

КІНЕМАТИКА РУХУ І ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ ПІД ЧАС КОНТАКТУ ГРАНУЛ ЗІ СТІНКОЮ ВІБРАЦІЙНОГО КОНТЕЙНЕРА

<https://doi.org/10.23939/istcipa2023.59.026>

О Боровець В. М., 2025

Мета полягає у дослідженні впливу кінематики руху контейнера вібраційної машини з циліндричним контейнером на величину ударного імпульсу під час контакту гранул обробляючого середовища із стінкою контейнера. **Актуальність.** Вібраційна обробка деталей є складною системою, ефективність якої залежить від багатьох чинників, таких як параметри приводу та пружної підвіски контейнера, форма і розміри її робочих органів, параметри самих технологічних середовищ та чинники взаємовпливу робоче середовище–контейнер. У відомих методиках аналізу руху контейнера вібраційних машин описується за допомогою рівнянь механіки твердого тіла, робоче середовище одержує ударні імпульси від стінок контейнера. Проведення аналізу кінематики руху контейнера і визначення величини ударного імпульсу під час контакту гранул зі стінкою контейнера дасть змогу точніше визначати параметри оброблення виробів у вібраційних машинах. **Методика.** Розглянуто систему контейнер–робоче середовище, коли удар під час зіткнення стінки з робочим середовищем є миттєвий і пружний, а рух гранул обробляючого середовища у вібруючому контейнері базується на законах Ньютонівської механіки і теорії ймовірності. **Результати.** У процесі проведення аналізу контакту стінки контейнера з частинками робочого середовища враховується, що концентрація частинок обробляючого середовища, в шарі біля стінок контейнера, не є величиною постійною, вона періодично змінюється, під час руху стінки визначено залежність зміни середньоквадратичної швидкості частинок робочого середовища. **Наукова новизна.** Отримані нові математичні залежності для визначення середньоквадратичної швидкості робочого середовища у довільний момент часу. **Практична значущість.** На основі проведених досліджень одержані залежності значень середньоквадратичної швидкості взаємодії робочого середовища під час вібраційної обробки виробів.

Ключові слова: вібраційна обробка, контейнер, робоче середовище, амплітуда коливань, насипна щільність, середньоквадратична швидкість.

Вступ

Впровадження прогресивних технологій вібраційної обробки деталей обробляючим середовищем обмежується деякими фізичними факторами, пов'язаними з його рухом в контейнері машини, тому потрібно вивчити закономірності динамічної взаємодії робочих частинок і оброблюваних деталей під час знаходження їх в контейнері машини [1–6]. Ефективність вібраційної обробки деталей безпосередньо пов'язана із взаємним рухом робочого середовища та оброблюваних деталей. Тому вивчення руху робочого середовища є однією з основних задач під час проведення дослідження руху елементів машин об'ємної обробки.

Аналіз процесу об'ємної обробки в машині, завантаженій оброблюваними деталями та робочим середовищем, потребує, з одного боку, використання певних спрощень у побудові моделі процесу, а з другого – його адекватності.

У цій статті автор провів динамічний аналіз кінематики руху контейнера з визначенням величини ударного імпульсу під час контакту гранул із стінкою контейнера, що дасть змогу точніше визначати параметри оброблення виробів у вібраційних машинах.

Аналіз літературних джерел

Ефективність обробки залежить від багатьох факторів, з яких одним із основних є взаємодія оброблюваних деталей і абразивних тіл та передача імпульсу енергії від робочої камери до оброблюваного середовища.

Дослідження у напрямку вдосконалення вібраційного технологічного обладнання та моделей обробки висвітлено в численних публікаціях. Один з найбільш широко використовуваних методів розглядається в статтях [1–4], в яких автори представили результати досліджень вібраційної обробки з використанням сипкого абразивного середовища та в'язкого середовища в закритому вібраційному барабані. У [5–6] автори запропонували застосувати ефект ударної хвилі робочого тіла, що впливає на деталі, які оброблюються. Комплексне дослідження різних параметрів, що впливають на процес фінішної обробки, представлено в [7–8]. В публікаціях [9–10] та [13] проаналізовано кінематичні параметри та динамічну поведінку вібраційних фінішних машин за різних умов експлуатації.

