



Чубик Р. В.

*Дрогобицький
державний
педагогічний
університет*

Ярошенко Л. В.

Омельянов О. М.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

УДК 62-521:62-868:62-531.7

ІНДЕТИФІКАЦІЯ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ

Предложен метод стабилизации скорости горизонтальной вибротранспортировки в адаптивных вибрационных технологических машинах, позволяющий постоянно поддерживать технологически оптимальные параметры вибрационного поля в процессе изменения массы загрузки рабочего органа при минимальных затратах энергии на вибрационный привод.

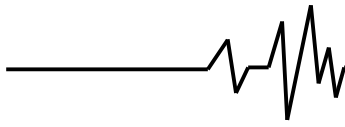
The method of stabilizing of speed of the horizontal vibrotransporting is offered in adaptive oscillation technological machines, that allows constantly to support technologically the optimum parameters of the oscillation field in the process of change of mass of load of working organ at the minimum expenses of energy on an oscillation occasion.

Постановка проблеми. Основні вимоги вібротранспортування матеріалу у адаптивних технологічних машинах (апаратах) з віброкипучим шаром корінним чином відрізняються від вимог, що ставляться до вібротранспортерів. При створенні вібротранспортера намагаються отримати максимальне заповнення робочого органу (лотка) сипучим матеріалом та максимальну швидкість вібротранспортування. У адаптивних вібромашинах із віброкипучим шаром у багатьох випадках навпаки, намагаються зменшити швидкість вібротранспортування для того, щоб забезпечити за один прохід через віброустановку завершення всіх технологічних процесів. Висота шару сипучого матеріалу також не повинна бути дуже великою, бо це знизить кратність виходу частинок на поверхню сипучого матеріалу та час перебування (контакту) їх із нагрівачем (чи під іншим технологічним впливом), що призведе до зменшення питомої інтенсивності технологічного процесу по відношенню до об'єму шару сипучого матеріалу. Дуже важливо у адаптивних технологічних машинах (апаратах) з віброкипучим шаром забезпечити рівномірне перебування окремих частинок в зонах із різними технологічними характеристиками (параметрами) впливу на сипучий матеріал, а це не входить в задачу тільки вібропереміщення. Тому при створенні

адаптивних технологічних машин (апаратів) з віброкипучим шаром доводиться вирішувати задачу по стабілізації швидкості вібропереміщення частинок сипучого матеріалу.

Аналіз останніх досліджень. Відомо багато вібромашин, що реалізовані на основі вібраційного переміщення сипучого матеріалу, зокрема відомих закордонних виробників таких як Venanzetti Vibrazioni (Італія) (рис. 1), Comessa (Франція), Allis Chalmers (США), що реалізують цілу гаму технологічних процесів. Відомі вібромашини із поділом робочого органу на зони (секції), наприклад призначені для вібротранспортування глютаміну натрію в закритій інертній атмосфері завдяки тому, що над віброкипучим шаром знаходиться азот під незначним надлишковим тиском. Відомі вібраційні технологічні машини для зневоднення синтетичних матеріалів зокрема поліетилену, що мають робочий орган, який розділений на зони з незалежним керуванням температурою та одночасним керуванням напрямом та швидкістю газу, що продувається через віброкипучий шар сипучого матеріалу, який вібротранспортується через зони робочого органу. Загальна довжина робочого органу таких вібромашин може сягати до 25 м [1].

Відомі вібраційні технологічні вібромашини із зонним керуванням температурою газу яким продувається



віброкипучий шар, що застосовуються для вібраційного охолодження полідисперсних матеріалів. Прикладом такого матеріалу є цементний клінкер початкова температура, якого сягає 1300 °С, а на виході із вібромашини 100 °С. Розмір клінкера після обпалу в обертових печах складає від декількох до 150 мікрон. Створити віброкипуче середовище із них є неможливим, тому для охолодження клінкеру проводять його класифікацію та подрібнення у гарячому стані. Нестабільний фракційний склад на виході обертових печей потребує [1] складного регулювання аеродинамічного режиму вібраційного холодильника.



Рис. 1. Вібромашина фірми Venanzetti Vibrazioni із роздільним позонним керуванням температурою газу у камерах робочого органу

Постановка задачі. Розробити метод стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування робочим органом сипучих матеріалів в адаптивних вібраційних технологічних машинах для забезпечення точності дотримання оптимальних параметрів заданого технологічного процесу.

