

Чубик Р. В.

*Дрогобицький
державний
педагогічний
університет*

Ярошенко Л. В.

Омельянов О. М.

Омельянов М. О.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

УДК 62-521:62-868:62-531.7

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КРИТЕРІЮ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІБРОТРАНСПОРТУВАННЯ В АДАПТИВНИХ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Предложен метод повышения точности соблюдения технологических режимов работы резонансных адаптивных спиралеподобных вибрационных технологических машин, определенно критерий для оптимизации их работы и разработан метод стабилизации заданных оптимальных параметров вибрационного поля спиралеподобного рабочего органа при его резонансной частоте работы.

The method of increase of exactness of observance of the technological modes of operations of resonance adaptive oscillation technological machines is offered, certainly criterion for optimization of their work and the method of stabilizing of optimum preset the parameter of the oscillation field of working organ is developed at his resonance frequency of work.

Постановка проблеми. Адаптивні спіралеподібні вібромашини в сучасній промисловості водночас із задачами переміщення (транспортування) сипучого матеріалу реалізують також і різні технологічні задачі, зокрема такі як, охолодження (гранул пластику, гранул поліхлорвінілу, гранул полімерів, гумового прокату, мучних виробів, зварювального порошку, активованого вугілля, оксиду заліза, малих металічних деталей,...), відпал (гранул пластику, ...), сушка (порошкового молока, лимонної кислоти, солей металів (хлористий алюміній, бікарбонат натрію), кальцинування каталізаторів, вилуджування, екстрагування, полімеризації (пластмасових виробів). Основною перевагою спіралеподібних вібромашин є те, що використовуючи невелику площу в технологічному приміщенні (цеху) можна отримати достатньо велику площу теплообміну за допомогою значної довжини траси транспортування та часу знаходження в ній сипучого матеріалу. Наприклад обладнання німецької фірми Vibra Schnultneis дозволяє при

стандартному зовнішньому діаметрі до 1400 мм та висоті вібропідйому матеріалу до 8 м, отримати площу теплообміну до 40 м² із продуктивністю до 5000 кг/год. Підвищення інтенсивності технологічних процесів, що реалізуються у спіралеподібних лотках адаптивних вібромашин вимагає зменшення розміру частинок реагуючих матеріалів. В процесі реалізації певного технологічного процесу (відпалу, охолодження, сушки) якість кінцевого продукту визначатиметься кількісним впливом технологічних факторів (тепла, холоду, ...) протягом заданого часу перебування сипучої сировини у спіралеподібному робочому органі зокрема у його зонах (певних витках спіралі) із різними кількісними параметрами впливу технологічних факторів на сипучий матеріал, що вібротранспортується по витках в гору адаптивною вібраційною технологічною машиною (АВТМ). При заданому оптимальному часі реалізації певного технологічного процесу параметром, що впливає на якість кінцевої продукції є швидкість вертикального



вібротранспортування сипучого матеріалу у спіралеподібній адаптивній вібромашині. Зміна швидкості вертикального вібротранспортування буде причиною або надлишкового перебування сипучого матеріалу в зоні із заданим градієнтом тепло-масообміну або сипучий матеріал дуже швидко пройде крізь визначені зони із технологічно оптимальними параметрами тепло-масообміну. Із чого випливає, що зміна швидкості вертикального вібротранспортування адаптивними спіралеподібними вібромашинами негативно впливає на реалізацію заданого технологічного процесу та кінцеву якість продукції.

Аналіз останніх досліджень. Наведені в роботі [1] експериментальні дані свідчать, що швидкість вертикального вібротранспортування у резонансних спіралеподібних вібромашинах визначається не тільки масовими характеристиками сипучого матеріалу, що знаходиться безпосередньо в спіралі робочого органу, але й фізичними властивостями сипучих матеріалів. Наприклад збільшення вологості лактози від 0 до 14% сприяє

