
**Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**



Матеріали

**VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції
«Створення, експлуатація і ремонт
автомобільного транспорту та
будівельної техніки»
24 квітня 2025 р.**

Полтава 2025

*Коробко Богдан Олегович, д.т.н., професор
Бугров Дмитро Юрійович, аспірант*

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОЇ ВІБРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Запропонована математична модель комбінованого процесу віброобробки в установці з ротаційною робочою камерою (активний робочий орган), яка реалізована в рамках методу дискретних елементів (DEM) із урахуванням мікромеханіки взаємодії частинок і деталей. Вона враховує основні діючі сили в системі деталь-абразив: контактні, відцентрову, вібраційну, гравітаційну. Модель ґрунтується на теоріях Герца-Міндліна та постійно орієнтовано обертового моменту та комплексно враховує характер взаємодії частинок з врахуванням зміни динамічних умов. Числовим моделюванням DEM здійснено відтворення взаємодії великої кількості частинок на мікрорівні, що забезпечило фізично обґрунтоване відтворення процесу для дослідження впливу віброзбурювальних та відцентрових сил на робоче середовище комбінованого віброабразивного процесу.

Вихідні припущення моделі: частинки абразиву і деталі розглядаються як кулі зі скінченим радіусом та жорсткою поверхнею. Обертовий барабан рухається з кутовою швидкістю ω , а платформа вібрує з амплітудою A і частотою f .

Поступальний та обертальний рух кожної окремої частинки описується шляхом розв'язання рівняння на основі другого закону Ньютона:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \sum_j (F_{ij}^n + F_{ij}^t) + m_i g - A \omega_v^2 \sin(\omega_v t) \cdot e_z + m_i \omega_c^2 r_i - 2m_i (\omega_c \cdot v_{rel,i}), \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_j (R_{ij} \cdot F_{ij}^t - \tau_{ij}^r). \quad (2)$$

Нормальна F_n і тангенціальна F_t сили в точці контакту частинок абразиву та деталей визначаються за допомогою лінійної пружинно-демпферної контактної моделі Герца-Міндліна, розрахункова схема якої зображена на рисунку 1.

Ці теорії описують нелінійні залежності між нормальними еластичними силами та переміщеннями, які виражаються рівняннями:

$$F_n^e = -k_n \cdot \delta_n = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^* \cdot |\delta_n|} \cdot \delta_n + m_i (g + a_{vib} + a_{centr}), \quad (3)$$

$$F_t^e = -k_t \cdot \delta_t = 8 \cdot G^* \sqrt{R^* \cdot |\delta_n|} \cdot \delta_t \quad (4)$$

