

Р. В. Чубик, Ю. Ю. Скварок, І.Д. Зелінський*
 Дрогобицький державний педагогічний університет,
 кафедра машинознавства та основ технологій,
 *Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра механіки та автоматизації машинобудування

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

© Чубик Р. В., Скварок Ю. Ю., Зелінський І.Д., 2015

Розроблено методику керування динамічними параметрами керованих віброприводів, для забезпечення стабілізації глибини проникнення механічних низькочастотних коливань в шари віброкип'ячого сипкого матеріалу робочого органа за власної резонансної робочої частоти адаптивної вібраційної технологічної машини.

Ключові слова: динамічні параметри, низькочастотні коливання, віброприводи, вібраційна технологічна машина.

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.

Key words: dynamic parameters, low-frequency oscillations, vibrogear, adaptive technology machines.

Постановка проблеми. Віброкип'ячий шар [1–3] елементарних частинок сировини створюється в вібромашинах найрізноманітніших конструкцій через вплив на сипкий матеріал робочого органа – вібруючого дна, стінок, контейнера, бункера, додаткових перегородок або похилих лотків, а також за допомогою віброприводу, введеного 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. Здебільшого у адаптивних вібромашинах з віброкип'ячим шаром використовують гармонійні коливання.

У віброкип'ячому шарі елементарні частинки сировини, стосовно якої адаптивна вібромашина реалізує довільний технологічний процес, перебувають у постійному русі, що підтримується безперервними підведенням енергії від вібруючої поверхні робочого органа вібромашини та в деяких випадках додатково підведеним у шар зріджувальним агентом (наприклад, стисненим гарячим повітрям, ...). Енергія від елементарних частинок сировини, що розташовані безпосередньо біля вібруючої поверхні, передається в глибину віброкип'ячого шару завдяки співору їх між собою. При цьому завдяки непружності елементарних частинок сировини та проковзуванню їх у разі ударів неминучі втрати в переданій енергії. Від величини втрат істотно 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 у разі створення великогабаритних адаптивних вібраційних технологічних

машин (АВТМ) та керування динамічними параметрами віброприводу робочого органа з метою забезпечення заданого технологічно оптимального вібраційного впливу на оброблюване середовище.

Аналіз останніх досліджень. Залежно від типу технологічного процесу, що інтенсифікується чи реалізується за допомогою вібрації в адаптивних вібраційних технологічних машинах, застосовують різні критерії для оптимізації та керування динамічними параметрами робочого органа. 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'ємним віброобразивним обробленням 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 органа на резонансній робочій частоті. Проте для АВТМ із великим об'ємами робочих камер (бункерів) цей метод стабілізації динамічних параметрів вібраційного поля робочого органа не є ефективним, тому що у великому об'ємі оброблюваного середовища (завантаження) відбуваються значні втрати енергії в процесі проходження імпульсу від робочого органа в глибину шару сипкого середовища.

Мета роботи. Розробити метод керування динамічними параметрами робочого органа 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 органа адаптивних вібраційних технологічних машин, залежить від багатьох фізико-хімічних властивостей сипкого матеріалу і від того, чи діють на нього лише вібраційним впливом чи паралельно із вібраційним впливом застосовують подавання через шар розрізжувального агенту (наприклад: гарячого повітря, ...). У роботі [2] показано, що із збільшенням відстані від дна робочого органа адаптивної вібромашини коефіцієнт вібров'язкості зростає, а рухомість частинок сипкого матеріалу падає. І в такому випадку δ глибина проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу визначається таким 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 сипкому матеріалу, що є в робочому органі АВТМ; S – площа поверхні робочого органа, яка передає коливання сипкому матеріалу; ρ – середня густина сипкого матеріалу, що знаходиться в робочому органі АВТМ; A_d – дійсна амплітуда коливань робочого органа АВТМ; ω_d – дійсна частота коливань робочого органа АВТМ.

