

УДК 621.9.048

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-14-22>

Симонюк В.П., к.т.н., Денисюк В.Ю., к.т.н., Лапченко Ю.С., к.т.н.

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ХАОТИЧНИХ ВІБРАЦІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА ВІБРОБУНКЕРА

*В статті розглянуто результати досліджень високочастотних хаотичних вібраційних переміщень елементів робочого середовища (гранул абразиву). Встановлено, що на елемент робочого середовища (деталь або гранулу), який знаходиться у вібробункері, діють постійні вібраційні навантаження з частотою, рівною частоті зміни сили електромагніта, які передаються з боку гранул абразиву на деталь і навпаки. Одночасно на деталь діють ударні навантаження. Для цього складена динамічна модель вібраційного руху окремої гранули, яка подана у вигляді трьох поступальних парціальних динамічних підсистем. Складені їх диференціальні рівняння і знайдено імпульсні характеристики окремої гранули, що включають переміщення гранули під дією ударного навантаження. Загальне переміщення гранули знайдено як суперпозиція переміщення від окремих імпульсних навантажень у вигляді набору ударних імпульсів. Встановлено, що основою робочого процесу віброабразивної обробки є процес взаємодії деталі і гранул при ударному навантаженні вібробункера. Інтенсивність обробки деталі залежить від її випадкового положення в момент удару.*

**Ключові слова:** вібраційна обробка, вібробункер, гранула, абразив, циркуляційний рух, траєкторія, імпульс, навантаження, електромагніт.

**Постановка проблеми.** До фінішних методів відноситься і вібраційна обробка деталей в різноманітних середовищах, яка забезпечує створення необхідної шорсткості і фізико-механічних властивостей поверхні та поверхневих шарів [1]. На процес вібраційної обробки деталей вільними абразивами мають вплив конструкція деталі, її форма, вага, матеріал, фізико-хімічний склад поверхневого шару, вимоги до обробленої деталі, матеріал абразиву, його зернистість, режими обробки тощо.

Інтенсивність вібраційної обробки залежить від режимів і часу обробки, характеристики і розмірів частинок робочого середовища, механічних властивостей матеріалу оброблюваних деталей тощо. До числа основних параметрів даного процесу відносяться: характер руху робочої камери і частинок робочого середовища, їх швидкість і пришвидшення, сила мікроударів, контактні тиски, температура, яка виникає в зоні дії мікроударів, середня температура в робочій камері. На швидкість руху робочого середовища впливає амплітуда і частота коливань. Із їх збільшенням швидкість циркуляції робочого середовища зростає. На швидкість циркуляції дещо менший вплив має кількість і характер рідинного розчину, грануляція і форма частинок робочого середовища, заповнений об'єм робочої камери [2].

Тому дослідження процесу взаємодії деталі і гранул при ударному навантаженні вібробункера при вібраційній обробці є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Повільний циркуляційний рух робочого середовища при вібраційній обробці полягає у переміщенні елементів. Елементи робочого середовища мають розміри, які є порівняними із розмірами вібробункера. Тому усереднені траєкторії руху робочого середовища не є плавними лініями. Як правило, вони є ламаними, тому що при переміщенні деталей і гранул абразиву вони контактують у різних точках і розташування точок контакту змінюється [3, 4].

Додатково кожний елемент робочого середовища переміщується відносно сусідніх елементів. Цей рух вже не є повільним. Для гранул абразиву відносно переміщення являє собою деякий вібраційний рух. Він аналогічний броунівському руху твердих частинок у рідині або газі. Цей рух є незалежним від гравітаційних сил та ударно-імпульсних навантажень. Вібраційний рух залежить від розміру і маси елементів робочого середовища. Вібраційний рух є швидким. Елементи робочого середовища мають швидкі переміщення, але ці переміщення є обмеженими. Елементи переміщуються на невелику висоту. Наявність вібраційного руху приводить до зміни траєкторій руху гранул абразиву та деталей. Вібраційний рух окремих гранул усереднюється. Усереднений рух відповідає повільному циркуляційному руху робочого середовища [5, 6].