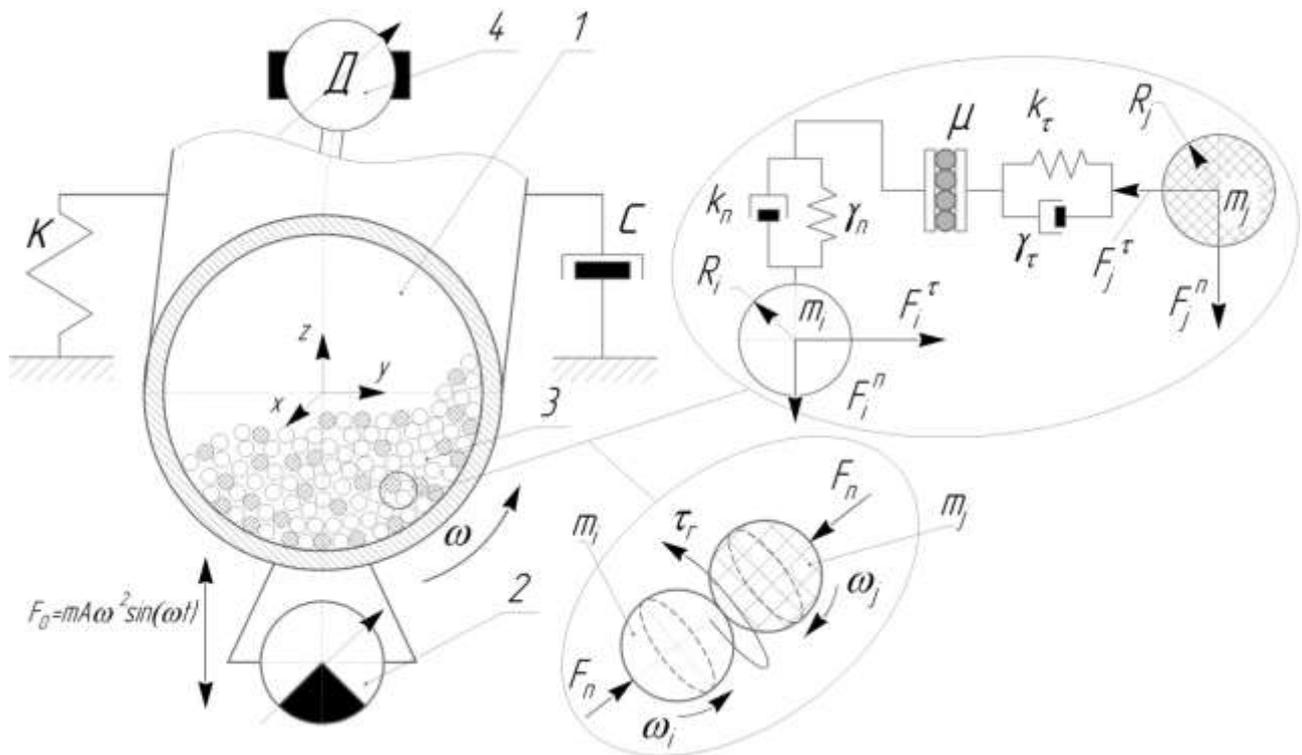


Рисунок 1 – Розрахункова схема віброустановки

Еквівалентний модуль зсуву:

$$G^* = \frac{1}{\frac{2(2-\nu_i) \cdot (2-\nu_i)}{E_i} + \frac{2(2-\nu_j) \cdot (2-\nu_j)}{E_j}} \quad (5)$$

Еквівалентний модуль Юнга:

$$E^* = \frac{1}{\frac{1-\nu_i^2}{E_i} + \frac{1-\nu_j^2}{E_j}} \quad (6)$$

$$F_n^v = \gamma_n \cdot v^n = -2\sqrt{\frac{5}{6}} \cdot \beta \cdot \sqrt{S_n \cdot m^* \cdot v^n} \quad (7)$$

$$F_t^v = \gamma_t \cdot v^t = -2\sqrt{\frac{5}{6}} \cdot \beta \cdot \sqrt{S_t \cdot m^* \cdot v^t} \quad (8)$$

Чисельне моделювання методом DEM виконувалося у програмному середовищі Simulink програмного комплексу MATLAB. Для реалізації рівнянь використовувались функціональні блоки Simulink такі як: Constant, Gain, Integrator, Math Function, Sum, Derivative. Задані значення процесу: $f=50$ Гц, $A=1\dots3$ (мм), $\omega=0\dots10$ (рад/с), $\mu=0,3$, $R_a=3$ мм, $R_d=6$ мм.

Моделювання базується на поділі часу на малий часовий крок Δt і повторенні ітераційного циклу для обчислення стану системи в кожен момент часу, зазвичай в межах від 10^{-6} с до 10^{-5} с.

На рисунку 2 зображені тривимірні траєкторії руху частинок. На рисунку 3 показано розподіл контактного тиску у робочій камері віброустановки при

різних швидкостях обертання і однакої амплітуді вібрацій 2 мм. При меншій швидкості тиск рівномірно розподіляється від центру камери й поступово знижується до її країв. Максимальний тиск спостерігається у центрі.