Аналізуючи вираз (1), можемо побачити, що зниженням частоти коливань робочого органа в адаптивних вібраційних технологічних машинах призводить до збільшення величина зони проникнення вібрації в шар сипкого матеріалу. Основною ознакою адаптивних вібраційних технологічних машин є відслідковування зміни приведеної маси [8–10] $\pm \Delta M$ коливної системи вібромашини та постійне автоматичне підстроювання частоти ω_p коливань циклічної вимушувальної сили дебалансного віброприводу до власної резонансної частоти коливної механічної системи АВТМ. Завдяки постійній автоматичній корекції ω_p АВТМ завжди працює в енергоощадному резонансному режимі. Зміна висоти шару $\pm \Delta H$ сипкого матеріалу на робочому органі адаптивної вібраційної технологічної машини або зміна густини, вологості, неоднорідності чи будь-яких

інших фізико-хімічних властивостей сипкого 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 вимушувальної сили ω_p , а це буде причиною зміни δ , глибина проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу. Хаотична зміна глибини проникнення δ низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу негативно впливатиме на параметри віброкип'ячого середовища із сипкого матеріалу (наприклад: якість віброперемішування, час віброперемішування, продуктивність технологічної лінії, ...) та інші технологічні процеси, що реалізуються чи інтенсифікуються за допомогою вібрації (наприклад [11]: віброосушання, віброохолодження, віброущільнення, віброзміцнення (підвищення мікротвердості, створення залишкових напружень), віброочищення (очищення заготовок і деталей від окалини, корозії, нагару), ...). Для того, щоб глибина проникнення δ низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу залишилась на попередньому рівні необхідно корегувати дійсну амплітуду A_d коливань робочого органа АВТМ зміною амплітуди $\pm \Delta F$ циклічної вимушувальної сили $F \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$, котра передається робочому органу вібромашини.

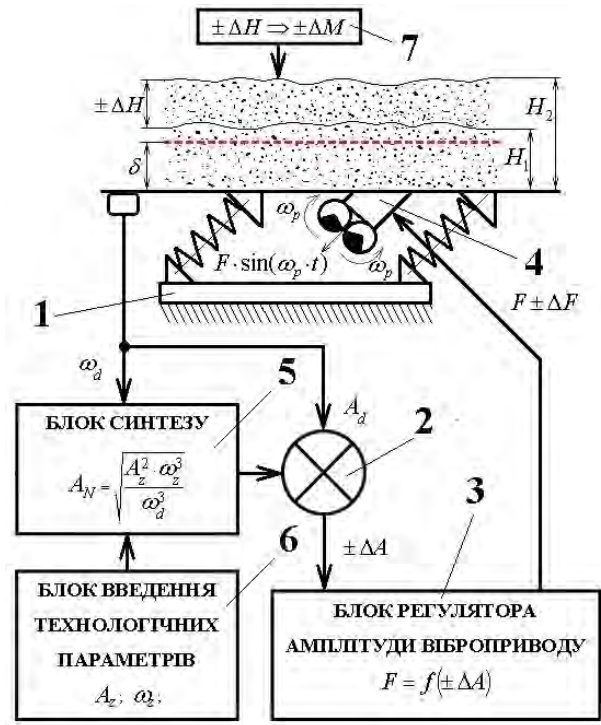


Рис. 1. Метод стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань у шари сипкого матеріалу

На рис. 1 зображено функціональну схему запропонованого методу стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань у шари сипкого матеріалу. На адаптивну вібраційну технологічну машину 1 діє $\pm \Delta M$ параметричне збурення 7, що може бути обумовлене зміною висоти шару $\pm \Delta H$ сипкого матеріалу на робочому органі адаптивної вібраційної технологічної машини або зміною густини, вологості, неоднорідності чи будь-яких інших фізико-хімічних властивостей сипкого 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 блока синтезу 5 надходить на блок порівняння 2, а з виходу блока порівняння 2 надходить у блок регулятора амплітуди віброприводу 3 і з його виходу надходить на вібропривод 4, що приводить у рух адаптивну вібраційну технологічну машину 1.

