

УДК 621.9.048

В.Б. Струтинський, професор, д-р техн. наук,

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056*

В.П. Симонок, асистент

*Луцький національний технічний університет,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018
volodimir_simonyuk@mail.ru*

МОДЕЛЮВАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО РУХУ ВІБРОБУНКЕРА ПРИ УДАРНО – ІМПУЛЬСНІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ

Пропонується методика моделювання процесів для створення обладнання при віброобразивній обробці деталей у віробункері з можливістю створення направленого руху.

Ключові слова: *віробункер, моделювання, ударно-імпульсна обробка, система, робоче середовище, циркуляційний рух.*

Підвищення ефективності обладнання та процесу ударно-імпульсної обробки деталей у віробункері потребує широкого кола теоретичних та експериментальних досліджень. Вони полягають у розробці загальної схеми обробки, встановленні основних параметрів віробункера та робочого середовища, які визначають показники якості процесу обробки.

Методика досліджень вивчає попередні роботи по перевірці роботоздатності діючого та пропонуваного до впровадження обладнання.

В результаті розроблена конструктивна схема (рисунок 1) і виготовлено дослідні зразки обладнання

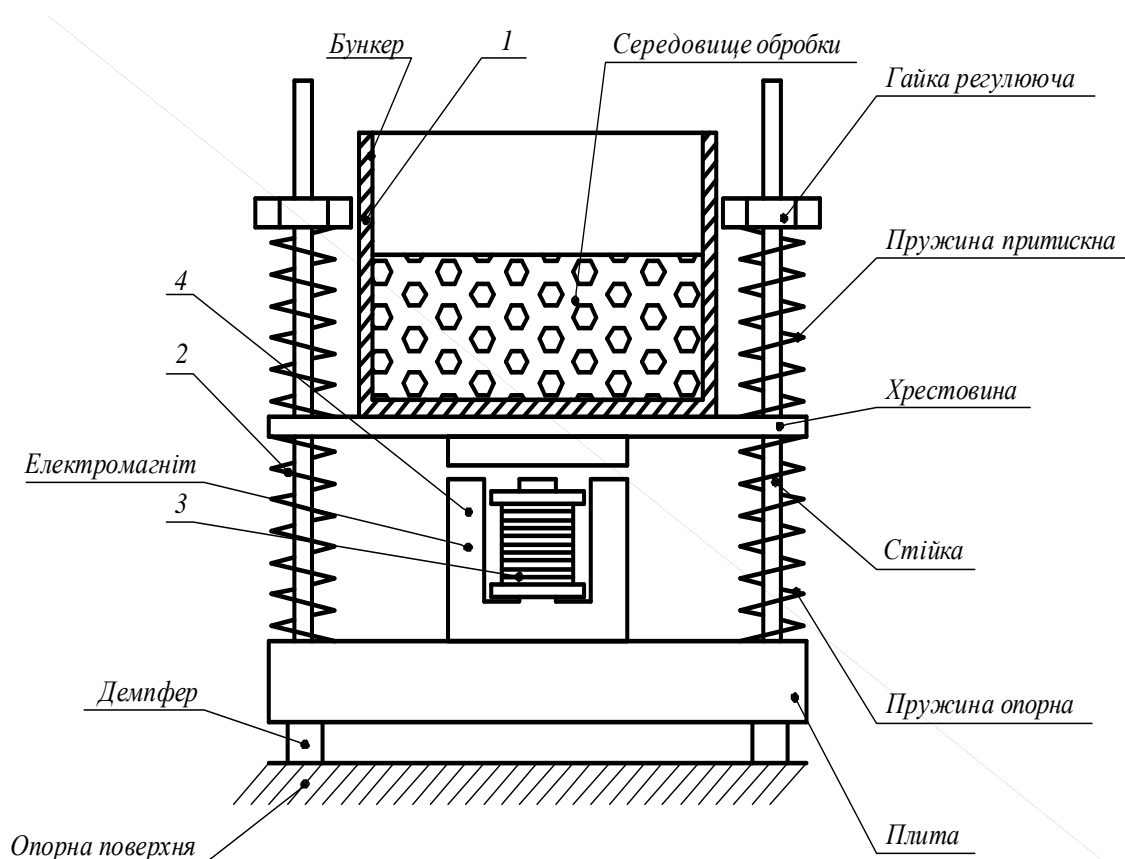


Рисунок 1 – Схема експериментальної вібраційної машини

для ударно-імпульсної обробки деталей у віробункері. Розроблена принципова схема обладнання для вібраційної обробки деталей. Обладнання включає віробункер 1, встановлений на пружному підвісі 2.