збільшення швидкості вертикального вібротранспортування по спіралеподібних лотках. Збільшення вологості цукру до 12 % також сприяє зростанню даної швидкості, а зростання вологості цукру від 16 до 18 % суттєво знижує швидкість вертикального вібротранспортування по спіралеподібних лотках у вібромашині. Вертикальне транспортування матеріалу в спіралеподібному лотку вібромашин має цілий ряд особливостей, наприклад в роботі [1] показано, що для вібротранспортування цементу із розміром частинок 0,05 мм існують оптимальні параметри вібрації, нижче і вище яких вібропереміщення припиняється. Із урахуванням специфіки сипучої сировини її фізико-механічних параметрів та типу реалізованої технології провідними виробниками (Vibra schultheis (Німеччина), Jost (Німеччина), Banyagyutacsgyar (Угорщина), Venanzetti Vibrazioni (Італія), Comessa (Франція), Sinex (Франція),) розроблено цілий ряд (рис. 1.) конструкцій спіралеподібних вібромашин.

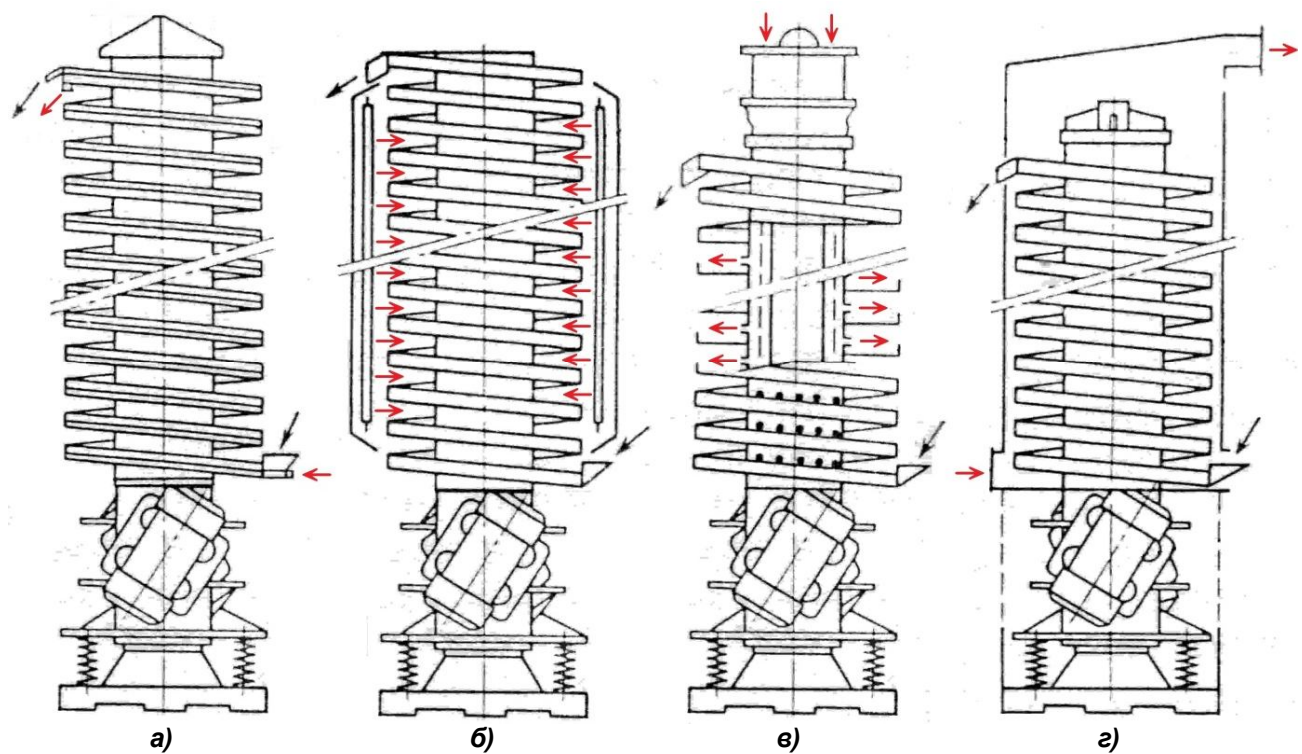
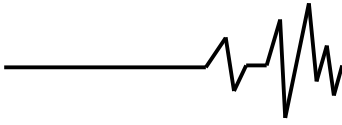


Рис. 1. Варіанти конструктивних рішень спіралеподібних вібраційних технологічних машин

На рис. 1 зображено конструктивні рішення *а)* та *з)* у яких температурний градієнт теплоносія (газу, рідини) в робочому органі спіралеподібної вібраційної технологічної машини змінюється протягом всього шляху вібротранспортування сипучого матеріалу.