Принцип роботи запропонованого методу стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого 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 вимушувальної сили дебалансного віброприводу 4, відбувається підтримування постійного резонансного режиму роботи. Унаслідок чого ω_d дійсна частота коливань робочого органа АВТМ постійно змінюється (плаває) і як наслідок при сталій (незмінній) амплітуді циклічної вимушувальної сили дебалансного віброприводу 4 плаватиме (змінюватиметься) A_d дійсна амплітуда коливань робочого органа АВТМ. Відповідно до виразу (1)

в часі постійно змінюватиметься і глибина проникнення δ низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу, що негативно впливатиме на технологічні процеси, які реалізовуватиме адаптивна вібромашина 1. Постійна зміна глибини проникнення δ низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу протягом циклу технологічного віброоброблення 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, у шар сипкого матеріалу відносно довільної робочої частоти адаптивної вібромащини 1, необхідно відштовхуватися від заданої глибини проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу, яка є оптимальною з технологічного погляду для конкретного вібропроцесу із певними фізико-хімічними властивостями сипкого матеріалу. Задана δ глибина проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу визначатиметься технологічно оптимальними динамічними параметрами робочого органа A_z заданою амплітудою коливань робочого органа АВТМ 1 та ω_z заданою частотою коливань робочого органа АВТМ 1. Задані технологічно оптимальні динамічні параметри робочого органа АВТМ 1 через блок 6 введення технологічних параметрів надходять у блок синтезу 5. У блоці синтезу 5 на основі інформації від АВТМ 1 про дійсну A_d амплітуду коливань робочого органа АВТМ 1 та ω_d дійсну частоту коливань робочого органа АВТМ 1 порівнюють задану δ глибину проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу із дійсною δ глибиною проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу.

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

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

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

У блоці порівняння 2 порівнюють дійсну A_d амплітуду коливань робочого органа АВТМ 1 A_N з необхідною амплітудою коливань робочого органа АВТМ 1. Безпосередньо за модулем та знаками порівняння $\pm \Delta A$ можна судити наскільки і в який бік необхідно корегувати амплітуду циклічної вимушувальної сили дебалансного віброприводу 4, щоб δ глибиною проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу залишалась незмінною при кожному конкретному значенні ω_d дійсної частоти коливань робочого органа АВТМ 1. На основі величини та знака параметра $\pm \Delta A$ блок регулятора амплітуди віброприводу 3 проводить зміну кута [13] між дебалансами віброприводу 4, корегуючи амплітуду його циклічної вимушувальної сили. Реалізація автоматичного контуру керування динамічними параметрами керованого дебалансного віброприводу на основі виразу (3) дає змогу розширити технологічні можливості адаптивних вібраційних машин за рахунок стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу.

Висновки. Запропонований метод стабілізації глибини проникнення низькочастотних коливань у шар сипкого матеріалу дає змогу оптимізувати динамічні параметри віброкип'ячого середовища із сипкого матеріалу в технологічних процесах, що реалізуються чи інтенсифікуються за допомогою вібрації. Оптимізація динамічних параметрів сипкого віброкип'ячого

середовища за критерієм розповсюдження вібрації в шарах дозволяє забезпечити стабільність протягом технологічного циклу віброоброблення (наприклад: віброосушіння, віброохолодження, віброущільнення, віброзміцнення (підвищення мікротвердості, створення залишкових напружень), віброочищення (очищення заготовок и деталей від окалини, корозії, нагару), ...) таких технологічних параметрів адаптивної вібраційної технологічної машини, як: якість віброперемішування, час віброперемішування та продуктивність технологічної лінії.

1. Членов В. А. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / Членов В. А., Михайлов Н. В. – М.: Стройиздат, 1967. – 224 с. 2. Членов В. А. Виброкипящий слой / Членов В. А., Михайлов Н. В. – М.: Наука, 1972. – 341 с. 3. Блинов А. В. Внешний теплообмен и гидродинамика виброкипящего слоя со свободно плавающими телами: дисс. ... канд. техн. наук / Блинов А. В. – 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. Серета 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 / Зеленцов Л. К // 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 / Франчук В.П. – Днепропетровск: 1982. – 40 с. 10. Блехман И. И. Вибрационная механика / Блехман И. И. – М.: Физматлит, 1994. 400 с. (англ. перевод: Blekhtan I. I. *Vibrational Mechanics. (Nonlinear Dynamic Effects, General Approach, Applications)*. Singapore et al: World Scientific Publishing Co., 2000. 510 p.). 11. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А. П., Бабичев И. А. – Ростов н/Д: Изд. центр ДГТУ. 1999. – 621 с. 12. Пат. 87776 A Україна, B65B G27/00. Спосіб керування роботою адаптивних вібраційних технологічних машин. Серета 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.