Вібрації в системі створюються електромагнітними приводами 3. Кількість електромагнітів та їх розташування може бути будь-яке. Дана робота основана на конструктивній схемі, яка передбачає розташування чотирьох електромагнітів по периферії установки. Ударне навантаження на віробункер

створюється при ударі рухомих частин в упори 4. Установка змонтована на плиті, яка встановлена на опорній поверхні. Для поглинання вібраційного навантаження, між опорною поверхнею та плитою встановлені демпфери. Для забезпечення відповідного включення електромагнітів створений електронний програмований контролер.

Система дозволяє забезпечити просторовий циркуляційний рух робочого середовища із заданою частотою та формою коливань. Робоче середовище поміщено у вібробункер, який являє собою циліндричну ємність. Для реалізації процесу обробки всередину вібробункера завантажується абразив та оброблювані деталі. Абразив заповнює частину порожнини вібробункера на 20..70% його об'єму. Абразив і деталі утворюють квазіоднорідне робоче середовище, яке рівномірно розміщується по об'єму вібробункера.

В процесі обробки вібробункер здійснює просторовий рух, який складається із поступального руху полюса (точка P) x, y, z та сферичного руху, що характеризується кутами Ψ , θ , ϕ (рисунок 2).

Просторовий рух вібробункера здійснюється під дією зовнішніх і внутрішніх силових факторів. Зовнішні силові фактори, що діють на вібробункер, подані у вигляді головного вектора R і головного моменту M.

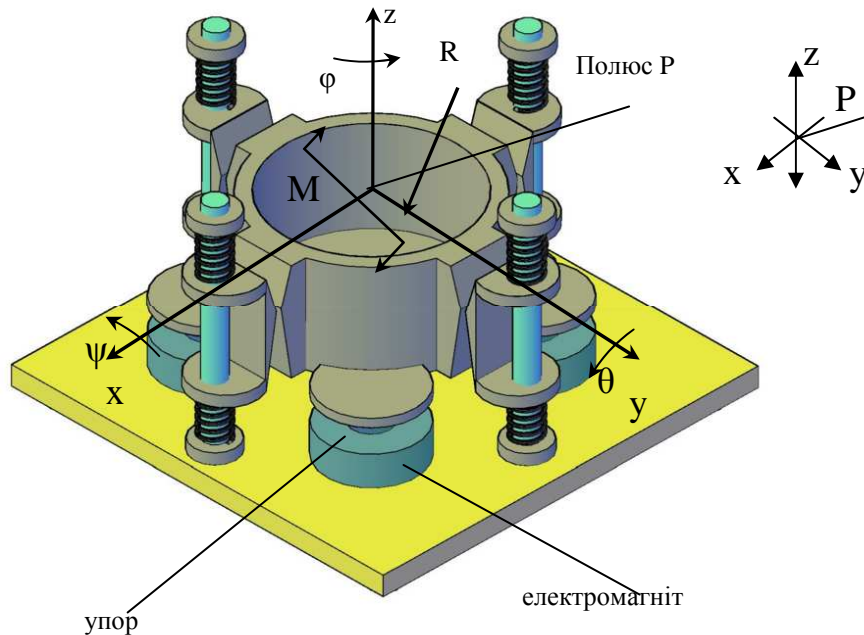


Рисунок 2 – Схема просторового руху вібробункера

Силкові фактори є результатом дії електромагнітних приводів та ударних навантажень при взаємодії вібробункера з упорами. Вібробункер має складну систему пружного підвісу, яка забезпечує переміщення у довільному напрямі.

В процесі досліджень встановлено, що основний вплив на процес обробки здійснює сферичний рух вібробункера. Тому для математичного моделювання руху вібробункера розроблена динамічна модель, відповідна схемі сферичного руху твердого тіла із врахуванням стохастичних змін тензора інерції, що визначає сферичний рух вібробункера (рисунок 3). Основною складовою цього руху є вертикальний рух вібробункера, тобто рух відносно вісі z.

На динамічній моделі показано еквівалентну жорсткість пружин C_z , коефіцієнт опору h_z , який описує сили тертя в напрямних; m_0 – масу вібробункера із хрестовиною; m_c – масу робочого середовища; R – силу, яка діє на вібробункер у вертикальному напрямку.

Для вертикального переміщення вібробункера складено диференціальне рівняння рівноваги сил:

$$(m_0 - m_c) \frac{d^2 z}{dt^2} + h_z \frac{dz}{dt} + c_z z = R + (m_0 + m_c) g, \quad (1)$$

де, z – переміщення вібробункера; g – пришвидшення вільного падіння.