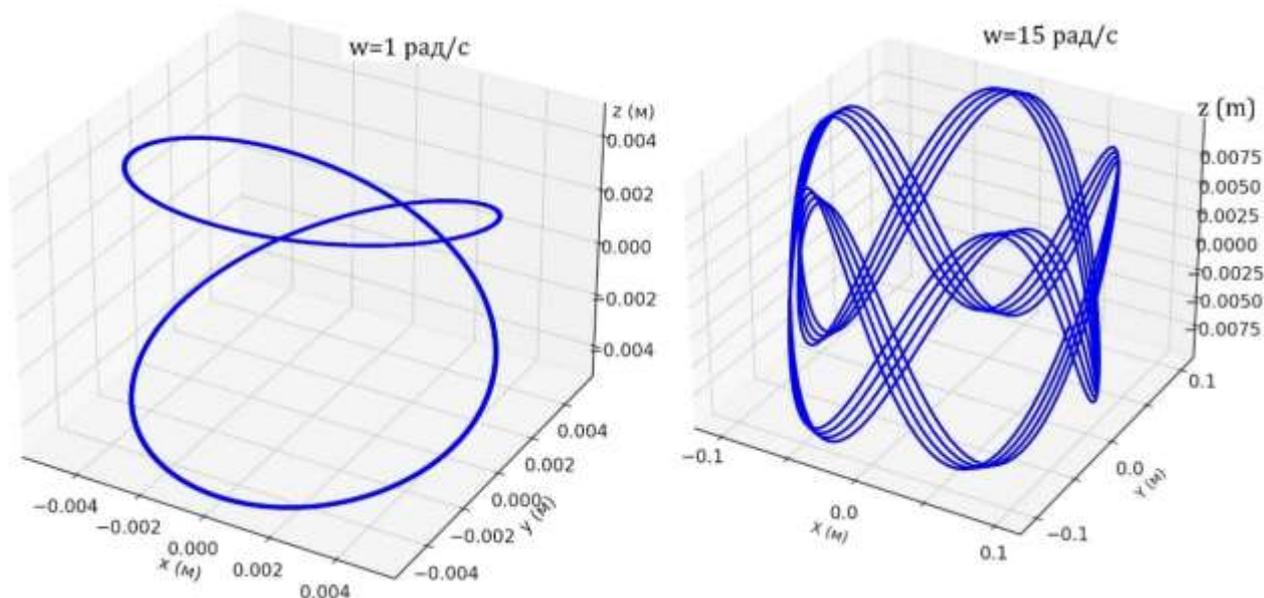


Рисунок 2 – Траєкторія руху частинок в обертовій камері

Максимальний тиск тепер спостерігається біля периферії камери, що дозволяє обробляти деталі більш рівномірно, підвищуючи якість поверхні та продуктивність.