Оброблення деталей, розміщених в робочому середовищі, і їх рух забезпечується лише взаємодією з цим середовищем. Одна з проблем, яка ще не була ґрунтовно досліджена, полягає в такому: інтенсифікацію вібраційної обробки можна забезпечити збільшенням ударного імпульсу під час контакту гранул робочого середовища із оброблюваною деталлю. Сучасні дослідження активно застосовують методи скінченних елементів та демонстраційне моделювання для дослідження руху контейнера і взаємодії середовища [11]. Так, у [12] симуляції за демонстраційним моделюванням дали змогу виявити формування локальних зон із підвищеною інтенсивністю обробки, які утворюються внаслідок резонансних умов у системі “контейнер–робоче середовище–деталь”.

З огляду на актуальність дослідження взаємодії деталей та обробляючого середовища в процесі вібраційної обробки, доцільне вивчення кінематики руху контейнера з визначенням ударного імпульсу під час контакту гранул робочого середовища із стінкою контейнера.

Мета роботи

Дослідження впливу кінематики руху контейнера вібраційної машини з циліндричним контейнером на величину ударного імпульсу під час контакту гранул обробляючого середовища із стінкою контейнера.

Методика проведення досліджень

Розглянемо циліндричний контейнер, всі точки якого коливаються за коловою траєкторією з амплітудою A і частотою ω (рис. 1). Тоді закон переміщення довільної точки стінки контейнера по вертикалі і горизонталі можна записати відповідно як $A \sin \omega t$ і $A \cos \omega t$.

Положення довільної точки O , що міститься на стінці контейнера в його нерухомому стані, можна задати кутом α , в системі координат XOY , в якій вісь Y направлена до центру контейнера, а X по дотичній в напрямку руху годинникової стрілки. Тоді переміщення стінок контейнера в заданій точці буде дорівнює

$$y = A \sin(\omega t - \alpha),$$

$$x = A \cos(\omega t - \alpha).$$

Відповідно швидкість стінки в даній точці

$$\dot{y} = \omega A \sin(\omega t - \alpha), \tag{1}$$

$$\dot{x} = \omega A \cos(\omega t - \alpha).$$

Прийmemo, що під час контакту стінки контейнера з частинками робочого середовища в даній точці швидкість частинки в напрямку осі Y до моменту зіткнення дорівнювала v_y . Відповідно зіткнення можливе, коли $\dot{y} > v_y$.

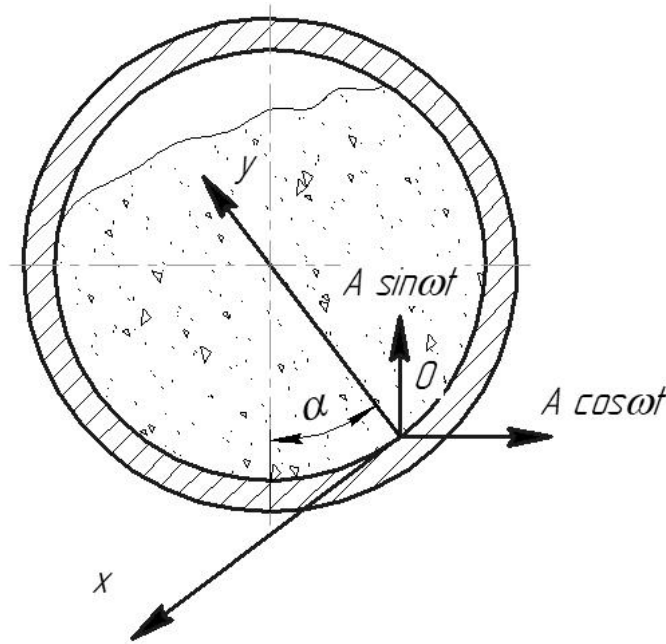


Рис. 1. Схема системи контейнер робоче середовище
Fig. 1. Scheme of the container workspace system

Припустимо, що удар під час зіткнення миттєвий і пружний, а його властивості характеризуються коефіцієнтом відновлення R . Тоді згідно з законом збереження імпульсу

$$mv_y + M\dot{y} = mv_y^1 + M\dot{y}^1, \quad (2)$$

де: m і M – відповідно маса частинок робочого середовища і контейнера; v_y^1 і $\dot{y}^1$ – швидкості частинок і контейнера після удару, які зв'язані з швидкостями v_y і $\dot{y}$ співвідношенням

$$\dot{y}^1 - v_y^1 = -R(\dot{y} - v_y).$$

Розв'язавши рівняння (2), відносно $\dot{y}$ отримаємо

$$\left(1 + \frac{m}{M}\right)v_y^1 = \left(\frac{m}{M} - R\right)v_e + (1 + R)\dot{y}. \quad (3)$$