**Мета роботи.** Встановлення основних закономірностей повільного циркуляційного руху робочого середовища та визначення впливу параметрів вібробункера на процес ударно-імпульсної обробки.

**Викладення основного матеріалу.** На елемент робочого середовища (деталь або гранулу), який знаходиться у вібробункері, діють постійні вібраційні навантаження з частотою, рівною частоті зміни сили електромагніта. Вібраційні навантаження передаються з боку гранул абразиву на деталь і навпаки. Одночасно на деталь діють ударні навантаження. Під дією всього комплексу навантажень деталі і гранули абразиву рухаються в робочому середовищі. Для видовжених деталей та гранул абразиву поперечно-кутові переміщення під дією ударних навантажень є незначними. Тому прийнята динамічна модель вібраційного руху окремої деталі або гранули абразиву у вигляді тіла, що здійснює поступальний рух (рис. 1).

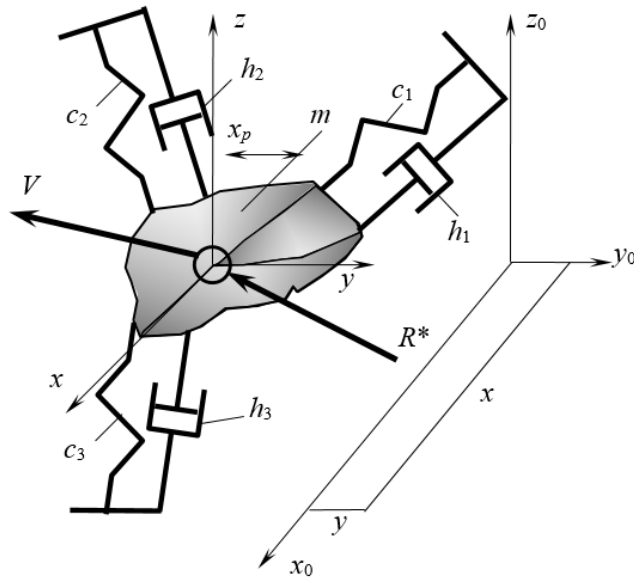


Рис. 1. Загальна динамічна модель вібраційного руху деталі або гранули абразиву під дією вібраційних навантажень

Динамічна модель відповідає просторовому поступальному руху твердого тіла із пружно-дисипативними зв'язками. На гранулу абразиву або деталь постійно діють вібраційні навантаження  $R^*$ . Прийнято, що вони мають вигляд квазістаціонарних випадкових процесів. Загальна динамічна модель подана у вигляді трьох парціальних динамічних підсистем (рис. 2).