Конструктивні рішення *б)* та *в)* навпаки забезпечують стабільність в часі величини температурного градієнту теплоносія (у випадку із конструкцією *б)* це інфрачервоні промені) протягом всього шляху вібротранспортування сипучого матеріалу. Аналіз сучасних



технологічних процесів показує, що існує ще і третій тип спіралеподібних вібраційних технологічних машин, де є технологічно зумовлена необхідність забезпечувати на різних ділянках шляху вібротранспортування (спіралного робочого органу) задані чітко визначені технологічно оптимальні параметри зовнішнього температурного впливу. Приклад такої спіралеподібної вібраційної технологічної машини зображено на рис. 2. Дана спіралеподібна вібраційна технологічна машина 5 та вібросепаратор 2 приводяться в дію дебалансним віброприводом 1. Заданий температурний режим охолодження у спіралеподібній вібраційній технологічній машині 1 забезпечується дроселями 4, які збільшують або зменшують кількість холодного теплоносія що поступає від мережі 3, і проходить крізь задані витки спіралеподібного робочого органу вібромашини. Чим більша швидкість руху теплоносія по витку спіраль (декількох витках) тим інтенсивніший теплообмін між сипучим матеріалом та теплоносієм і в нашому випадку інтенсивніший процес охолодження. Для технологічних процесів, що реалізуються у спіралеподібних робочих органах резонансних вібромашин при сталих оптимальних параметрах тепло-масообміну в робочому органі важливим фактором, що впливає на якість технологічного процесу є швидкість вертикального транспортування сипучого матеріалу в спіралеподібному робочому органі. Для конструктивних рішень рис. 1 а) та в) де температурний градієнт теплоносія (газу, рідини) в робочому органі спіралеподібної вібраційної технологічної машини плавно змінюється протягом всього шляху вібротранспортування сипучого матеріалу, зміна швидкості вертикального вібротранспортування за час технологічного циклу обробки буде причиною неповного або надлишкового впливу температурного градієнту на сировину. Для конструктивних рішень рис. 1 б) та в), що забезпечують стабільність в часі величини температурного градієнту теплоносія протягом всього шляху вібротранспортування сипучого матеріалу зміна вертикальної швидкості вібротранспортування протягом заданого циклу обробки буде мати, ще згубніший вплив. Це зумовлюється тим, що при надлишковому часі перебування елементарної частинки сипучого матеріалу в спіралеподібному робочому органі протягом всього надлишкового часу на неї діє сталий

температурний градієнт, а у першому випадку температурний градієнт зменшується в міру наближення елементарної частинки сипучого матеріалу до виходу із спіралеподібного робочого органу. У тих спіралеподібних вібромашинах де є технологічно зумовлена необхідність забезпечувати на різних ділянках шляху вібротранспортування задані чітко визначені технологічно оптимальні параметри зовнішнього температурного впливу зміна швидкості вертикального вібротранспортування протягом заданого часу технологічного циклу буде причиною відхилення від технології та псування кінцевої продукції.

Постановка задачі. Для підвищення точності дотримання технологічних режимів роботи резонансними адаптивними спіралеподібними вібраційними технологічними машинами визначити критерій для оптимізації їх роботи та на його основі розробити метод стабілізації оптимальних технологічних параметрів вібраційного поля спіралеподібного робочого органу при його резонансній частоті роботи.