Переміщення вібробункера обмежено упором. Тому до рівняння (1) додається обмеження:

$$z \leq z_m, \quad (2)$$

де, z_m – відстань від початкового (нульового) положення вібробункера до упора.

Для розробки математичної моделі диференціальне рівняння (1) приведено до виду інтегрального рівняння. Для цього виконано подвійне інтегрування в часі рівняння (1), результатом якого є значення переміщення вібробункера:

$$z = \frac{1}{m_0 + m_c} \int_0^t \int_0^t \left[R + (m_0 + m_c)g - c_z - h_z \frac{dz}{dt} \right] (dt)^2. \quad (3)$$

Значення переміщення z і швидкості $\frac{dz}{dt}$, які входять в підінтегральний вираз, вводяться через систему зворотних зв'язків.

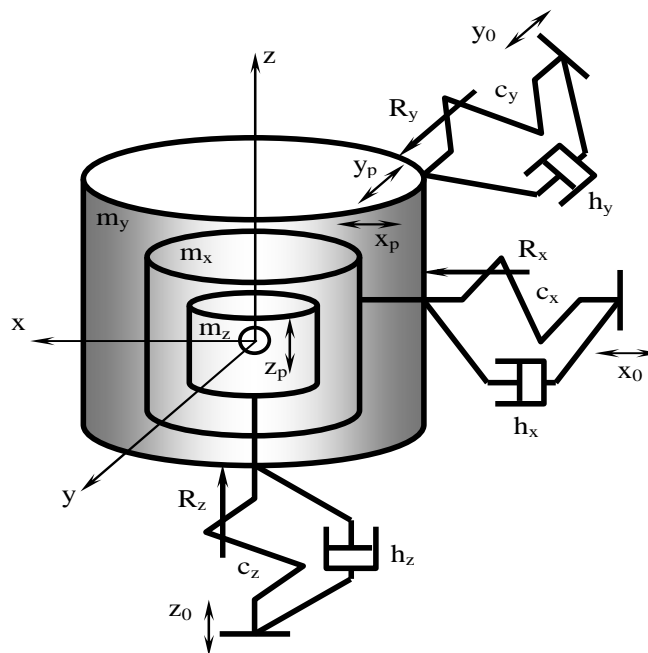


Рисунок 3 – Три парціальні динамічні підсистеми поступального руху полюса вібробункера

Наявність жорстких упорів змінює характер руху вібробункера. Коли висота розташування упорів є близькою до амплітуди переміщень вібробункера має місце просте обмеження руху вібробункера вниз.

При одночасному включенні всіх чотирьох електромагнітів поперечні коливання вібробункера є близькими до синусоїдальних і відбуваються в напрямку вісі z .

При включенні трьох або двох електромагнітів має місце інтенсивний поперечний рух вібробункера.

В процесі досліджень була створена математична модель сферичного руху вібробункера. Для цього була розглянута парціальна динамічна підсистема сферичного руху (рисунок 4).

Запропонована динамічна підсистема є теоретичною. Практично її необхідно розглядати як динамічну підсистему із змінним випадковим чином тензором інерції. Запропоновано врахувати випадкові зміни компоненти тензора інерції при моделюванні. Це суттєвим чином підвищує точність розрахунків динамічних процесів при вібраціях бункера.

Причини випадкових змін тензора інерції:

- хаотичне переміщення деталей і гранул одна відносно одної;
- зміщення частинки робочого середовища до однієї із стінок;
- нелінійні залежності тертя між деталями та абразивом;
- місцеві обертальні рухи групи деталей і гранул;
- взаємодія жорстких деталей із стінками вібробункера;
- хвильові коливальні процеси в стінках вібробункера.

Вектор моменту кількості руху динамічної системи вібробункера визначається наступною залежністю:

$$\vec{L} = \sum_{n=1}^N m_n (\vec{r}_n \times \vec{v}_n) \quad (4)$$

де, m_n – маса n-го елемента робочого середовища (деталі, гранули); N – загальна кількість елементів (гранули абразиву та деталей); \vec{r}_n – радіус-вектор, який характеризує положення n-го елемента відносно початку координат; \vec{v}_n – вектор швидкості окремого елемента робочого середовища.