Виклад основного матеріалу. Такий метод стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах базується на забезпеченні рівності (стабільності) в часі середньої швидкості вібротранспортування $V_{сеп}$ [1, 2] при будь-якому завантаженні робочого органу на робочій (власній резонансній) частоті вібромашини:

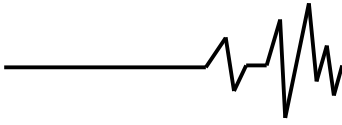
$$V_{сеп} = k \cdot A_z \cdot \omega_z \cdot \cos(\beta) \cdot \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot \cos^2(\alpha)}{A_z^2 \cdot \omega_z^4 \cdot \sin^2(\beta)}} \quad (1)$$

де ω_z та A_z задані технологічно оптимальні параметри вібраційного поля адаптивної вібраційної технологічної машини (кутова швидкість та амплітуда коливань), α – кут нахилу до горизонту робочого органу адаптивної вібраційної технологічної машини, β – кут напряму коливань робочого органу адаптивної вібраційної технологічної машини до горизонту; $\frac{A_z \cdot \omega_z^2 \cdot \sin(\beta)}{g \cdot \cos(\alpha)}$ – коефіцієнт

перевантаження (режиму), k – довідковий коефіцієнт, що залежить від характеристик транспортованого матеріалу.

Даний метод дозволяє постійно підтримувати резонансний режим роботи АВТМ завдяки корекції ω_d , а при резонансній частоті АВТМ проводиться стабілізація швидкості горизонтального вібротранспортування шляхом корекції амплітуди коливань робочого органу A_d , що забезпечує мінімальні енергозатрати на вібропривод при незмінному оптимальному значенні технологічних параметрів АВТМ.

На рис. 2 зображено функціональну схему запропонованого методу стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах. На адаптивну вібраційну технологічну машину 1 діє параметричне збурення 7, робочий орган 9 якої поділено на кілька технологічних зон (А, В, С, ...), що відрізняються технологічними умовами та параметрами впливу на сипучий матеріал (потужністю інфрачервоного випромінювання для нагрівання віброкипучого шару, температурою газу 8, яка різна для кожної зони, або іншого технологічного реагенту яким обробляється сипучий матеріал при реалізації певної технології). Адаптивна вібраційна технологічна машина 1 з'єднана із блоком порівняння 2 та блоком синтезу 5, що з'єднаний із блоком 6 введення технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля. Сигнал з виходу блоку синтезу 5 поступає на блок порівняння 2, а з виходу блока порівняння 2 надходить у регулятор амплітуди збурюючої циклічної сили 3 і з його виходу поступає на вібропривод 4, що приводить у рух АВТМ 1. За допомогою блоку 6 проводиться ввід заданого технологічно оптимального значення швидкості вібротранспортування $V_{сеп}$ шляхом введення заданих динамічних параметрів 9 робочого органу ω_z , A_z АВТМ 1 та геометричних характеристик адаптивної вібромашини α , β . Швидкість вібропереміщення та характер траєкторії частинок транспортованого сипкого середовища залежать від параметрів вібраційного впливу [1, 2], зокрема кутів



напряму коливань β (в середньому даний кут у вібромашинах складає від $\beta = 18-70^\circ$, збільшення кута напряму коливань знижує швидкість вібротранспортування і покращує перемішування частинок у шарі сипучого матеріалу) та нахилу робочого органу α ($\alpha = 0^\circ$ для вказаного на рис. 2 випадку, а у багатьох вібромашинах він зазвичай складає $\alpha = 8-10^\circ$, зазвичай підйом робочого органу на один градус зменшує швидкість вібротранспортування для зернистих матеріалів на 2-5 %, а при зменшенні на один градус – збільшується на 3-10%), фізичних властивостей матеріалу, висоти шару сипучого матеріалу, напряму та швидкості руху газу $V_{газу}$, 8 (або іншого технологічного реагенту) яким обробляється сипучий матеріал та ще ряду факторів, що безпосередньо залежать від типу технології, що реалізується у даній вібромашині. Для вібромашини із подачею газу під транспортований сипучий матеріал в роботі [1] наведено дані експериментальних досліджень промислових віброосушарок, де встановлено, що швидкість вібротранспортування $V_{вібро+газ}$ сипучого матеріалу при одночасній подачі газу під його шар визначається емпіричною залежністю:

$$V_{вібро+газ} = V_{сеп} \cdot \left[2.4 + (V_{газу}/V_{кр})^{1.7} \right] \quad (2)$$

де $V_{газу}$ – швидкість газу, яка рівна його витраті віднесеній до площі газорозподільної решітки, $V_{кр}$ – швидкість початку псевдозрідження шару сипучого матеріалу.