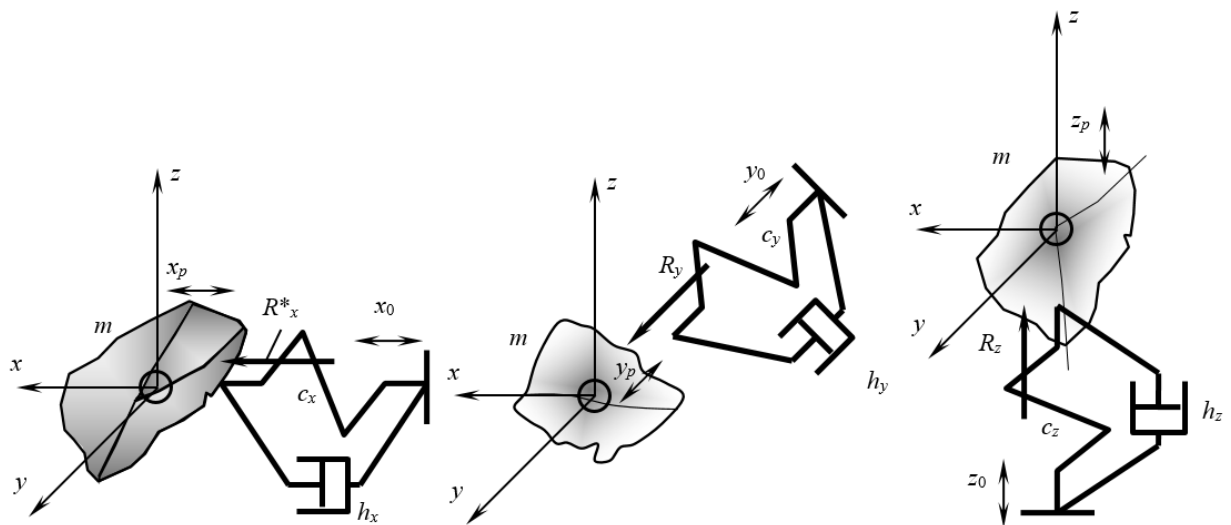


Рис. 2. Парціальні динамічні підсистеми переміщення окремої гранули абразиву при її хаотичному вібраційному русі

Рівняння, що описують переміщення гранули в проекціях на осі координат:

$$\begin{cases} m\ddot{x} + h_x\dot{x} + c_x x = R_x^*, \\ m\ddot{y} + h_y\dot{y} + c_y y = R_y^*, \\ m\ddot{z} + h_z\dot{z} + c_z z = R_z^*, \end{cases} \quad (1)$$

$m$  – інерційний коефіцієнт (маса гранули);  $h_x, h_y, h_z$  – дисипативні коефіцієнти, що визначають еквівалентну пружну взаємодію елемента із іншими елементами робочого середовища;  $c_x, c_y, c_z$  – деформативні коефіцієнти;  $R_x, R_y, R_z$  – проекції випадкових вібраційних сил, що діють на гранулу.

Для розв'язку даної системи рівнянь використані часові (перехідні) характеристики системи. Перехідна функція  $H(t)$  та імпульсна характеристика  $\omega(t)$ . Вони являють собою переміщення гранули під дією ступінчатої сили  $R_x^* = R_{0x}(t)$  та під дією імпульсного навантаження у вигляді  $\delta$ -функції.

Переміщення гранули під дією ступінчатих сил (перехідні функції) визначено залежностями:

$$\begin{aligned} x(t) &= K_x + \frac{\sqrt{T_x^2 V_{0x}^2 + 2\xi_x T_x V_{0x} (X_0 - K_x) + (X_0 - K_x)^2}}{\sqrt{1 - \xi_x^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_x}{T_x} t} \times \\ &\times \sin \left[ \frac{\sqrt{1 - \xi_x^2}}{T_x} \cdot t + \arctg \left( \frac{\sqrt{1 - \xi_x^2}}{\xi_x + \frac{T_x V_{0x}}{X_0 - K_x}} \right) \right], \\ y(t) &= K_y + \frac{\sqrt{T_y^2 V_{0y}^2 + 2\xi_y T_y V_{0y} (Y_0 - K_y) + (Y_0 - K_y)^2}}{\sqrt{1 - \xi_y^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_y}{T_y} t} \times \\ &\times \sin \left[ \frac{\sqrt{1 - \xi_y^2}}{T_y} \cdot t + \arctg \left( \frac{\sqrt{1 - \xi_y^2}}{\xi_y + \frac{T_y V_{0y}}{Y_0 - K_y}} \right) \right], \\ z(t) &= K_z + \frac{\sqrt{T_z^2 V_{0z}^2 + 2\xi_z T_z V_{0z} (Z_0 - K_z) + (Z_0 - K_z)^2}}{\sqrt{1 - \xi_z^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_z}{T_z} t} \times \\ &\times \sin \left[ \frac{\sqrt{1 - \xi_z^2}}{T_z} \cdot t + \arctg \left( \frac{\sqrt{1 - \xi_z^2}}{\xi_z + \frac{T_z V_{0z}}{X_0 - K_z}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

де  $V_{0x}, V_{0y}, V_{0z}$  – початкові значення проекцій швидкості;  $X_0, Y_0, Z_0$  – початкові координати гранули.