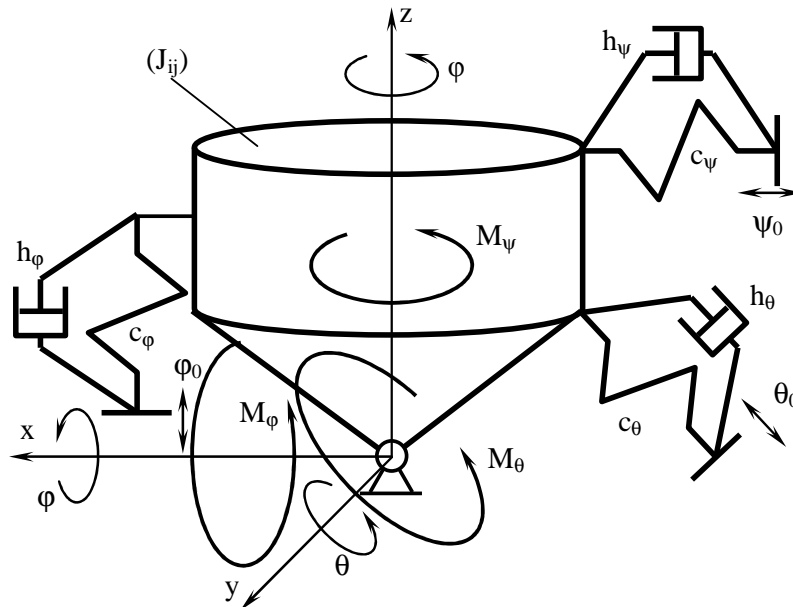


Рисунок 4 – Парціальна динамічна підсистема сферичного руху вібробункера.

Осереднені для системи кінематичні параметри:

$$\vec{V}_n = \vec{\omega} \cdot \vec{r}_n \quad (5)$$

$\vec{\omega}$ – вектор миттєвої кутової швидкості обертання вібробункера.

Стохастичний вектор кінетичного моменту вібробункера визначається у вигляді:

$$\vec{L} = \sum_{n=1}^N m_n [\vec{r}_n \times (\vec{\omega} \times \vec{r}_n)] = \sum_{n=1}^N m_n [\vec{\omega} (\vec{r}_n \cdot \vec{r}_n) - \vec{r}_n (\vec{r}_n \cdot \vec{\omega})] \quad (6)$$

Проекція вектора кінетичного моменту:

$$L_i = \sum_{n=1}^N m_n \omega_i \sum_{l=1}^3 x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} \sum_{k=1}^3 \omega_k x_k^{(n)} \quad (7)$$

де, ω_i – проекція осередненого вектора кутової швидкості на вісь X_i ,

$X_1^{(n)}, X_2^{(n)}, X_3^{(n)}$ координати n-ої деталі або гранул абразиву.

Проекції кутової швидкості визначаються із залежності:

$$\omega_i = \sum_{k=1}^3 e_{ik} \omega_k \quad (8)$$

одиничний тензор:

$$e_{ik} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

проекції стохастичного вектора моменту кількості руху:

$$L_i = \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^N m_n \omega_k \left(\sum_{l=1}^3 e_{ik} x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} x_k^{(n)} \right) = \sum_{k=1}^3 \omega_k I_{ik} \quad (9)$$

де вводимо стохастичний тензор моментів інерції системи I_{ik} :

$$I_{ik} = \sum_{n=1}^N m_n \sum_{l=1}^3 e_{ik} x_l^{(n)} x_l^{(n)} - x_i^{(n)} x_k^{(n)} \quad (10)$$

Формула (10) визначає змінну в часі інертність вібробункера $I_{ij} = \text{var}$, яка є випадковою величиною.

Компоненти стохастичного тензора інерції вібробункера в розгорнутому вигляді:

$$\begin{cases} I_{11} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_2^{(n)})^2 + (x_3^{(n)})^2 \right] = I_{x_1 x_1} \\ I_{22} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_3^{(n)})^2 + (x_1^{(n)})^2 \right] = I_{x_2 x_2} \\ I_{33} = \sum_{n=1}^N m_n \left[(x_1^{(n)})^2 + (x_2^{(n)})^2 \right] = I_{x_3 x_3} \\ I_{12} = I_{21} = - \sum_{n=1}^N m_n x_1^{(n)} x_2^{(n)} = I_{x_1 x_2} \\ I_{13} = I_{31} = - \sum_{n=1}^N m_n x_1^{(n)} x_3^{(n)} = I_{x_1 x_3} \\ I_{23} = I_{32} = - \sum_{n=1}^N m_n x_2^{(n)} x_3^{(n)} = I_{x_2 x_3} \end{cases} \quad (11)$$

Для розрахунку поперечно-кутових переміщень вібробункера складено диференціальні рівняння сферичного руху вібробункера у векторному вигляді:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{L} = \vec{M} \quad (12)$$

де, \vec{L} – стохастичний вектор кінетичного моменту вібробункера; $\vec{\omega}$ – випадковий вектор кутової швидкості вібробункера; \vec{M} – випадковий вектор головного моменту, що діє на вібробункер.