Виклад основного матеріалу. Метод стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних спіралеподібних вібраційних технологічних машинах (АСВТМ) базується на забезпеченні рівності (стабільності) в часі середньої швидкості вібротранспортування V_{cep} [6] (1) при будь якому завантаженні робочого органу на робочій (власній резонансній) частоті адаптивної спіралеподібної вібромашини.

$$V_{cep} = k \cdot A_z \cdot \omega_z \cdot \cos(\beta) \quad (1)$$

де k - довідковий коефіцієнт, що залежить від характеристик транспортованого матеріалу, β - кут підйому гвинтової лінії (при $\beta = 5 \dots 8^\circ$ складає відповідно $k = 0.53 \dots 0.73$). Даний метод дозволяє постійно підтримувати резонансний режим роботи спіралеподібної АВТМ завдяки корекції ω_d , а при резонансній частоті коливної механічної системи АСВТМ проводиться стабілізація швидкості вертикального вібротранспортування шляхом корекції амплітуди коливань спіралеподібного робочого органу A_d , що забезпечує мінімальні енергозатрати на вібропривод при незмінному оптимальному значенні технологічних параметрів АВТМ.

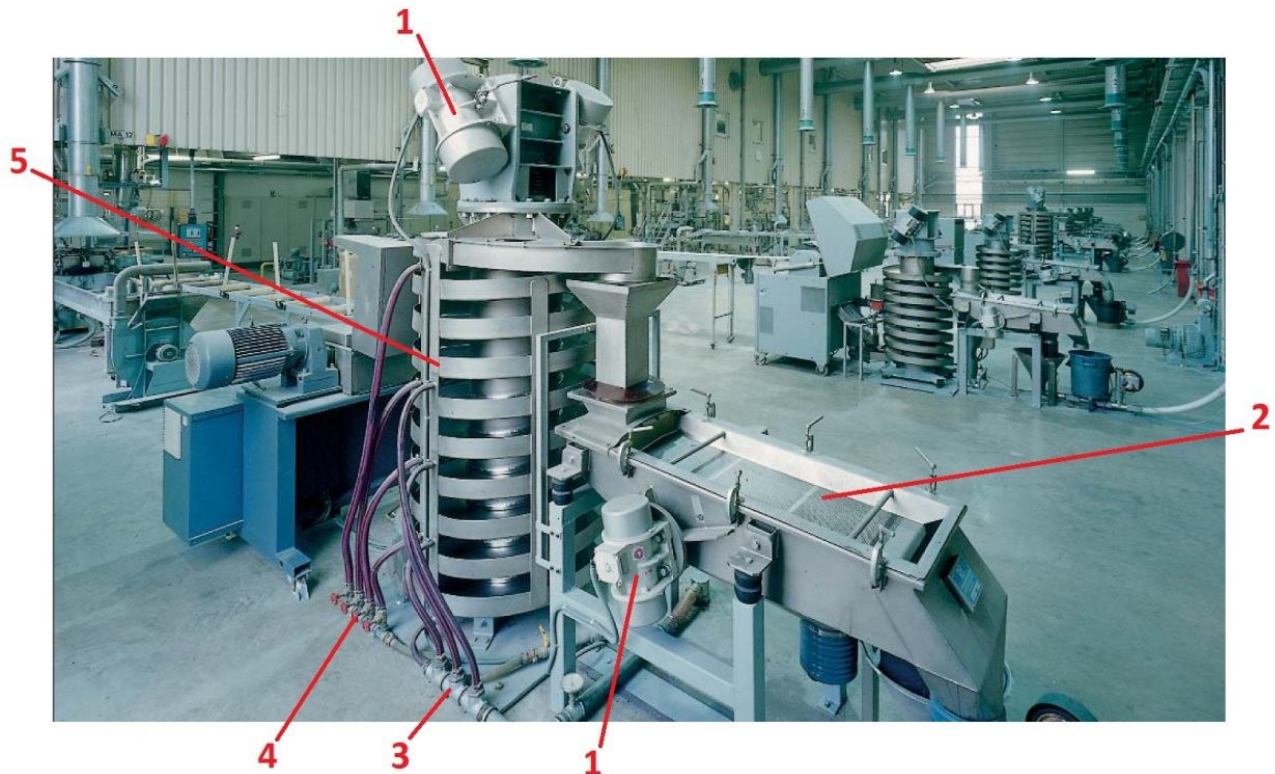
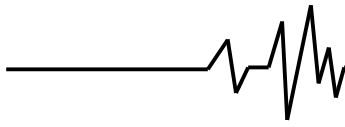