Коефіцієнти, які входять в (2) визначені через параметри динамічної моделі згідно формул:

$$\begin{aligned} K_x &= \frac{R_{0x}}{c_x}, T_x = \sqrt{\frac{m}{c_x}}, \xi_x = \frac{h_x}{2\sqrt{mc_x}}; \\ K_y &= \frac{R_{0y}}{c_y}, T_y = \sqrt{\frac{m}{c_y}}, \xi_y = \frac{h_y}{2\sqrt{mc_y}}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$K_z = \frac{R_{0z}}{c_z}, T_z = \sqrt{\frac{m}{c_z}}, \xi_z = \frac{h_z}{2\sqrt{mc_z}};$$

Для нульових початкових умов  $X_0 = V_{0x} = 0$ ,  $Y_0 = V_{0y} = 0$ ,  $Z_0 = V_{0z} = 0$ :

$$\begin{aligned} X(t) &= K_x \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi_x^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_x t}{T_x}} \cdot \sin \left[ \frac{\sqrt{1-\xi_x^2}}{T_x} \cdot t + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\xi_x^2} - 1} \right] \right\}, \\ Y(t) &= K_y \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi_y^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_y t}{T_y}} \cdot \sin \left[ \frac{\sqrt{1-\xi_y^2}}{T_y} \cdot t + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\xi_y^2} - 1} \right] \right\}, \\ Z(t) &= K_z \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi_z^2}} \cdot e^{-\frac{\xi_z t}{T_z}} \cdot \sin \left[ \frac{\sqrt{1-\xi_z^2}}{T_z} \cdot t + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{\xi_z^2} - 1} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Імпульсні характеристики визначають рух гранули під дією імпульсних (ударних) навантажень.

Імпульсні характеристики знаходяться шляхом диференціювання залежностей (4).

$$\begin{aligned} w_x(t) &= K_x \cdot \left( \frac{\cos \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_x^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_x^2}}{T_x} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_x}{T_x}}}{T_x} - \frac{\xi_x \sin \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_x^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_x^2}}{T_x} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_x}{T_x}}}{T_x \sqrt{1-\xi_x^2}} \right), \\ w_y(t) &= K_y \cdot \left( \frac{\cos \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_y^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_y^2}}{T_y} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_y}{T_y}}}{T_y} - \frac{\xi_y \sin \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_y^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_y^2}}{T_y} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_y}{T_y}}}{T_y \sqrt{1-\xi_y^2}} \right), \\ w_z(t) &= K_z \cdot \left( \frac{\cos \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_z^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_z^2}}{T_z} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_z}{T_z}}}{T_z} - \frac{\xi_z \sin \left( \operatorname{atan} \left( \sqrt{\frac{1}{\xi_z^2} - 1} \right) + \frac{t\sqrt{1-\xi_z^2}}{T_z} \right) \cdot e^{-\frac{t\xi_z}{T_z}}}{T_z \sqrt{1-\xi_z^2}} \right). \end{aligned}$$

Вібраційні навантаження на деталь являють собою набір ударних імпульсів. Їх можна подати у вигляді ряду складеного із  $\delta$ -функцій, які діють з частотою 50 Гц (частота зміни сили на електромагніті). Відповідно

$$R_x = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \delta(t - i\tau),$$

де,  $a_i$  – випадкова інтенсивність ударного імпульсу;  $\tau = 1/50$  – період зміни сили електромагніту;  $\delta(t - i\tau)$  – дельта-функція Дірака, яка діє в момент часу  $t_i = i\tau$ .