З рівняння (2) випливає, що коли $\frac{m}{M} \rightarrow 0$ то $\dot{y}^1 = \dot{y}$, а з рівняння (3), коли $\frac{m}{M} \rightarrow 0$, тоді

$$v_y^1 = (1 + R)\dot{y} - Rv_y. \quad (4)$$

Оскільки $m \ll M$, рівняння (4) досить добре відображає співвідношення швидкостей v_y^1, v_y і $\dot{y}$. Імпульс, що діє на стінку контейнера в процесі удару, дорівнює

$$f = m(v_y^1 - v_y).$$

Враховуючи значення v_y^1 із (4), одержимо

$$f = (1 + R)(\dot{y} - v_y)m. \quad (5)$$

Розглянемо на стінці контейнера площадку S з центром у точці O і побудуємо на ній циліндр з твірними паралельними осі Y та висотою $(\dot{y} - v_{iy})dt$, де v_{iy} фіксована швидкість групи частинок робочого середовища, що задовольняє умову

$$\dot{y} - v_{iy} > 0. \quad (6)$$

Частинки із швидкістю v_{iy} , які потрапили в об'єм циліндра $\sigma(\dot{y} - v_{iy})dt$, зіштовхнуться із стінкою за період часу dt , а їх кількість дорівнює

$$S_i = \sigma(\dot{y} - v_{iy})dt \cdot n_{iy},$$

де n_{iy} – концентрація частинок, що переміщуються в напрямку Y зі швидкістю v_{iy} . Відповідно до (5), загальний імпульс, що передається стінці контейнера S_i частинками, дорівнює

$$F_i = f_i \cdot S_i = (1 + R)(\dot{y} - v_{iy})^2 m \cdot \sigma \cdot n_{iy} dt.$$

Із стінкою контейнера взаємодіють й інші частинки, швидкість яких у напрямку Y , що не відповідають нерівності (6), тому сумарний імпульс

$$F = \sum_{v_{iy} < \dot{y}} \cdot F_i.$$

Тут здійснюється сумування усіх частин, що переміщуються в напрямку Y зі швидкістю $v_{iy} < \dot{y}$. Підставивши значення у вираз для F значення F_i , одержимо

$$F = (1 + R)m\sigma dt \sum_{v_{iy} < \dot{y}} (\dot{y} - v_{iy})^2 \cdot n_{iy}.$$

Поділивши обидві частини рівняння на σdt , отримаємо вираз для тиску на стінку контейнера в точці O

$$P = (1 + R)m \cdot \sum_{v_{iy} < \dot{y}} (\dot{y} - v_{iy})^2 \cdot n_{iy}. \quad (7)$$

Концентрація частинок n_{iy} залежить від висоти шару робочого середовища і швидкості їх переміщення v_{iy} . У разі хаотичного руху гранул обробляючого середовища у віброуючому контейнері, базуючись на законах Ньютонівської механіки і теорії ймовірності, концентрація частинок у довільному горизонтальному шарі обробляючого середовища (рис. 1) дорівнює

$$n = n_0 e^{-\frac{mgr(1-\cos\alpha)}{2E}},$$

де n_0 – концентрація частинок у нижній точці контейнера (при $\alpha=0$); mg – вага однієї частинки; r – радіус контейнера; $E = \frac{1}{3} \frac{m[v^2]}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$ – середня кінетична енергія, що припадає на один ступінь свободи частинки; $[v^2]$ – середня квадратична швидкість однієї частинки; $v_0^2 = \frac{[v^2]}{3}$ – середня квадратична швидкість, що припадає на один ступінь свободи.

Концентрація частинок, що мають швидкість в діапазоні від v_{1y} до $v_{1y} + dv_{1y}$

$$n_{iy} = n \left(\frac{m}{4\pi E} \right)^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{mv_{iy}}{4E}} dv_{iy}.$$

Ця формула є аналогом відповідної формули для концентрації молекул, як функція їх швидкостей. Підставляючи значення n в n_{iy} , отримаємо

$$n_{iy} = n_0 \left(\frac{m}{4\pi E} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[\frac{-mv_{iy}^2 + 2mgr(1-\cos\alpha)}{4E} \right] dv_{iy}.$$

Підставляючи значення n_{iy} у вираз (7), отримаємо

$$P = (1 + R)m \cdot \sum_{v_{iy} < \dot{y}} (\dot{y} - v_{iy})^2 n_0 \left(\frac{m}{4\pi E} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[\frac{-mv_{iy}^2 + 2mgr(1-\cos\alpha)}{4E} \right] dv_{iy}.$$