Враховуючи той факт, що площі газорозподільних решіток та розхід газу в кожній зоні однакові, то швидкість вібротранспортування $V_{вібро+газ}$ сипучого матеріалу при одночасній подачі газу під його шар буде визначатися тільки геометричними розмірами самого робочого органу та його динамічними параметрами – тобто $V_{сеп}$. Тому у вібромашинах, що застосовують для реалізації чи інтенсифікації певних технологічних процесів горизонтальне вібропереміщення, стабілізацію технологічно оптимальних параметрів можна проводити або зміною геометричних параметрів (ω_z , A_z) або зміною (α , β) динамічних параметрів робочого органу 9. Зміна геометричних параметрів ВТМ не є завжди можливою та зручною через те, що ВТМ в процесі реалізації певної технології пов'язана з іншими допоміжними вібромашинами.

Оптимальною є активна зміна динаміки робочого органу 9 адаптивної вібраційної технологічної машини 1. При дії на АВТМ 1 параметричного збурення 7 (зміна маси

завантаження робочого органу $\pm \Delta M$), змінюється власна резонансна частота АВТМ 1, що призводить до зміни амплітуди коливань робочого органу АВТМ 1, яка зумовлена зміщенням амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) АВТМ по осі частот у ту чи іншу сторону залежно від напряму зміни параметричного збурення 7 ($\pm \Delta M$). Для корекції АЧХ застосовується зміна частоти циклічної вимушуючої сили віброприводу з метою забезпечення постійного резонансного режиму роботи АВТМ, у результаті чого виникає зміна технологічно оптимального параметрів вібраційного поля, на сам перед частоти, із заданої ω_z на нову дійсну ω_d власну резонансну частоту АВТМ 1. Враховуючи нову власну резонансну частоту АВТМ 1 ω_d та технологічно оптимальні параметри вібраційного поля АВТМ ω_z та A_z в блоці синтезу 5 проходить розрахунок необхідного значення амплітуди коливань робочого органу АВТМ A_N при новій дійсній власній резонансній частоті АВТМ ω_d так, щоб оптимальне значення швидкості вібротранспортування $V_{сеп}$ залишилось незмінним при новому дійсному значенні ω_d власної резонансної частоти АВТМ 1. Тобто в блоці синтезу 5 проходить визначення необхідного значення амплітуди коливань робочого органу АВТМ A_N виходячи із рівності:

$$\begin{aligned} k \cdot A_z \cdot \omega_z \cdot \cos(\beta) \cdot \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot \cos^2(\alpha)}{A_z^2 \cdot \omega_z^4 \cdot \sin^2(\beta)}} = \\ = k \cdot A_N \cdot \omega_d \cdot \cos(\beta) \cdot \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot \cos^2(\alpha)}{A_N^2 \cdot \omega_d^4 \cdot \sin^2(\beta)}} \end{aligned}$$

Необхідне значення амплітуди коливань робочого органу A_N , яке забезпечує задане технологічно оптимальне значення швидкості вібротранспортування $V_{сеп}$ при даній масі завантаження робочого органу поступає на блок порівняння 2. У блоці порівняння 2 проходить порівняння необхідного значення A_N амплітуди коливань робочого органу та дійсного значення амплітуди коливань робочого органу A_d і значення необхідної різниці амплітуд коливань робочого органу $\pm \Delta A$ подається на регулятор амплітуди збурюючої циклічної сили 3, де на підставі величини похибки $\pm \Delta A$ та розроблених оптимальних законів керування формується керуючий сигнал на вібропривод 4. Вібропривод 4 змінює значення амплітуди циклічної вимушуючої сили віброприводу в необхідну сторону та на необхідну величину $\pm \Delta \sqrt{F}$ і діє на АВТМ 1.