При дії кожного із імпульсів на деталь, вона переміщується у відповідності із своєю імпульсною характеристикою:

$$w_i(t) = w(t - i\tau) \cdot 1(t - i\tau).$$

При дії пакету імпульсів переміщення деталі визначається рядами:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot 1(t-i\tau) \cdot \frac{\cos\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_x^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_x^2}}{T_x}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_x}{T_x}}}{T_x} - \frac{\xi_x \sin\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_x^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_x^2}}{T_x}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_x}{T_x}}}{T_x \sqrt{1-\xi_x^2}},$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cdot 1(t-i\tau) \cdot \frac{\cos\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_y^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_y^2}}{T_y}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_y}{T_y}}}{T_y} - \frac{\xi_y \sin\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_y^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_y^2}}{T_y}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_y}{T_y}}}{T_y \sqrt{1-\xi_y^2}},$$

$$z(t) = \sum_{i=1}^{\infty} a_z \cdot 1(t-i\tau) \cdot \frac{\cos\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_z^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_z^2}}{T_z}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_z}{T_z}}}{T_z} - \frac{\xi_z \sin\left(\operatorname{atan}\left(\sqrt{\frac{1}{\xi_z^2}-1}\right) + \frac{(t-i\tau)\sqrt{1-\xi_z^2}}{T_z}\right) \cdot e^{-\frac{(t-i\tau)\xi_z}{T_z}}}{T_z \sqrt{1-\xi_z^2}}.$$

Наведені залежності послужили основою для розрахунку хаотичного руху гранул абразиву в робочому середовищі. Вібратійне навантаження приводить до хаотичного руху, який направлений від дна вібробункера до його поверхні (рис. 3).

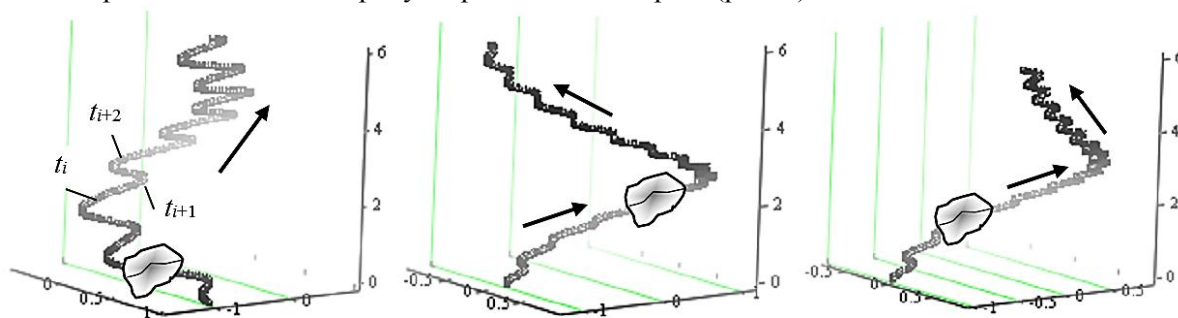


Рис. 3. Типові просторові переміщення гранули абразиву, обумовлені вібраторними імпульсними навантаженнями

Вібратійне навантаження, яке діє з частотою 50 Гц, приводить до зміни положення гранул абразиву. Наведені на рис. 3 траєкторії відповідають проміжкам часу 0,4...0,6 с. За цей час переміщення гранули абразиву по вертикалі склали близько 6 мм. Зміщення по горизонталі не перевищували 1...2 мм. Гранули абразиву здійснюють зигзагоподібний рух з розмахом 0,1...0,3 мм. Найявна стійка тенденція руху гранули абразиву вгору. Це пояснюється витискаючою дією деталей, що рухаються вниз за рахунок різниці гравітаційних сил, що діють на деталь і гранулу.

Траєкторія руху гранули під дією імпульсних навантажень може бути досить складною. Окрім імпульси, що діють з частотою 50 Гц в ряді випадків згладжуються і вібраційний рух характеризується плавною траєкторією переміщення гранули (рис. 4).