Оскільки швидкість частин в напрямку Y може приймати будь-які значення, то сума у виразі для тиску може бути замінена інтегралом, і відповідно

$$P = (1 + R)mn_0 \left(\frac{m}{4\pi E} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left[\frac{-mgr(1-\cos\alpha)}{2E} \right] \int_y^{-\infty} (\dot{y} - v_{iy})^2 \exp \left(-\frac{mv_{iy}^2}{E} \right) dv_{iy}.$$

Концентрація частинок обробляючого середовища в шарі біля стінок контейнера n_0 не є величиною постійною, вона періодично змінюється. Під час руху стінки в додатному напрямку (рис. 1) концентрація зростає, оскільки середовище ущільнюється, а під час руху у від'ємному напрямку концентрація зменшується, оскільки стінка відривається від частинок, що переміщуються з меншою швидкістю, збільшуючи об'єм незаповненого частинками простору. Прийmemo

$$n_0 = 0,5n_0^*(1 + \sin\omega t),$$

де n_0^* – максимальна концентрація частинок робочого середовища, що залежить від їх геометричного розміру.

Враховуючи значення E і n_0 тиск на стінку контейнера дорівнює

$$P = 0,5(1 + R)mn_0^*v_0^2\sqrt{\frac{1}{2\pi}}\exp\left[\frac{gr(1-\cos\alpha)}{v_0^2}\right](1 + \sin\omega t)I, \quad (8)$$

$$\text{де } I = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\dot{y}}{v_0} - \frac{v_y}{v_0}\right)^2 \exp\left(-\frac{v_y^2}{v_0^2}\right) d\left(\frac{v_y}{v_0}\right).$$

Цей інтеграл після проведених перетворень можна подати у вигляді

$$I = -2\frac{\dot{y}}{v_0}\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{\dot{y}^2}{v_0^2}\right) - \sqrt{\frac{\pi}{2}}\left[1 + \frac{\dot{y}^2}{v_0^2}\left(1 + \Phi\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right)\right)\right] - \Phi_1\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right), \quad (9)$$

де $\Phi\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right)$ – функція нормального розподілу; $-\Phi_1\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right) = \int_0^{\dot{y}/v_0} \frac{v_y^2}{v_0^2} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{v_y^2}{v_0^2}\right) d\frac{v_y}{v_0}$.

Графік залежності функції Φ_1 від $\frac{\dot{y}}{v_0}$ представлено на рис. 2.

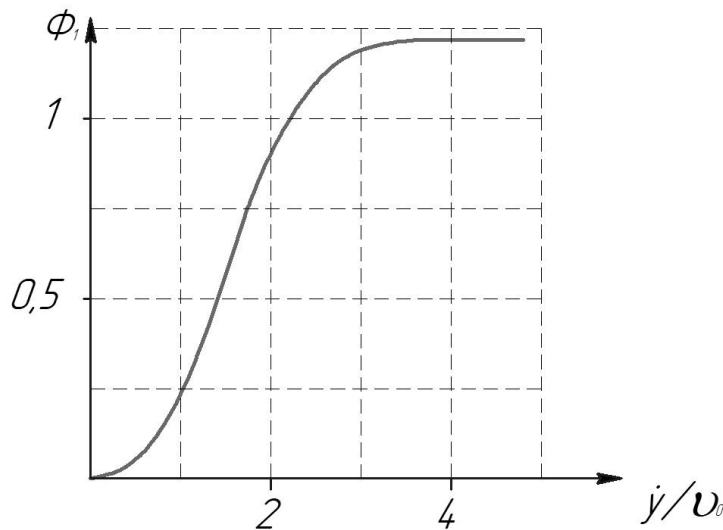


Рис. 2. Графік залежності функції Φ_1 від $\dot{y}/v_0$

Fig. 2. Graph of the dependence of the function Φ_1 on $\dot{y}/v_0$

Провівши розрахунки, отримаємо

$$I = -2\frac{\dot{y}}{v_0}\exp\left(-\frac{1}{2}\frac{\dot{y}^2}{v_0^2}\right) - \sqrt{\frac{\pi}{2}}\left[1 + \frac{\dot{y}^2}{v_0^2}\left(1 + 2\Phi\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right)\right)\right] - \Phi_1\left(\frac{\dot{y}}{v_0}\right)$$

Графічну залежність представлено на рис. 3.