Рис. 2. Вібраційні технологічні машини фірми Vibra schultheis для безперервного охолодження та сепарації пластикових гранул: 1 – вібропривод; 2 – вібросепаратор; 3 – мережа подачі теплоносія; 4 – дроселі; 5 – спіралеподібна вібраційна технологічна машина

На рис. 3 зображено функціональну схему системи стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних спіралеподібних вібраційних технологічних машинах. На резонансну адаптивну спіралеподібну вібраційну технологічну машину АСВТМ 1 діє параметричне збурення 7, спіралеподібний робочий орган 8 якої поділено на кілька технологічних зон (зона А, ..., зона G), що відрізняються технологічними умовами та параметрами впливу на сипучий матеріал (потужністю інфрачервоного випромінювання для нагрівання віброкипучого шару, або температурою газу, яка різна для кожної зони $t_{\text{зона А}} \neq \dots \neq t_{\text{зона G}}$, 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, який з'єднаний із блоком 6 введення (оптимальних) технологічних параметрів вібраційного поля. Сигнал з виходу блоку синтезу 5 поступає на блок порівняння 2, а з виходу блоку порівняння 2 надходить у регулятор амплітуди збурюючої

циклічної сили 3 і з його виходу поступає на вібропривод 4, що приводить у рух АСВТМ 1.

Метод стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах полягає у наступному. При дії на резонансну адаптивну спіралеподібну вібраційну технологічну машину 1 параметричного збурення 7 (зміна маси завантаження робочого органу $\pm \Delta M$), змінюється власна резонансна частота резонансної АСВТМ 1, що призводить до зміни амплітуди коливань спіралеподібного робочого органу 8 яка зумовлена зміщенням амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) АСВТМ по осі частот у ту чи іншу сторону залежно від напрямку зміни параметричного збурення 7 ($\pm \Delta M$). Для забезпечення резонансного режиму роботи застосовується зміна частоти циклічної вимуючої сили віброприводу з метою забезпечення постійного резонансного режиму роботи АСВТМ, у результаті чого виникає зміна технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля, амплітуди коливань робочого органу A_d та частоти (із заданої ω_z) на нову дійсну ω_d власну резонансну частоту АСВТМ 1.