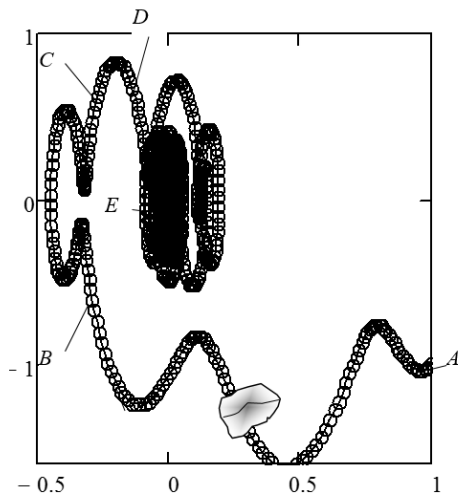


Рис. 4. Переміщення гранули абразиву внаслідок вібраційного руху робочого середовища

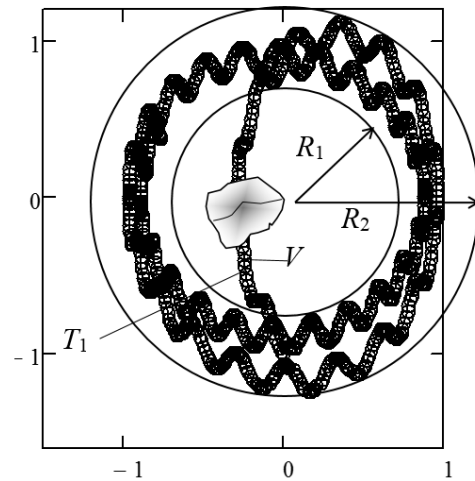


Рис. 5. Траєкторія переміщення гранул абразиву, що одночасно приймають участь у повільному циркуляційному русі та здійснюють вібраційний рух під дією імпульсних ударних навантажень

Плавно змінна траєкторія в залежності від умов імпульсного навантаження набуває різного вигляду. Ділянка *AB* близька до синусоїдальної траєкторії. Ділянка *BC* характеризується циклічною зміною превалюючого напрямку руху гранули. Ділянка *DE* відповідає траєкторії із фокусом, де віброшвидкість гранули становиться близькою до нуля.

У віробункері відбувається повільний циркуляційний рух робочого середовища, обумовлений просторовим рухом корпусу віробункера, гідроударними явищами в робочому середовищі та іншими факторами.

Для встановлення взаємозв'язку повільного циркуляційного руху та хаотичного вібраційного руху гранул проведено розрахунок переміщення гранули, яка приймає участь у повільному русі і додатково рухається під дією ударних імпульсних навантажень з боку інших гранул. Прийнято, що траєкторії повільного циркуляційного руху близькі до кола, як це має місце на периферії робочого середовища. Вібраційний рух приводить до відхилення траєкторії повільного руху від колової (рис. 5).

Інтенсивний циркуляційний повільний рух робочого середовища стабілізує вібраційний рух і знижує його інтенсивність. Амплітудні значення вібраційного руху не перевищують 10...20% від діаметра колової траєкторії повільно циркулюючого руху. Вібраційний рух впливає на повільний циркуляційний рух, змінюючи його траєкторію. Як правило, траєкторія зміщується в просторі, незначним чином змінюючи свою форму. Для кільцевої траєкторії, яка формується на периферії віробункера, наявність вібраційного руху гранул змінює траєкторію по висоті віробункера і вона набуває вигляду колової гвинтової лінії (рис. 6).

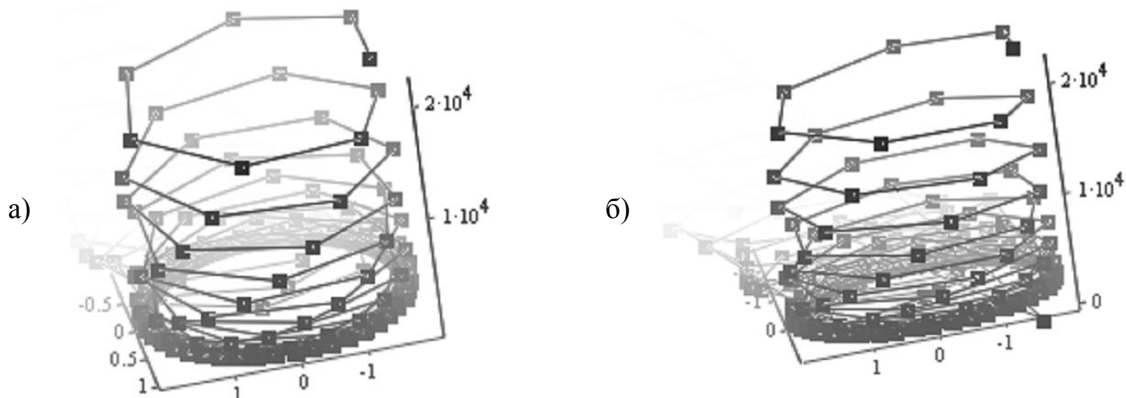


Рис. 6. Характер зміни кільцевої траєкторії циркуляційного руху під дією вібраційного руху

