід'ємна властивість будь-якої частини системи, і вона залежить тільки від характеристик самого об'єкта, тому для поліпшення її роботи необхідно або узгодити коливання її частин або, навпаки, зруйнувати їх. Для цього існує безліч технічних рішень, а саме [6]:

- дія поля має бути узгоджена (або неузгоджена) з власною частотою об'єкта;

- частоти використовуваних полів повинні бути узгоджені (або неузгоджені);

- якщо дві дії (наприклад, вимір і зміна) несумісні, то одну дію здійснюють в паузах іншої, і будь-які паузи в одній дії повинні бути заповнені іншою корисною дією;

- якщо потрібно вимірювати характеристики системи, зміна яких впливає на зміну власної частоти коливань, то дію зовнішнього поля узгоджують (або неузгоджують) з власною частотою системи і по настанню резонансу судять про зміни контрольованих характеристик.

Експериментальні дослідження свідчать про те, що з найбільшою амплітудою коливаються об'єкти при точному збігу частот [1-3]. При цьому ззовні витрачається мінімум енергії на підтримку резонансу, а всередину системи надходить максимум енергії, що підводиться. При настанні резонансу різні частини системи коливаються з різною амплітудою – в діапазоні від максимальної до мінімальної (нульова амплітуда – у вузлах коливань). Тому різні ділянки відчують різні напруги. Якщо не можна або недоцільно впливати зовнішньою силою безпосередньо на об'єкт, то вводять резонатор, з'єднаний з об'єктом. Якщо частота власних коливань об'єкта змінюється за невідомим нам законом, то необхідно організувати зворотний зв'язок між об'єктом і генератором – джерелом зовнішнього поля. Будь-які рухомі об'єкти коливаються, тому можна організувати ці коливання певним чином на виконання корисних функцій, тобто скористатися наступними правилами:

- коливальна система сама управляє надходженням до неї енергії ззовні, тобто виникає зворотний зв'язок;

- амплітуда коливань не залежить від початкових умов;

- частота коливань близька до власної частоти.

Зворотний зв'язок, що виникає при цьому у коливальній системі, діє у вузькому діапазоні, а саме, варто трохи змінити будь-який

параметр системи, і коливання зникнуть. Для підтримки тривалого терміну коливань необхідно введення спеціальної лінії зворотного зв'язку. На нестійке тіло встановлюють датчик, сигнал від якого посилюється і прямує на джерело коливань (генератор), а генератор, у свою чергу, встановлює в кожен даний момент часу резонансну частоту, тобто система працює в режимі автоколивань при будь-яких змінах умов роботи.

Зокрема, частота генератора налаштовується на частоту власних коливань робочого органу машини на холостому ході (тобто без навантаження), але як тільки робочий орган починає працювати і відчувати різноманітні напруги, його частота тут же змінюється і не збігається з частотою генератора, і система виходить з режиму резонансу, що призводить до зниження К.К.Д.. Позбутися цього можна, якщо на власну частоту робочого органу впливають мінливі властивості класифікованого матеріалу, тоді щоб хоч якась частка енергії дійшла за призначенням, доводиться непомірно збільшувати потужність збудників і генераторів, що вкрай неефективно і марнотратно.

У процесі роботи різні частини системи повинні бути узгоджені між собою за частотою для кращої взаємодії або неузгоджені для запобігання шкідливої взаємодії – резонансу. Причому, вигідна взаємодія не тільки власних частот коливань, але й окремих характеристик, що впливають на цю частоту – швидкості, маси, розмірів, форми, пружності та ін.

Існує кілька можливостей винятку шкідливої дії резонансу [7]:

- 1) ухилення від резонансу шляхом зміни частоти власних коливань;
- 2) організація взаємонейтралізації двох (або більше) шкідливих дій;
- 3) введення другої зовнішньої дії в протифазі до шкідливого впливу;
- 4) самонейтралізація шкідливої дії шляхом її поділу на дві частини зсуву, одного з них по фазі і їх зіткнення;
- 5) самонейтралізація шкідливої дії шляхом введення додаткових вантажів зі змінним центром тяжіння;
- 6) ліквідація джерела зовнішньої дії.

Простий і єдиний вихід з резонансу – руйнування його шляхом перестановки двигунів, прибираючи зайві зв'язки.

