

Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНОДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ**



**ЗБІРКА НАУКОВИХ ПРАЦЬ
Всеукраїнської наукової конференції**

***«Підвищення ефективності експлуатації,
обслуговування і сервісу технологічних машин та
обладнання – 2026»***

29 січня 2026 року

Харків

ХНАДУ 2026

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ ВІБРОАБРАЗИНОЇ ОБРОБКИ З АКТИВНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Богдан КОРОБКО¹, Тетяна БУГРОВА², Дмитро БУГРОВ³

¹Доктор технічних наук, професор, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

²Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

³Здобувач третього рівня вищої освіти (аспірант), кафедра галузевого машинобудування, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

Підвищення продуктивності та енергоефективності фінішної обробки деталей складної форми є важливим завданням для багатьох галузей, в тому числі і нафтогазової. Віброабразивна обробка ефективно очищає різьбові з'єднання елементів трубної арматури від нагару, корозії, піску й залишків мастил. На відміну від ручних і хімічних методів, вона забезпечує рівномірне видалення забруднень без пошкодження профілю різьби, скорочує час підготовки деталей до ремонту чи нанесення покриттів і підвищує надійність обладнання. Проте її результати істотно залежать від вірно обраних режимів роботи обладнання. Особливо це актуально для комбінованих способів віброобробки, які забезпечують гнучке керування динамікою взаємодії абразивних тіл та деталей, дозволяють змінювати інтенсивність знімання матеріалу забезпечуючи високу енергоефективність процесу.

З огляду на потребу підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат у віброабразивній обробці, актуальним є пошук рішень, що забезпечують ефективніше керування динамікою робочого середовища, посилення контактної взаємодії та оптимізацію енергоспоживання [1]. Більшість наявних установок має обмежену технологічну гнучкість і не дозволяє повною мірою регулювати збурювальні сили залежно від типу деталей та абразивного матеріалу. Унаслідок цього не повністю реалізується потенціал існуючого обладнання, а ефективність процесу залишається нижчою за можливу.

Теоретичні та експериментальні дослідження режимів роботи комбінованого способу обробки проводились на створеній дослідній віброустановці в лабораторії КБ «Вібротехніка» кафедри галузевого машинобудування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» [2]. Загальний вигляд установки наведено на рис. 1.

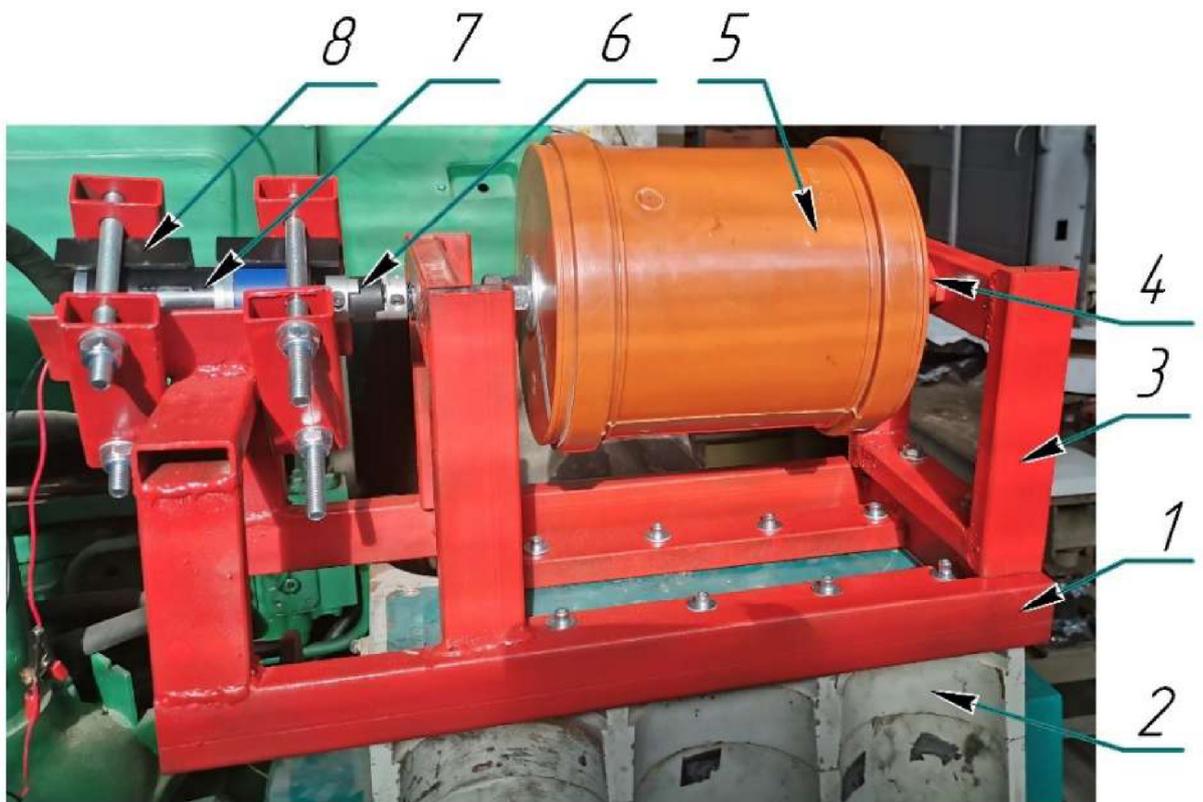


Рис. 1- Загальний вигляд комбінованої віброустановки:

1 – рама; 2 – віброплатформа; 3 – знімна стійка рами; 4 – підшипник; 5 – робоча камера (обертювий барабан); 6 – муфта; 7 – електродвигун барабана; 8 – елементи кріплення електродвигуна

Робоче середовище у віброабразивній обробці є сипучим, та містить велику кількість абразивних частинок і деталей, які постійно взаємодіють між собою. У нерухомому стані робоче середовище має властивості твердого тіла, однак під дією віброзбурення або обертання набуває властивостей в'язкопружного тіла або текучого середовища.