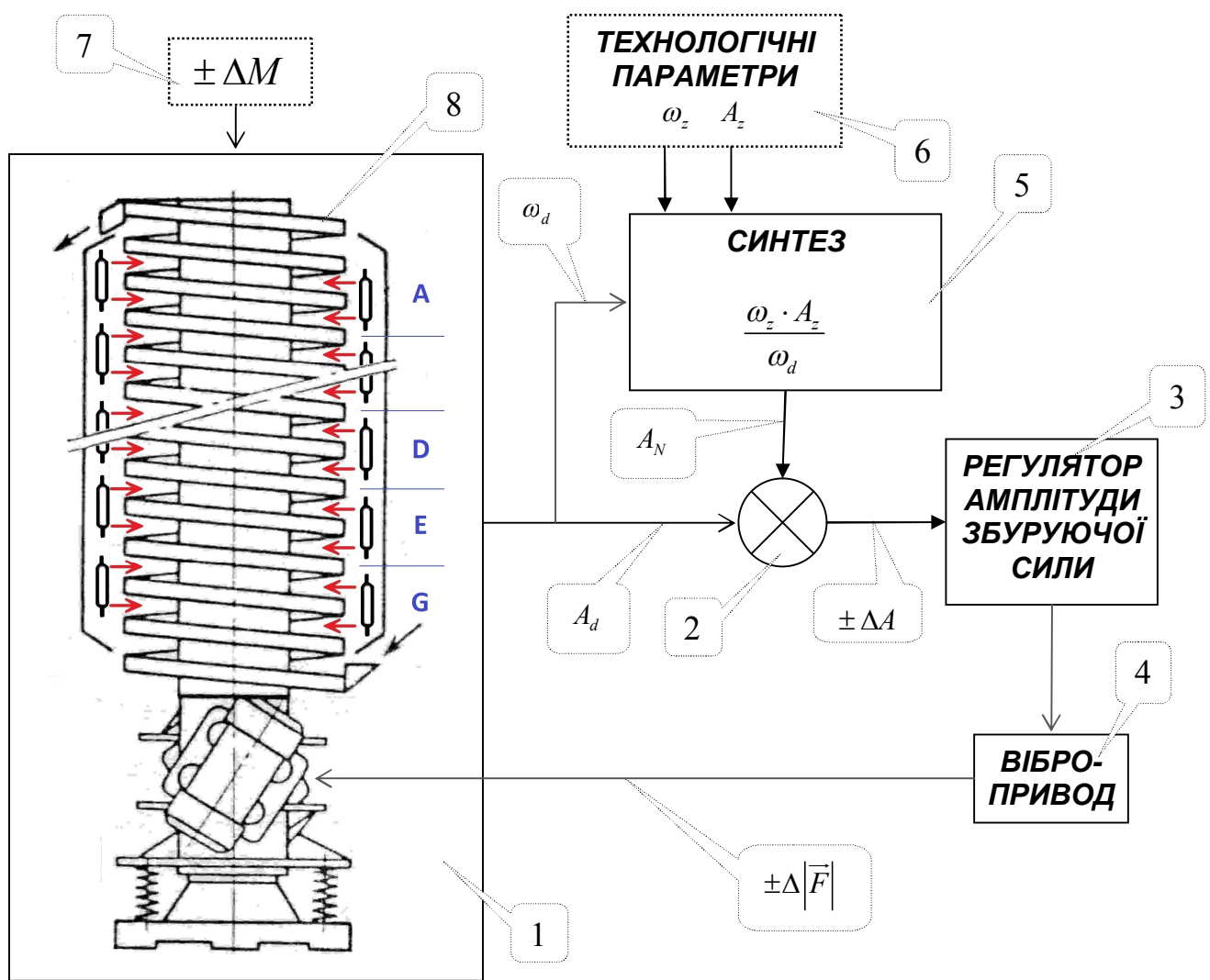
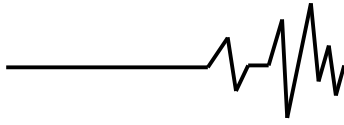


Рис. 3. Функціональна схема системи стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних спіралеподібних вібраційних технологічних машинах: 1 – адаптивна спіралеподібна вібраційна технологічна машина; 2 – блок порівняння; 3 – регулятор амплітуди збудуючої сили; 4 – вібропривод; 5 – блоку синтезу параметрів коливань; 6 – блок введення оптимальних технологічних параметрів коливань; 7 – параметричне збурення; 8 – спіралеподібний робочий орган

Технологічний процес у АСВТМ повинен відбуватися при наперед заданих параметрах коливань ω_z , A_z спіралеподібного робочого органу 8, що зумовить забезпечення оптимального часу перебування сипучого матеріалу в різних технологічних зонах (зона А, ..., зона G), що відрізняються технологічними умовами та параметрами впливу на сипучий матеріал (потужністю інфрачервоного випромінювання для нагрівання віброкипучого шару, або температурою газу котра різна для кожної зони $t_{зона А} \neq \dots \neq t_{зона G}$, або іншого технологічного реагенту яким обробляється сипучий матеріал при реалізації певної технології). Постійний в часі перехід на новий резонансний режим роботи вібромашини 1

зумовлює зміну заданої ω_z частоти роботи на нову дійсну ω_d власну резонансну частоту. Це може стати причиною того, що за певну одиницю часу коливна система буде здійснювати більше (або менше) коливань при новій амплітуді коливань A_d (яка не дорівнюватиме заданій). Як наслідок зміниться швидкість вертикального транспортування сипучого матеріалу і що головне зміниться час перебування сипучого матеріалу в заданих технологічних зонах (зона А, ..., зона G), що відрізняються технологічними умовами та параметрами впливу на сипучий матеріал. А це в свою чергу буде причиною порушення технології обробки сипучого матеріалу. Для стабілізації швидкості вертикального