Якщо неможливо надати коливання об'єкту, тоді про його стан судять по змінам власної частоти коливань приєднаного об'єкта – у нашому випадку сипучого матеріалу. Самі власні коливання, а саме факт їх наявності або відсутності, можуть служити сигналом для виявлення та кількісного вимірювання. Якщо амплітуда цих коливань недостатня, їх можна підсилити за допомогою резонаторів. Практично будь-які зміни власної частоти коливань об'єкта можуть служити надійними показниками зміни його механічного стану та фізичних властивостей. Ці зміни можуть носити наступний характер: швидкість загасання власних коливань, механічні втрати в об'єкті при зміні його власної частоти, амплітуди власних коливань, спектр звукових коливань.

Для підтримки тривалого терміну коливань вібраційних пристроїв необхідна взаємодія робочих органів з оброблюваним середовищем, що створює нелінійні навантаження на коливальну систему машини, в результаті чого рух часток сипкого матеріалу можна описати системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial t} &= y + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2}; \\ \frac{\partial y}{\partial x} &= a[1 - \nu(r)x^2]y - \omega^2(r)x + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x, y$  - відхилення концентрації матеріалу по осях  $x$  і  $y$ , відповідно, від початкових положень;  $t$  - час;  $r$  - радіус кривизни поверхні просіювання;  $D_x, D_y$  - коефіцієнти дифузії матеріалу у напрямку осей  $x$  і  $y$  відповідно;  $\omega(r), \nu(r)$  - парціальні частота та амплітуда коливань поверхні просіювання, відповідно;  $a$  - вібраційна сила.

Дослідження розв'язків системи (1), які одержані за допомогою асимптотичного метода [6], показали, що головною особливістю синхронізації коливань в такій системі є те, що віброзбудники повинні розташовуватися один від одного на відстані порядку  $s = \sqrt{2D_y / \omega}$ , що дозволяє розглядати сипке середовище як окремі кластери (області) розміром  $s$ , всередині яких має місце коливання різних частот з найбільшим зсувом фаз, який не перевищує величини  $\pi$ .

Якщо неможливо визначити зміни власної частоти системи, то використовують приєднані об'єкти і проводять аналіз змін частоти

власних коливань таких об'єктів і по них судять про зміни в системі. Навіть не приєднаний і далеко розташований, але резонуючий об'єкт, може бути здатним допомогти в задачах на вимірювання та виявлення наявності саме цих коливань.

У коливальній системі, що знаходиться в резонансному стані, інерційні та пружні сили взаємно врівноважуються, а енергія збудника коливань витрачається тільки на подолання дисипативних сил. При цьому задана збуджуюча сила призводить до порушення коливань з максимальною амплітудою, і, навпаки, будь-яка задана амплітуда коливання досягається при мінімальному силовому впливі з боку збудника коливань.

#### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Застосування вібраційних приладів забезпечує ефективність процесів класифікації матеріалів. Практична реалізація цих процесів пов'язана з великими технічними труднощами через необхідність дотримання суворого настроювання і виконання узгодження параметрів приводу машини, її коливальної системи і технологічного навантаження.

Для того щоб вібраційний прилад працював у резонансному режимі у всьому діапазоні зміни його завантаження матеріалом, необхідно забезпечити неперервне регулювання частоти збудження.

При роботі вібраційного приладу взаємодія робочого органу з оброблюваним середовищем створює, як правило, нелінійні навантаження на коливальну систему всієї машини. Подальші дослідження такої системи дозволять виявити нові вібраційні ефекти, реалізація яких у пристроях може радикально підвищити ефективність ряду технологічних процесів, що пов'язані з використанням вібрації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надутый В.П. Результаты исследований зависимости эффективности классификации от параметров вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко, И.П. Хмеленко // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2011. – Вып. 4(64). – С. 45 - 48.
2. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. – СПб.: ООО «Диа-СофтЮП», 2005. – 608 с.
3. Левченко П.В. Экспериментальное определение зависимости эффективности классификации вертикального вибрационного грохота от комплекса доминирующих факторов / П.В. Левченко // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2012. - № 2. – С.41–46.
4. Надутый В.П. Экспериментальный анализ влияния параметров просеивающей поверхности и характера загрузки на эффективность виброгрохочения / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вып. 48 (89). – С.36– 43.
5. Математические методы анализа нелинейных колебательных систем / Митропольский Ю.А., Мосеенков Б.И., Самойленко А.М., Блехман И.И., Неймарк Ю.И. – В кн.: Вибрации в технике (справочник). Т.2. Колебания нелинейных механических систем. М.: Машиностроение, 1979. – 324 с.
6. @Горин Ю.В. Указатель физических эффектов и явлений для использования при решении изобретательских задач [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www/jlproi.org>
7. Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. – 352 с.