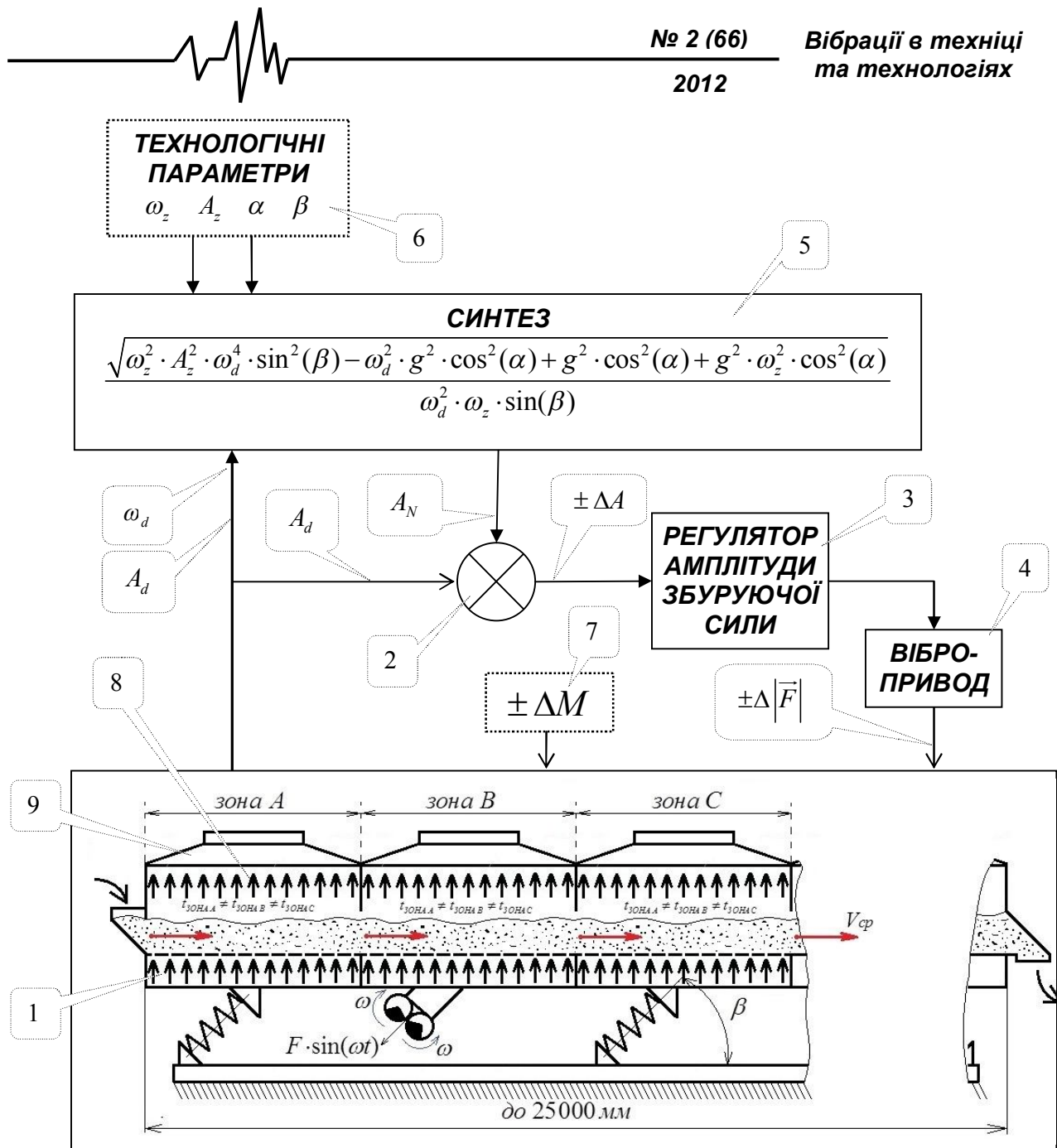


Рис. 2. Функціональна схема методу стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах

Висновок. В результаті зворотного зв'язку по ω_d та A_d даний метод стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах дозволяє постійно підтримувати технологічно оптимальні параметри вібраційного поля в процесі зміни маси завантаження робочого органу при мінімальних енергозатратах на вібропривод.

Література

1. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. – М.: Наука, 1972. – 341 с.
2. Ланець О. С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): Монографія. – Львів: Видавництво НУ "Львівська політехніка", 2008. – 324 с.