

Чубик Р. В., Скварок Ю. Ю., Зелінський І.Д.*

Дрогобицький державний педагогічний університет,
інститут фізики, математики, економіки та інноваційних технологій
кафедра "Машинознавства та основ технологій"

*Національний університет "Львівська політехніка",
інститут інженерної механіки та транспорту,
кафедра "Механіка та автоматизація машинобудування"

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ АДАПТИВНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЗА КРИТЕРІЄМ РОЗПОВЮДЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ У ВІБРОКИП'ЯЧОМУ ШАРІ

© Чубик Р. В., Скварок Ю. Ю., Зелінський І.Д. 2014

Розроблено методику керування динамічними параметрами керованих віброприводів, для забезпечення стабілізації глибини проникнення механічних низькочастотних коливань в шари віброкип'ячого сипучого матеріалу робочого органу при власній резонансній робочій частоті адаптивної вібраційної технологічної машини.

The method of control dynamic parameters controlled vibrogear for stabilizing the depth of penetration of mechanical low-frequency oscillations in the layers of vibration boil loose material working body with its own operating frequency resonant vibration of adaptive technology machines.

Постановка проблеми

Віброкип'ячий шар [1-3] елементарних частинок сировини створюється в вібромашинах найрізноманітніших конструкцій шляхом впливу на сипучий матеріал робочого органу - віброуючого дна, стінок, контейнера, бункера, додаткових перегородок або похилих лотків, а також за допомогою віброприводу, введенного безпосередньо в робочу камеру. Зазначені елементи можуть здійснювати гармонічні або полічастотні коливання. Траєкторія їх коливального руху може являти собою пряму, спрямовану по вертикалі або під кутом до горизонту, окружність, еліпс або іншу плоску або об'ємну фігуру. Від амплітуди, частоти і траєкторії коливального руху залежать структура шару із елементарних частинок сировини, інтенсивність і характер перемішування твердої фази і швидкість спрямованого переміщення матеріалу у вібромашинах безперервної дії. У більшості випадків у адаптивних вібромашинах з віброкип'ячим шаром використовують гармонійні коливання.

У віброкип'ячому шарі елементарні частинки сировини стосовно якої адаптивна вібромашина реалізовує довільний технологічний процес знаходяться в постійному русі, що підтримується безперервними підведенням енергії від віброуючої поверхні робочого органу вібромащини та в деяких випадках додатково підведеним в шар зріджуючим агентом (наприклад стисненим гарячим повітрям, ...). Енергія від елементарних частинок сировини, що розташовані безпосередньо біля віброуючої поверхні, передається в глибину віброкип'ячого шару завдяки співуру їх між собою. При цьому завдяки непружності елементарних частинок сировини та проковзуванню їх при ударах неминучо існують втрати в переданій енергії. Від величини втрат суттєво залежать можливості створення віброкип'ячого шару із елементарних частинок сировини великої висоти (об'єму). Тому питання розповсюдження механічних коливань у віброкип'ячому шарі елементарних частинок сировини є актуальним при створенні крупногабаритних адаптивних вібраційних технологічних машин (АВТМ) та при керуванні динамічними параметрами віброприводу робочого органу з метою

забезпечення заданого технологічно оптимального вібраційного впливу на оброблюване середовище.

Аналіз останніх досліджень

В залежності від типу технологічного процесу, що інтенсифікується чи реалізовується за допомогою вібрації в адаптивних вібраційних технологічних машинах застосовують різні критерії для оптимізації та керування динамічними параметрами робочого органу. Зокрема відомий [4] метод стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних машинах, [5] метод стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах та [6] метод стабілізації в'язкості віброкип'ячого шару в адаптивних вібраційних технологічних машинах. Для АВТМ, що займаються об'ємною віброабразивною обробкою деталей (віброшліфуванням та віброполіруванням) застосовують [7] метод стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля фізичні принципи роботи якого базуються на стабілізації питомої роботи вібраційного поля АВТМ шляхом корекції амплітуди коливань робочого органу на резонансній робочій частоті. Проте для АВТМ із великим об'ємами робочих камер (бункерів) даний метод стабілізації динамічних параметрів вібраційного поля робочого органу не є ефективним тому, що у великому об'ємі оброблюваного середовища (завантаження) відбувається значні втрати енергії в процесі проходження імпульсу від робочого органу в глибину шару сипучого середовища.

Мета роботи

Розробити метод керування динамічними параметрами робочого органу адаптивних вібраційних технологічних машин, для забезпечення та стабілізації в часі однакового розповсюдження вібрації в шарах віброкип'ячого середовища, що створюється їх робочим органом на заданому технологічно оптимальному рівні.