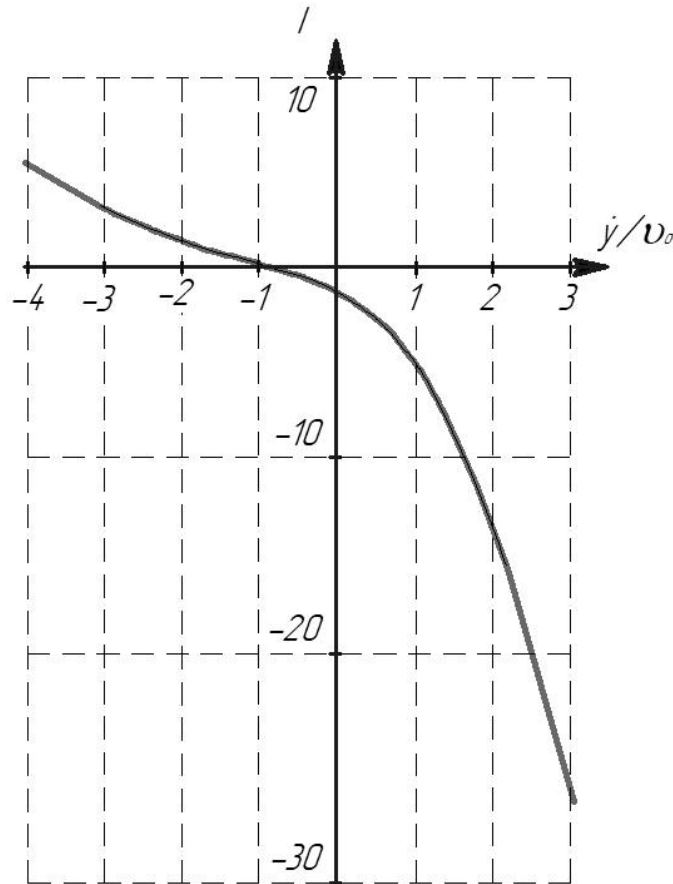


Рис. 3. Графік залежності I від $\dot{y}/v_0$
 Fig. 3. Graph of the dependence of I on $\dot{y}/v_0$

За допомогою формули (8) можна розрахувати тиск для відомого $\dot{y} = \omega A \cos(\omega t - \alpha)$ у довільний момент часу. У формулу входить невідома середньоквадратична швидкість по координаті v_0 . Вона може бути знайдена з умови, що середнє значення тиску, за період коливань контейнера, повинно дорівнювати гідростатичному тиску стовпа завантаження в даній точці. Вибираючи точку, яка розташована в нижній частині контейнера, тобто приймаючи $\alpha=0$ і висоту стовпа завантаження $2r$, представимо цю умову у вигляді

$$mgn_0^* 2r = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} p d(\omega t).$$

Підставляючи в цю залежність значення p з (8) і перейшовши до безрозмірної величини $v_0/A\omega$ отримаємо рівняння

$$\frac{4\sqrt{2}\pi r/A}{(1+R)A\omega^2/g} = \frac{v_0^2}{A^2\omega^2} I^*, \quad (10)$$

де $I^* = \int_0^{2\pi} (1 + \sin \omega t) I d(\omega t)$. Інтеграл I , що входить в цей вираз, є функцією $\frac{y}{v_0} = \frac{A\omega}{v_0} \cos \omega t$, яка представлена на рис. 3.

Позначимо праву частину (10) через $L\left(\frac{A\omega}{v_0}\right)$, і її залежність представимо на рис. 4.

З цієї залежності можна знайти відношення $\frac{A\omega}{v_0}$, а також середню квадратичну швидкість v_0 після розрахунку лівої частини рівняння (10).

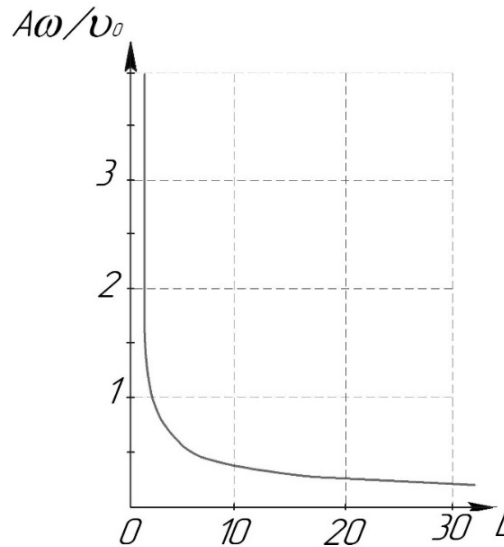


Рис. 4. Графік залежності $\frac{A\omega}{v_0}$ від параметра L

Fig. 4. Graph of the dependence $\frac{A\omega}{v_0}$ of on the parameter L

Розглянемо контейнер із радіусом циліндричної частини $r = 0,26$ м, що працює з амплітудою коливань $A=0,0055$ м і частотою $\gamma=24$ Гц. Тоді $\omega = 2\pi\gamma=150,8$ с⁻¹.