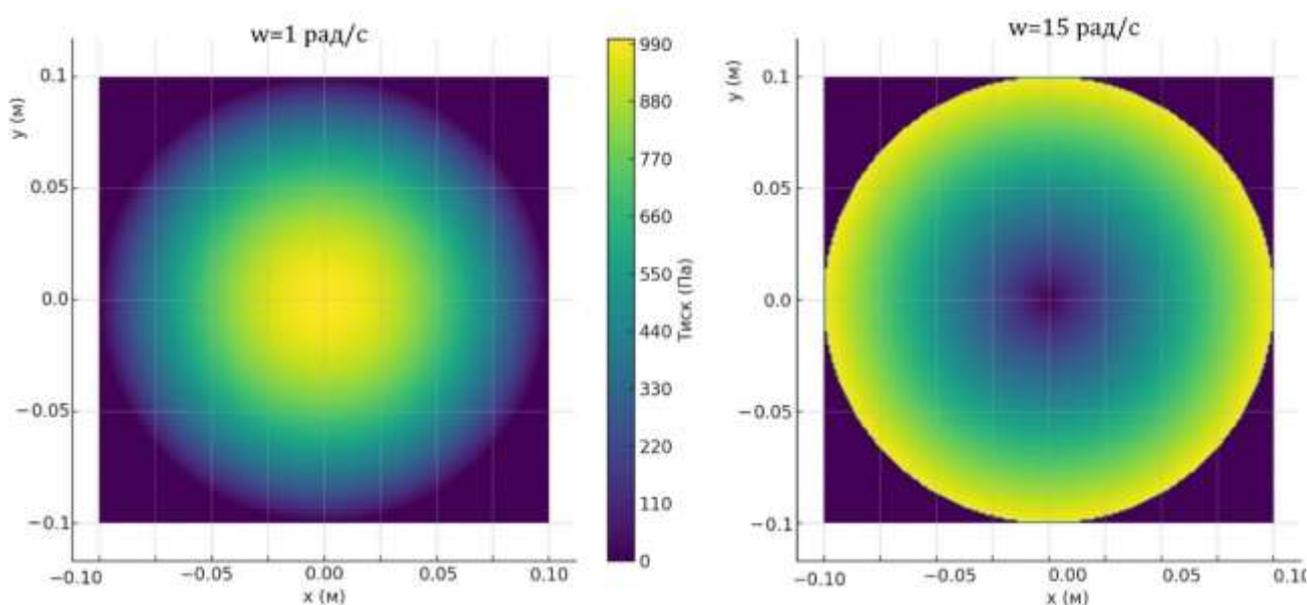


Рисунок 3 – Карта розподілу контактного тиску в обертовій камері

Наведена методика може бути використана для попередньої оцінки ефективності аналогічного обладнання для комбінованої віброобробки на етапі проектування до проведення експериментальних досліджень.

Література

1. Hashimoto, F., Johnson, S.P. and Chaudhari, R. (2016) 'Modeling of material removal mechanism in vibratory finishing process', *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 65, pp. 325–328. doi: 10.1016/j.cirp.2016.04.081.
2. Mindlin, R.D. (1949) 'Compliance of elastic bodies in contact', *Journal of Applied Mechanics*, ASME, 16, pp. 259–268.
3. Tsuji, Y., Tanaka, T. and Ishida, T. (1992) 'Lagrangian numerical simulation of plug flow of cohesionless particles in a horizontal pipe', *Powder Technology*, 71(3), pp. 239–250. doi: 10.1016/0032-5910(92)88030-L.

УДК 666.983

*Блажко Володимир Володимирович, к.т.н., доцент
Аніщенко Анна Ігорівна, к.т.н., доцент
Григорків Олексій Борисович, аспірант
Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова*

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНЕВОЇ СИСТЕМИ БЕТОНОНАСОСА МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Поршневі бетононасоси – ключовий елемент будівельної техніки для транспортування бетонної суміші, що піддається інтенсивному зносу через абразивну дію, високий тиск та циклічні навантаження. Ефективне відновлення їх робочих органів є критичним для подовження строку служби обладнання та зниження витрат.

Поширений інженерний підхід до вибору методу відновлення є здебільшого суб'єктивним, базується на обмеженій кількості критеріїв та не враховує комплексну оцінку ефективності альтернативних технологій.

Пропонується розробити обґрунтований підхід до вибору доцільної технології відновлення зношених поверхонь поршневої групи бетононасосу з урахуванням технічних, економічних та експлуатаційних критеріїв за допомогою методу аналізу ієрархій.

Здійснено побудову ієрархічної моделі, формування матриць парних порівнянь критеріїв та альтернатив (технології відновлення деталі), розрахунок вагових коефіцієнтів і глобальних пріоритетів за методом Т. Сааті.

В роботі розглядалися три технології відновлення: наплавлення, гальванічне покриття та газотермічне напилення [1, 2]. У якості критеріїв оцінки було обрано: простоту реалізації, вартість, витрати часу, екологічність, якість відновлення, довговічність, адгезійну здатність покриття. За результатами парних порівнянь і подальшої агрегації ваг, найбільший пріоритет отримало наплавлення, яке поєднує високу якість, зносостійкість та ефективність при значних ушкодженнях поверхні поршневої групи бетононасосу.