Виклад основного матеріалу

Висота (глибина) шару на яку проникають низькочастотні коливання від робочого органу адаптивних вібраційних технологічних машин, залежить від багатьох фізико-хімічних властивостей сипучого матеріалу і від того чи діють на нього лише вібраційним впливом чи паралельно із вібраційним впливом застосовують подачу через шар розрізуючого агенту (наприклад: гарячого повітря, ...). В роботі [2] показано, що із збільшенням відстані від дна робочого органу адаптивної вібромашини коефіцієнт вібров'язкості зростає, а рухомість частинок сипучого матеріалу падає. І в такому випадку δ глибина проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу визначається наступним виразом:

$$\delta = \frac{2 \cdot N}{S \cdot A_d^2 \cdot \omega_d^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

де N - потужність котра передається сипучому матеріалу, що знаходиться у робочому органі АВТМ, S - площа поверхні робочого органу яка передає коливання сипучому матеріалу, ρ - середня густина сипучого матеріалу, що знаходиться в робочому органі АВТМ, A_d - дійсна амплітуда коливань робочого органу АВТМ, ω_d - дійсна частота коливань робочого органу АВТМ. Аналізуючи вираз (1) можна побачити, що зниженням частоти коливань робочого органу в адаптивних вібраційних технологічних машинах призводить до збільшення величина зони проникнення вібрації в шар сипучого матеріалу. Основною рисою адаптивних вібраційних технологічних машин є відслідковування зміни приведеної маси [8, 9, 10] $\pm \Delta M$ коливної системи вібромашини та постійне автоматичне підстроювання частоти ω_p коливань циклічної вимушуючої сили дебалансного віброприводу до власної резонансної частоти коливної механічної системи АВТМ. Завдяки постійній автоматичній корекції ω_p АВТМ завжди працює в енергозберігаючому резонансному режимі. Зміна висоти шару $\pm \Delta H$ сипучого матеріалу на робочому органі адаптивної

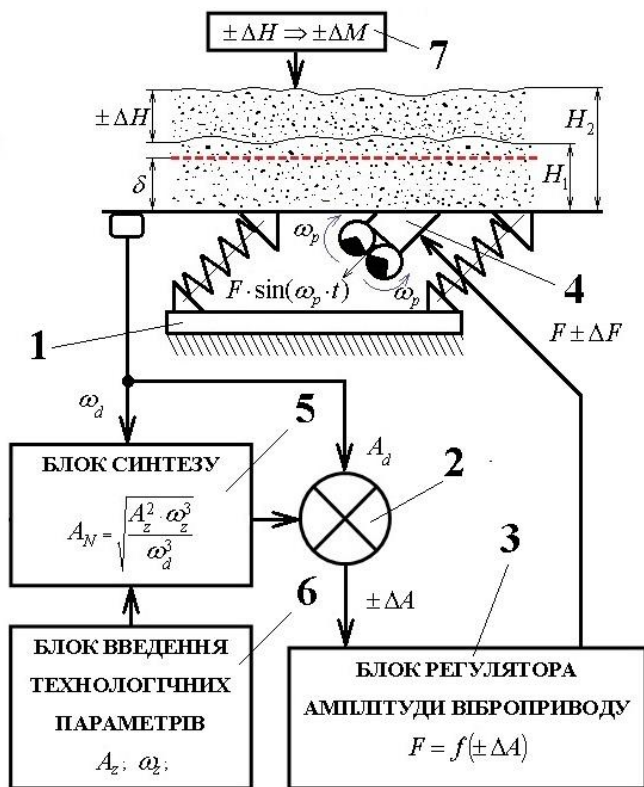


Рис. 1. Метод стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань в шари сипучого матеріалу

вібрації (наприклад [11]: віброосушка, віброохолодження, віброущільнення, віброзміцнення (підвищення мікротвердості, створення залишкових напружень), віброочистка (очистка заготовок и деталей від окалини, корозії, нагару), ...). Для того, щоб глибина проникнення δ низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу залишилась на попередньому рівні необхідно проводити корекцію дійсної амплітуди A_d коливань робочого органу АВТМ шляхом зміни амплітуди $\pm \Delta F$ циклічної вимушуючої сили

$F \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$ котра передається робочому органу вібромашини.