Для обробляючого середовища візьмемо сталі кульки з насипною щільністю $4,5 \cdot 10^3$ кг/м³ та коефіцієнтом відновлення від поверхні контейнера $R = 0,7$ і абразивний матеріал – тригранну призму 10 мм, з насипною щільністю $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ та коефіцієнтом відновлення від поверхні контейнера $R = 0,1$. Провівши розрахунки правих частин рівняння 10 одержимо:

для металевих кульок

$$\frac{4\sqrt{2\pi} r/A}{(1+R)A\omega^2/g} = \frac{2\sqrt{2\pi} 0,26/0,0055}{(1+0,7) 0,0055 \cdot 150,8^2/9,81} = 21,87.$$

для абразивних частинок

$$\frac{4\sqrt{2\pi} r/A}{(1+R)A\omega^2/g} = \frac{2\sqrt{2\pi} 0,26/0,0055}{(1+0,1) 0,0055 \cdot 150,8^2/9,81} = 33,8.$$

Тоді з графіка $L\left(\frac{A\omega}{v_0}\right)$ (рис. 3) видно, що для металевих кульок $\frac{A\omega}{v_0} = 0,25$, а для абразивних частинок $\frac{A\omega}{v_0} = 0,2$. З цього можна зробити висновок, що середня квадратична швидкість металевих кульок по координаті вчетверо перевищує амплітудну швидкість контейнера і дорівнює

$$v_0 = A\omega/0,25 = 0,0055 \cdot 150,8/0,25 = 3,32 \text{ м/с},$$

а середня квадратична швидкість абразивних частинок по координаті вп'ятеро перевищує амплітудну швидкість контейнера і дорівнює

$$v_0 = A\omega/0,2 = 0,0055 \cdot 150,8/0,2 = 4,15 \text{ м/с}.$$

Маючи значення v_0 , можна побудувати залежність тиску на стінку контейнера в довільній точці від часу, використовуючи формулу (8), добуток mn_0^* є насипна щільність обробляючого середовища. Відповідно для розглянутих випадків, для кульок $mn_0^* = 4,5 \cdot 10^3$ кг/м³ і для абразивних гранул $mn_0^* = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Відповідно з рівняння (8) для нижньої точки контейнера, де тиск шарів максимальний

$$P = 0,5 \cdot 1,7 \cdot 4,5 \cdot 10^3 (3,32)^2 \sqrt{1/2\pi} I (1 + \sin \omega t) = 1,682 \cdot 10^4 I (1 + \sin \omega t) \text{ Па.}$$

Із врахуванням значень I (рис. 3) будуюмо графік залежності тиску P від безрозмірної величини ωt (рис. 5).

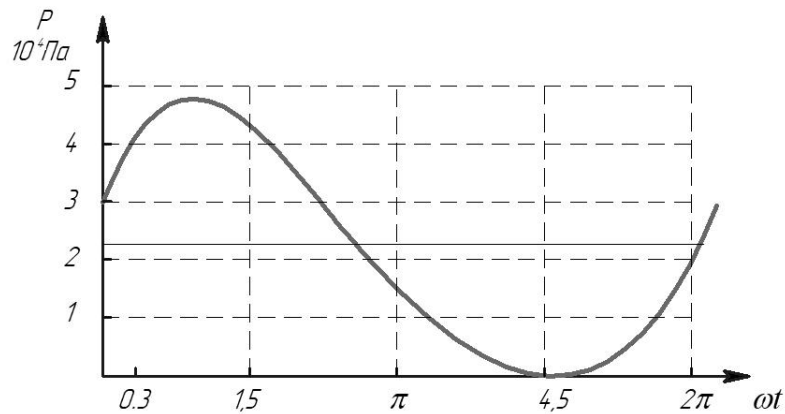


Рис. 5. Графік залежності тиску P на стінку контейнера від ωt

Fig. 5. Graph of the dependence of the pressure P on the container wall on ωt

На цьому графіку по горизонталі показано статичний тиск. Як видно з графіка, статичний тиск $P_{\text{ст}} = 2,295 \cdot 10^4$ Па майже вдвічі менший від максимального тиску $P_{\text{max}} = 4,79 \cdot 10^4$ Па. Аналогічний характер має крива зміни тиску в часі для абразивного середовища $P_{\text{max}} = 1,911 \cdot 10^4$ Па і $P_{\text{ст}} = 9,182 \cdot 10^3$ Па.