транспортування сипучого матеріалу по спіралеподібному робочому органі 8 (на власній резонансній частоті АСВТМ 1) у блоці синтезу 5 постійно проводиться розрахунок нового необхідного значення A_N амплітуди коливань робочого органі 8 на основі дійсного значення амплітуди коливань робочого органі A_d та заданих через блок введення 6 оптимальних технологічних параметрів вібраційного поля ω_z , A_z . Розрахунок необхідного значення A_N амплітуди коливань робочого органі 8 при кожній новій дійсній ω_d власній резонансній частоті проводиться виходячи із умови:

$$V_{cep} = k \cdot A_z \cdot \omega_z \cdot \cos(\beta) = k \cdot A_N \cdot \omega_d \cdot \cos(\beta).$$

Тому в блоці синтезу 5 на основі виразу $A_N = (\omega_z \cdot A_z) / \omega_d$ постійно в часі розраховується необхідне значення A_N амплітуди коливань робочого органі 8 при кожній новій власній резонансній частоті коливань АСВТМ 1. Завдяки даному співвідношенню ($A_N = (\omega_z \cdot A_z) / \omega_d$) амплітуда A_N буде забезпечувати задану оптимальну швидкість вертикального транспортування сипучого матеріалу по спіралеподібному робочому органі 8 на довільній власній резонансній частоті коливань АСВТМ 1. Величина необхідного значення A_N амплітуди коливань спіралеподібного робочого органі 8 в блоці порівняння 2 порівнюється із дійсним A_d значенням амплітуди коливань спіралеподібного робочого органі 8. На виході блоку 2 отримуємо параметр $\pm \Delta A$ який вказує на напрям корекції та її величину (модуль). Величина необхідної корекції амплітуди коливань робочого органі $\pm \Delta A$ подається на регулятор амплітуди збуджуючої циклічної сили 3, де на підставі його знаку і величини $\pm \Delta A$ 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 $\pm \Delta \vec{F}$ і діє на АСВТМ 1 збуджуючи в ній коливання.

Даний метод стабілізації швидкості вертикального вібротранспортування в адаптивних спіралеподібних вібраційних технологічних машинах, в результаті зворотного зв'язку по ω_d та A_d дозволяє на власній резонансній частоті постійно

підтримувати технологічно оптимальні параметри вібраційного поля в процесі зміни маси завантаження спіралеподібного робочого органі адаптивних вібраційних технологічних машин.

Висновок. Для підвищення точності дотримання технологічних режимів роботи резонансними адаптивними спіралеподібними вібраційними технологічними машинами визначено критерій ($A_N = (\omega_z \cdot A_z) / \omega_d$) для оптимізації їх роботи та на його основі розроблено метод стабілізації заданих оптимальних технологічних параметрів вібраційного поля спіралеподібного робочого органі при його резонансній частоті роботи.

Література

1. Спосіб керування роботою машини із коливними рухами робочих органів. Пат. 10971 А Україна, В65ВG27/24. П. С. Берник, Р. В. Чубик, В. А. Пашистий. (Україна). - № 200502375; Опубл. 15.12.2005; Бюл. № 12, 4 ст.
2. Патент № 92041 А Україна, В65G27/100. Спосіб стабілізації технологічно оптимальних параметрів вібраційного поля адаптивних вібраційних технологічних машин. *Середа Л.П., Чубик Р.В., Ярошенко Л.В.* (Україна). - № а200806209; Опубл. 27.09.2010; Бюл. № 18, 3 ст.
3. Сергеев А. П. Исследование процесса обработки, механизация и автоматизация вспомогательных работ на машинах для объемной вибрационной обработки // Механизация процес-са снятия заусенцев. МДНТП. - М.: 1966. - С.74-85.
4. Сердюк Л. И., Давыденко Ю. А., Осина Л. М. Различные подходы к оценке динамических, энергетических и технологических возможностей вибрационных машин // Вибрации в технике и технологиях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2004. - № 3 (35) - С.113-117.
5. Копылов Ю. Р. Амплитудные и фазочастотные характеристики вибрирующей рабочей среды // Вибрации в технике и технологиях. Труды III международной научно-технической конференции. - Евпатория: 1998. - С.133-137.
6. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. - М.: Наука, 1972. - 341 с.