На рис.1 зображено функціональну схему запропонованого методу стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань в шари сипучого матеріалу. На адаптивну вібраційну технологічну машину 1 діє $\pm \Delta M$ параметричне збурення 7, що може бути обумовлене зміною висоти шару $\pm \Delta H$ сипучого матеріалу на робочому органі адаптивної вібраційної технологічної машини або зміною густини, вологості, неоднорідності чи будь яких інших фізико-хімічних властивостей сипучого матеріалу. Адаптивна вібраційна технологічна машина 1 з'єднана із блоком порівняння 2 та блоком синтезу 5, який з'єднаний із блоком 6 введення технологічних параметрів вібраційного поля. Сигнал з виходу блоку синтезу 5 поступає на блок порівняння 2, а з виходу блока порівняння 2 надходить у блок регулятора амплітуди віброприводу 3 і з його виходу поступає на вібропривод 4, що приводить у рух адаптивну вібраційну технологічну машину 1.

Принцип роботи запропонованого методу стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу проілюстровано (рис. 1) на прикладі адаптивної вібраційної технологічної машини 1, на яку діє постійне параметричне збурення 7 у вигляді зміни приведеної маси $\pm \Delta M$ коливної системи АВТМ 1. Відповідно до [10] зміни приведеної маси $\pm \Delta M$ коливної системи є причиною зміни власної резонансної частоти АВТМ. Завдяки тому, що АВТМ автоматично відслідковує зміну власної резонансної частоти коливної механічної системи та автоматично коректує [12] ω_p частоту циклічної вимушуючої сили дебалансного віброприводу 4, відбувається підтримування постійного резонансного режиму роботи. В наслідок чого ω_d дійсна

вібраційної технологічної машини або зміна густини, вологості, неоднорідності чи будь яких інших фізико-хімічних властивостей сипучого матеріалу буде причиною зміни $\pm \Delta M$ приведеної маси коливної механічної системи АВТМ. Як наслідок система керування динамічними параметрами дебалансного віброприводу відрегулює його частоту циклічної вимушуючої сили ω_p , а це буде причиною зміни δ глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу. Хаотична зміна глибини проникнення δ низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу негативно впливатиме на параметри віброкип'ячого середовища із сипучого матеріалу (наприклад: якість віброперемішування, час віброперемішування, продуктивність технологічної лінії, ...) та ін технологічні процеси, що реалізуються чи інтенсифікуються за допомогою

частота коливань робочого органу АВТМ постійно змінюється (плаває) і як наслідок присталі (незмінні) амплітуді циклічної вимушеної сили дебалансного вібропривод 4 плаватиме (змінюватиметься) A_d дійсна амплітуда коливань робочого органу АВТМ. Відповідно до виразу (1) в часі постійно змінюватиметься і глибина проникнення δ низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу, що негативно впливатиме на технологічні процеси які реалізовуватиме адаптивна вібромашина 1. Постійна зміна глибини проникнення δ низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу на протязі циклу технологічної віброобробки негативно вплине на якість віброперемішування, час віброперемішування (за час циклу вібромашина не встигатиме) та продуктивність технологічної лінії. Щоб стабілізувати в часі δ глибину проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу відносно довільної робочої частоти адаптивної вібромащини 1 необхідно відштовхуватися від заданої глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу яка є оптимальною з технологічної точки зору для конкретного вібропроцесу із певними фізико-хімічними властивостями сипучого матеріалу. Задана δ глибина проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу визначатиметься технологічно оптимальними динамічними параметрами робочого органу A_z заданою амплітудою коливань робочого органу АВТМ 1 та ω_z заданою частотою коливань робочого органу АВТМ 1. Задані технологічно оптимальні динамічні параметри робочого органу АВТМ 1 через блок 6 введення технологічних параметрів поступають в блок синтезу 5. В блоці синтезу 5 на основі інформації від АВТМ 1 про дійсну A_d амплітуду коливань робочого органу АВТМ 1 та ω_d дійсну частоту коливань робочого органу АВТМ 1 відбувається порівняння заданої δ глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу із дійсною δ глибиною проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу.

$$\frac{2 \cdot N}{S \cdot A_z^2 \cdot \omega_z^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} = \frac{2 \cdot N}{S \cdot A_d^2 \cdot \omega_d^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

На основі порівняння заданої δ глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу із дійсною δ глибиною проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу можна легко визначити A_N необхідну амплітуду коливань робочого органу АВТМ 1 яка дозволяє при ω_d дійсній частоті коливань робочого органу АВТМ 1 забезпечити задане проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу. Тому прирівняти задане проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу із необхідним для конкретної ω_d дійсної частоти коливань робочого органу АВТМ 1 отримаєм A_N необхідну амплітуду коливань робочого органу:

$$\frac{2 \cdot N}{S \cdot A_z^2 \cdot \omega_z^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} = \frac{2 \cdot N}{S \cdot A_N^2 \cdot \omega_d^3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}}, \text{ звідки } A_N = \sqrt{\frac{A_z^2 \cdot \omega_z^3}{\omega_d^3}} \quad (2)$$