Побудуємо залежність зміни тиску шарів завантаження від кутової координати α при фазі $\omega t = 0,9$.

$$P\alpha = P_{\text{max}} \exp \left[-\frac{gr}{v_0^2} (1 - \cos \alpha) \right] = 4,79 \cdot 10^4 \exp [-0,462(1 - \cos \alpha)].$$

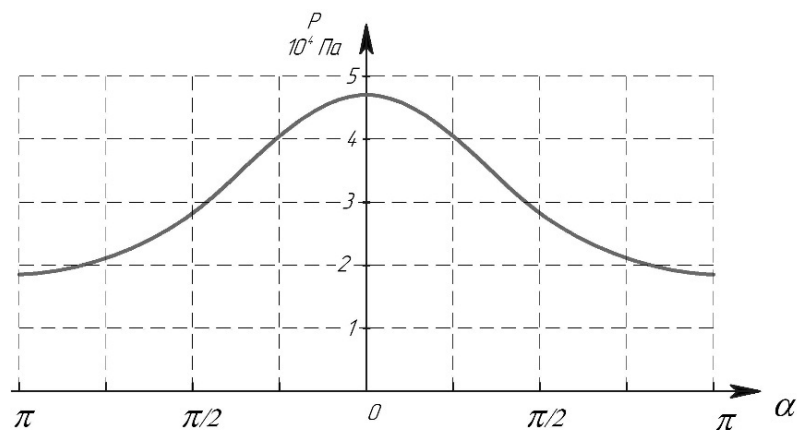


Рис.6. Графік залежності тиску P від кутової координати α .

Fig. 6. Graph of the dependence of pressure P on the angular coordinate α .

З графічної залежності випливає, що максимальне значення тиску є при $\alpha = 0$, а при $\alpha = \pi$ його значення відмінне від нуля.

Висновки

Проведено дослідження впливу кінематики руху контейнера вібраційної машини з циліндричним контейнером на величину ударного імпульсу під час контакту гранул обробляючого середовища із стінкою контейнера. Проведення аналізу кінематики руху контейнера і визначення величини ударного імпульсу під час контакту гранул із стінкою контейнера дасть змогу точніше визначати параметри оброблення виробів у вібраційних машинах. Представлені результати свідчать про перспективність дослідження процесу вібраційної обробки виробів та пошуку нових, більш енергоєфективних режимів роботи такого обладнання.

Інформаційні джерела

1. Borovets V., Lanets O., Korendiy V., Dmyterko P. Volumetric vibration treatment of machine parts fixed in rotary devices // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. Advanced manufacturing processes : 2nd Grabchenko's international conference on advanced manufacturing processes (InterPartner-2020), September 8–11, 2020, Odessa, Ukraine. P. 373–383.
2. Bańkowski D., Spadło S. The application of vibro-abrasive machining for smoothing of castings. *Arch. Foundry Eng.* 17(1), 169–173 (2017).
3. Bańkowski D., Spadło S. The influence of abrasive paste on the effects of vibratory machining of brass. *Arch. Foundry Eng.* 19(3), 5–10 (2019).
4. Гевко Б. М., Кондратюк О. М. Результати експериментальних досліджень вібраційно-відцентрової обробки. *Вісник ЖДТУ*. 2(61) С. 9–14. (2012).
5. Kunderák J., Morgan M., Mitsyk A. V., Fedorovich V. A. The effect of the shock wave of the oscillating working medium in a vibrating machine's reservoir during a multi-energy finishing-grinding vibration processing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 106(9–10), 4339–4353 (2020).
6. Schulze V., Gibmeier J., Kacaras A. Qualification of the stream finishing process for surface modification. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 66(1), 523–526 (2017).
7. Vijayaraghavan V., Castagne S. Sustainable manufacturing models for mass finishing process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 86(1–4), 49–57 (2016).
8. Da Silva Maciel L., Spelt J. K. Influence of process parameters on average particle speeds in a vibratory finisher. *Granular Matter* 20(4), 65 (2018).
9. Zhang C., Liu W., Wang, S., Liu Z., Morgan M., Liu X. Dynamic modeling and trajectory measurement on vibratory finishing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 106(1–2), 253–263 (2020).
10. Hashimoto F., Johnson S. P. Modeling of vibratory finishing machines. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 66(1), 313–316. (2017).
11. Liu X. et al. *Numerical simulation of vibratory tumbling using DEM*. // *Journal of Manufacturing Processes*. (2020).
12. Khatri R. et al. *Discrete element modelling of vibratory finishing media flow* // *Powder Technology*. (2019).
13. Ребот Д. П., Топільницький В. Г., Велика О. Т. Дослідження зміни амплітуди та частоти коливань сипкого матеріалу в процесі вібраційної сепарації. *Науковий вісник НЛТУ України*. Т. 30. № 2, 118–121. (2020).