окремих гранул абразиву: а – гранули абразиву, б – деталі

Крок гвинтової лінії є нерегулярним і залежить від багаточисельних факторів випадкового характеру. Якщо інтенсивність циркуляційного руху знижується, вібраційний рух гранул інтенсифікується. Це проявляється у впливі на траєкторію повільного руху. Вона викривляється, набуваючи складної форми (рис. 7).

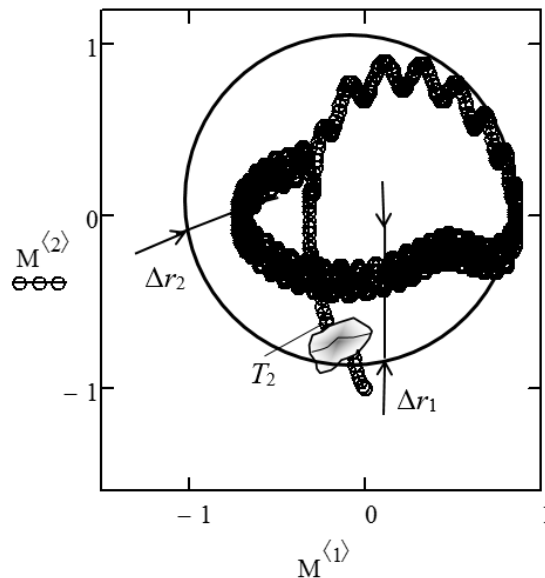


Рис. 7. Переміщення гранули абразиву, який приймає участь у вібраційному русі та повільному циркуляційному русі низької інтенсивності

Зміни траєкторії гранули проявляються у відхиленні її форми від колової. Радіальне відхилення траєкторії від кола змінюється в широких межах. Різниця відхилень  $\Delta r_1 - \Delta r_2$  є порівнянною із радіусом колової траєкторії. Має місце зміна частоти вібрацій коливань та площини її дії.

Гранула абразиву, яка за деякими причинами набула значення вібраційного витіснення за межі усталеного циркуляційного руху і рухається незалежно, як правило, по траєкторії, що мало відрізняється від прямої лінії. Це простежується на рис. 5, 7, де наявні ділянки  $T_1$ ,  $T_2$  з рухом гранули абразиву, близьким до прямолінійного.

**Висновки.** В результаті досліджень встановлено, що ударно-імпульсні навантаження на вібробункер приводять до виникнення повільного циркуляційного руху робочого середовища. В робочому середовищі має місце хаотичний рух окремих елементів (гранул абразиву), який обумовлений ударними навантаженнями на гранулу з боку сусідніх гранул. Хаотичний рух проявляється у вигляді відхилень траєкторії руху окремої гранули від середньої траєкторії циркуляційного руху. Відхилення траєкторії близьке до гармонічного (синусоїдального) закону. Обробка деталі в основному здійснюється при відносному переміщенні деталі відносно гранул абразиву при ударі вібробункера. Швидкість переміщення деталі відносно гранул залежить від випадкового положення деталі відносно напрямку вектора швидкості деталі при ударі.