Стохастичний кінетичний момент вібробункера визначено через його тензор інерції:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega} \quad (13)$$

Векторне рівняння (12) подано у проєкціях на вісі координат. При цьому рівняння для визначення проєкції кінетичного моменту на вісі координат:

$$\begin{cases} \frac{dL_x}{dt} + \omega_y L_z - \omega_z L_y = M_x \\ \frac{dL_y}{dt} + \omega_z L_x - \omega_x L_z = M_y \\ \frac{dL_z}{dt} + \omega_x L_y - \omega_y L_x = M_z \end{cases} \quad (14)$$

Рівняння для розрахунку проєкції випадкового моменту кількості руху відповідні векторним рівнянням:

$$\begin{cases} L_x = I_{xx} \omega_x - I_{xy} \omega_y - I_{zx} \omega_z \\ L_y = -I_{xy} \omega_x + I_{yy} \omega_y - I_{yz} \omega_z \\ L_z = -I_{zx} \omega_x - I_{zy} \omega_y + I_{zz} \omega_z \end{cases} \quad (15)$$

Наведена система рівнянь призначена для розробки математичних моделей сферичного руху вібробункера.

Проєкції кутової швидкості визначаються із системи рівнянь, яка набула наступного вигляду:

$$\begin{cases} \omega_x = \frac{1}{I_{xx}}(L_x - I_{xy}\omega_y - I_{zx}\omega_z) \\ \omega_y = \frac{1}{I_{yy}}(L_y + I_{xy}\omega_x + I_{yz}\omega_z) \\ \omega_z = \frac{1}{I_{zz}}(L_z + I_{zx}\omega_x + I_{zy}\omega_y) \end{cases} \quad (16)$$

Шляхом інтегрування за часом, обчислення проєкцій кінетичного моменту приводиться до інтегральних рівнянь наступного виду:

$$\begin{cases} L_x = \int_0^t (M_x - \omega_y L_z + \omega_z L_y) \\ L_y = \int_0^t (M_y - \omega_z L_x + \omega_x L_z) \\ L_z = \int_0^t (M_z - \omega_x L_y + \omega_y L_x) \end{cases} \quad (17)$$

Вище наведене моделювання процесів було реалізоване під конкретну задачу за допомогою модуля Simulink пакету Matlab.

Як висновок, можна зазначити наступне:

1. Моделювання просторового руху вібробункера доцільно здійснювати, розглянувши три парціальні динамічні системи поступального руху вібробункера та парціальну систему сферичного руху із змінним випадковим чином тензором інерції.

2. Причинами випадкових змін тензора інерції є хаотичне переміщення деталей і гранул одна відносно одній; зміщення частинки робочого середовища до однієї із стінок; нелінійні залежності тертя між деталями та абразивом; місцеві обертальні рухи групи деталей і гранул; взаємодія жорстких деталей із стінками вібробункера; хвильові коливальні процеси в стінках вібробункера. Для моделювання тензора інерції його компоненти виражаються через інваріанти тензорів у вигляді широкополосних випадкових процесів.

3. Сферичний рух вібробункера визначається законом включення електромагнітів і приводить до спірального руху вібробункера в усталених динамічних режимах.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Струтинський В.Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В.Б. Струтинський. — Житомир: ЖІТІ, 2001. — 611 с.
2. Пат. 3919 Україна, МПК В24В31/06, В06В1/18. Система віброзбудження вібраційної установки. / Струтинський В.Б., Симонюк В.П., Симонюк О.В. №2004042434, заявлено 01.04.2004, опубл. 15.12.2004, бюл. №12.

Надійшла до редакції 20.03.2013 р.

Струтинский В.Б., Симонюк В.П. Моделирование циркуляционного движения вибробункера при ударно-импульсной обработке деталей

Предлагается методика моделирования процессов для разработки оборудования в условиях виброабразивной обработки деталей в вибробункере с возможностью воспроизведения направленного движения.

Ключевые слова: вибробункер, моделирование, ударно-импульсная обработка, система, рабочая среда, циркуляционное движение.

Strutynskiy V.B., Symonyuk V.P. Simulation of circulating motion of vibro-bunker at shock-pulsed processing parts

A method of process modeling for creating vibration-abrasive equipment when handling parts in vibration bunker ability to create directional movement is offered.

Keywords: vibration bunker, modeling, shock pulse processing, system, working environment, traffic circulation.