Volodymyr Borovets

Lviv Polytechnic National University

KINEMATICS OF MOTION AND DETERMINATION OF THE IMPACT IMPULSE DURING CONTACT OF GRANULES WITH THE WALL OF A VIBRATING CONTAINER

Purpose. The study aims to investigate the influence of the motion kinematics of the cylindrical container of a vibrating machine on the magnitude of the impact impulse during contact between the granules of the processing medium and the container wall. **Relevance.** Vibration processing of parts is a complex system whose efficiency depends on many factors, such as the parameters of the drive and the elastic suspension of the container, the shape and dimensions of its working elements, the properties of the processing media themselves, and the factors of interaction

between the processing medium and the container. In known analytical methods, the container motion of vibrating machines is described by the equations of rigid body mechanics, while the working medium receives impact impulses from the container walls. Analyzing the container's motion kinematics and determining the magnitude of the impact impulse during granule-wall contact allows for a more accurate determination of processing parameters in vibrating machines. **Methodology.** The container-working medium system is considered under the assumption that the impact during collision between the wall and the working medium is instantaneous and elastic. The motion of the granules of the processing medium in the vibrating container is based on the laws of Newtonian mechanics and probability theory. **Results.** During the analysis of the contact between the container wall and the particles of the working medium, it is taken into account that the particle concentration in the layer near the container walls is not constant but periodically varies. The dependence of the change in the root mean square (RMS) velocity of the working medium particles during wall motion was determined. **Scientific novelty.** New mathematical relationships have been obtained for determining the RMS velocity of the working medium at any given moment in time. **Practical significance.** Based on the conducted research, dependencies of the RMS velocity of the working medium during vibration processing of products have been obtained.

Keywords: vibration processing, container, working medium, vibration amplitude, bulk density, root mean square velocity.

References

1. Borovets, V., Lanets, O., Korendiy, V., Dmyterko, P. Volumetric vibration treatment of machine parts fixed in rotary devices // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. (2021). Advanced manufacturing processes : 2nd Grabchenko's international conference on advanced manufacturing processes (InterPartner-2020), September 8–11, 2020, Odessa, Ukraine. P. 373–383.
2. Bańkowski, D., Spadło, S. The application of vibro-abrasive machining for smoothing of castings. *Arch. Foundry Eng.* 17(1), 169–173. (2017).
3. Bańkowski, D., Spadło, S. The influence of abrasive paste on the effects of vibratory machining of brass. *Arch. Foundry Eng.* 19(3), 5–10. (2019).
4. Gevko, B. M., Kondratyuk, O. M. Results of experimental studies of vibration-centrifugal processing. *Bulletin of ZhDTU*. 2(61). Pp. 9–14. (2012).
5. Kunderák, J., Morgan, M., Mitsyk, A. V., Fedorovich, V. A. The effect of the shock wave of the oscillating working medium in a vibrating machine's reservoir during a multi-energy finishing-grinding vibration processing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 106(9–10), 4339–4353. (2020).
6. Schulze, V., Gibmeier, J., Kacaras, A. Qualification of the stream finishing process for surface modification. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 66(1), 523–526. (2017).
7. Vijayaraghavan, V., Castagne, S. Sustainable manufacturing models for mass finishing process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 86(1–4), 49–57. (2016).
8. Da Silva Maciel, L., Spelt, J. K. Influence of process parameters on average particle speeds in a vibratory finisher. *Granular Matter* 20(4), 65. (2018).
9. Zhang, C., Liu, W., Wang, S., Liu, Z., Morgan, M., Liu, X. Dynamic modeling and trajectory measurement on vibratory finishing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 106(1–2), 253–263. (2020).
10. Hashimoto, F., Johnson, S. P. Modeling of vibratory finishing machines. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 66(1), 313–316. (2017).
11. Liu, X., et al. *Numerical simulation of vibratory tumbling using DEM* // *Journal of Manufacturing Processes*. (2020).
12. Khatri, R. et al. *Discrete element modelling of vibratory finishing media flow* // *Powder Technology*. (2019).
13. Rebot, D. P., Topilnytskyi, V. G., Velyka, O. T. Research on the change in the amplitude and frequency of oscillations of bulk material in the process of vibration separation. *Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*. Vol. 30. No. 2, 118–121. (2020).