#### Інформаційні джерела

1. Бабичев А.П. Физико-технологические основы методов обработки: учебное пособие для вузов / А.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 410 с.
2. Струтинський В.Б. Вдосконалення обладнання та процесу ударно-імпульсної обробки деталей у вібробункері: монографія / В.Б. Струтинський, В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк – Луцьк: СПД Гадак Жанна Володимирівна друкарня "Волиньполіграф"<sup>TM</sup>, 2016. – 139 с.
3. Струтинський В.Б. Дослідження закономірностей повільного циркуляційного вихрового руху робочого середовища у вібробункері / В.Б. Струтинський, В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк / «Перспективні технології та прилади». Збірник статей. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С. 176–185.
4. Симонюк В.П. Дослідження залежностей режимів вібрування на рух робочого середовища при вібраційній обробці / В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк, Ю.С. Лапченко, В.В.

Красовський / «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. Випуск 12. м. Луцьк, червень 2018 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – С. 143–149.

5. Симонюк В.П. Математичне моделювання циркуляційного руху вібробункера / В.П. Симонюк, В.Ю. Денисюк, Ю.С. Лапченко, В.В. Красовський / Технічні вісті: науковий часопис, 2018/1(47), 2(48). – С. 63 – 66.

6. V. Symonyuk Experimental study of circulating vortex movement working environment in vibrobunker / V. Symonyuk, V. Denysiuk, Y. Lapchenko / Mechanics, Materials Science & Engineering Journal. Volume 12, September 2017, Pages 41-54, DOI 10.2412/mmse.58.82.178 provided by.

**Симонюк В.П., к.т.н., Денисюк В.Ю., к.т.н., Лапченко Ю.С. к.т.н.,**  
Луцький національний технічний університет

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ВИБРАЦИОННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ВИБРОБУНКЕРА**

*В статье рассмотрены результаты исследований высокочастотных хаотических вибрационных перемещений элементов рабочей среды (гранул абразива). Установлено, что на элемент рабочей среды (деталь или гранулу), который находится в вибробункере, действуют постоянные вибрационные нагрузки с частотой, равной частоте изменения силы электромагнита, которые передаются со стороны гранул абразива на деталь и наоборот. Одновременно на деталь действуют ударные нагрузки. Для этого составлена динамическая модель вибрационного движения отдельной гранулы, которая представлена в виде трех поступательных парциальных динамических подсистем. Составленные их дифференциальные уравнения и найдено импульсные характеристики отдельной гранулы, включающие перемещение гранулы под действием ударной нагрузки. Общее перемещение гранулы найдено как суперпозиция перемещения от отдельных импульсных нагрузок в виде набора ударных импульсов. Установлено, что основой рабочего процесса виброабразивной обработки является процесс взаимодействия детали и гранул при ударной нагрузке вибробункера. Интенсивность обработки детали зависит от ее случайного положения в момент удара.*

**Ключевые слова:** *вибрационная обработка, вибробункер, гранула, абразив, циркуляционный движение, траектория, импульс, нагрузка, электромагнит.*

**V. Symonyuk, V. Denysiuk, Y. Lapchenko**

Lutsk National Technical University

#### **RESEARCH OF HIGH-FREQUENCY CHAOTIC VIBRANCES OF THE WORKING ENVIRONMENT OF VIBROBUNKER**

*In the article the results of researches of high-frequency chaotic vibrational displacements of elements of a working medium (abrasive granules) are considered. It has been established that on the element of a working medium (a part or a granule) that is in a vibrator bunker, there are constant vibration loads with a frequency equal to the frequency of the change in the strength of the electromagnet, which are transmitted from the granule of the abrasive to the part and vice versa. At the same time there is a shock load on the part. For this purpose, a dynamic model of vibration motion of a separate granule is presented, which is presented as three translational partial dynamic subsystems. Their differential equations are constructed and impulse characteristics of a separate granule are found, which include the movement of the granule under the action of the shock load. The general displacement of the granule was found as a superposition of displacement from individual pulsed loads in the form of a set of shock impulses. It was established that the basis of the working process of vibration abrasive treatment is the process of interaction of the parts and granules under the shock loading of the vibrator bunker. The intensity of processing the part depends on its random position at the time of impact.*

**Keywords:** *vibration treatment, vibrator bunker, granule, abrasive, circulation motion, trajectory, pulse, load, electromagnet.*