В блоці порівняння 2 відбувається порівняння дійсної A_d амплітуди коливань робочого органу АВТМ 1 A_N необхідною амплітудою коливань робочого органу АВТМ 1. Безпосередньо по модулю та знаки даного порівняння $\pm \Delta A$ можна судити наскільки і в яку сторону необхідно проводити корекцію амплітуди циклічної вимушеної сили дебалансного вібропривод 4, щоб δ глибиною проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу залишалась незмінною при кожному конкретному значенню ω_d дійсної частоти коливань робочого органу АВТМ 1. На основі величини та знаку параметра $\pm \Delta A$ блок регулятора амплітуди віброприводу 3 проводить зміну кута [13] між дебалансами вібропривод 4 коректуючи амплітуду його циклічної

вимушуючої сили. Реалізація автоматичного контуру керування динамічними параметрами керованого дебалансного віброприводу на основі виразу (2) дозволяє розширити технологічні можливості адаптивних вібраційних машин за рахунок стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу.

Висновок

Запропонований метод стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань в шар сипучого матеріалу дозволяє оптимізувати динамічні параметри віброкип'ячого середовища із сипучого матеріалу в технологічних процесах, що реалізуються чи інтенсифікуються за допомогою вібрації. Оптимізація динамічних параметрів сипучого віброкип'ячого середовища за критерієм розповсюдження вібрації в шарах дозволяє забезпечити стабільність на протязі технологічного циклу віброобробки (наприклад: вібросушки, віброохолодження, віброущільнення, віброзміцнення (підвищення мікротвердості, створення залишкових напружень), віброочистки (очистка заготовок и деталей від окалини, корозії, нагару), ...) таких технологічних параметрів адаптивної вібраційної технологічної машини як: якість віброперемішування, час віброперемішування та продуктивність технологічної лінії.

Література

1. Членов В.А., Михайлов Н.В. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое. – М.: Стройиздат, 1967. – 224 с.
2. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. – М.: Наука, 1972. – 341 с.
3. Блинов А.В. Внешний теплообмен и гидродинамика виброкипящего слоя со свободно плавающими телами: Диссертация канд. техн. наук. Свердловск, 1987. – 186 с.
4. Пат. 105075 UA Україна, B65G 27/24. Спосіб стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних машинах. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). - № а201206929; Опубл. 10.04.2014; Бюл. № 7, 8 ст.
5. Пат. 106526 UA Україна, B65G 27/24, (2006.01) Метод стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). - № а201211925; Опубл. 10.09.2014; Бюл. № 17, 7 ст.
6. Пат. 105859 UA Україна, B65G 27/24, (B65G 27/00) Метод стабілізації в'язкості віброкип'ячого шару в адаптивних вібраційних технологічних машинах. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). - № а201303641; Опубл. 25.06.2014; Бюл. № 12, 7 ст.
7. Пат. 92041 A Україна, B65G27/100. Спосіб стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин. Середя Л.П., Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). – № а200806209; опубл. 27.09.2010; Бюл. № 18. – 3 с.
8. Зеленцов Л.К. Влияние рабочей среды на колебания вибрационной установки для объемной обработки деталей // Состояние и перспективы промышленного освоения вибрационной обработки. - Ростов-на-Дону, 1974. -С. 37-41.
9. Франчук В.П. Разработка методов расчета нелинейных динамических систем вибрационных машин с существенным влиянием технологической нагрузки: Автореф. дис... д-ра. тех. наук. - Днепропетровск: 1982. - 40 с.
- 10.Блехман И. И. Вибрационная механика. М.: Физматлит, 1994. 400 с. (англ. перевод: Blekhman I. I. Vibrational Mechanics. (Nonlinear Dynamic Effects, General Approach, Applications). Singapore et al: World Scientific Publishing Co., 2000. 510 p.)
- 11.Баби́чев А.П., Баби́чев И.А. Основы вибрационной технологии. - Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ. 1999.- 621с.
- 12.Пат. 87776 A Україна, B65B G27/00. Спосіб керування роботою адаптивних вібраційних технологічних машин. Середя Л.П., Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. (Україна). – № а200803685; опубл. 10.08.2009; Бюл. № 15. – 4 с.
- 13.Пат. 104108 UA Україна, B06B 1/16. Керований віброзбуджувач. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В., Мокрицький Р.Б., Деньціков О.Ю. (Україна). - № а201302007; Опубл. 25.12.2013; Бюл. № 24, 8 ст.