Під впливом вібраційних збурень абразивні частинки в робочій камері отримують змінні швидкості та прискорення, що зумовлює постійну зміну контактних сил між ними. Коли інерційна складова прискорення перевищує силу тяжіння, нормальний тиск між частинками зменшується або зникає. У таких умовах сипуча суміш починає поводитись подібно до рідини, що проявляється у вигляді ефекту псевдорозрідження [3].

Робоча камера обертається навколо горизонтальної осі, створюючи циркуляційний рух компонентів середовища. Введемо безрозмірний критерій K_T , що описує характер руху, який можна визначити за співвідношенням:

$$K = \frac{\omega^2 R}{g} \quad (1)$$

де R — внутрішній радіус робочої камери;
 ω — кутова швидкість обертання камери;
 g — гравітаційне прискорення;

Розглянемо три основні характерні режими руху середовища в обертовій камері віброустановки, без врахування віброзбурення.

1) За низьких швидкостей обертання ($K < 0,1$) абразивні тіла та деталі частково захоплюються стінкою камери та піднімаються вгору, але відцентрова сила недостатня для їх стійкого утримання. Частинки під дією власної ваги вільно переміщуються вниз, формуючи шар із похилою поверхнею, яка постійно оновлюється. Рух середовища є хаотичним, з малою кінетичною енергією та короткочасними слабкими контактами, що обумовлює низьку інтенсивність обробки.

2) За середніх швидкостей обертання ($0,1 < K < 1$) абразивні тіла та деталі піднімаються приблизно до $1/3$ – $1/2$ висоти камери, після чого відриваються від стінки та вільно падають. У результаті формується змінна контактна взаємодія частинок, що створює циклічне навантаження та забезпечує ефективне зняття матеріалу.

3) Центрифужний режим. За високих швидкостей обертання ($K > 1$) відцентрова сила перевищує силу тяжіння. Частинки набувають максимальної кінетичної енергії, але вона витрачається переважно на обертання разом із камерою без відносного зміщення. Через відсутність ковзання та ударних контактів ефективність обробки знижується, адже енергія майже не перетворюється на корисну роботу в зоні взаємодії.

Сутність комбінованого процесу полягає у ефективному поєднанні вібраційного збурення з обертанням камери, що є активним робочим органом. При раціональному режимі роботи комбінація двох різних типів руху формує в робочій камері умови, що інтенсифікують циркуляцію абразивних тіл і підвищують ефективність їхнього контакту з поверхнею деталей. У процесі формується динамічна картина з різнотипними контактами — ударними, ковзними та обертальними. Завдяки цьому відбувається перерозподіл кінетичної енергії сипучого середовища: без зміни її загального рівня зростає частка, яка витрачається безпосередньо на контактну взаємодію з деталлю. Відповідно збільшується ефективна кінетична енергія, що спрямовується на знімання матеріалу.

Ефективність режимів роботи комбінованого способу обробки оцінювалась за допомогою запропонованого коефіцієнта ефективної взаємодії K_e , що показує частку енергії, що витрачається безпосередньо на знімання матеріалу.

$$K_e = \frac{E^*}{E_k}, \quad (2)$$

де E^* – ефективна кінетична енергія, реалізована в зоні контакту;

E_k – загальна кінетична енергія частинок абразивного середовища.

Очевидно, що $0 \leq K_e \leq 1$. Значення, наближене до 1, вказує на високий рівень корисного використання загальної енергії, тоді коли значення прямують до 0 це свідчить про її неефективне використання.

Отримані результати експериментального дослідження розробленої комбінованої віброустановки шляхом проведення трифакторного

експерименту [4] засвідчили про наявність раціонального режиму роботи та встановили залежність його від зміни основних параметрів обладнання.

Література

1. Бугров Д. Ю. (2024). Аналіз досліджень та сучасних методів моделювання процесів віброабразивної обробки деталей. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5, (148), 78–82. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.5.11>
2. Buhrov, D., & Buhrova, T. (2023). Calculation of optimal parameters for a vibratory finishing machine for decorative elements with an active working tool. *Academic Journal Industrial Machine Building Civil Engineering*, 2(61), 52–59. <https://doi.org/10.26906/znp.2023.61.3853>
3. Hashimoto, F., Johnson, S. P., & Chaudhari, R. G. (2016). Modeling of material removal mechanism in vibratory finishing process. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 65(1), 325–328. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.011>
4. Бугров, Д., & Коробко, Б. (2025). Дослідження процесу комбінованої віброабразивної обробки у віброзмішувачі з активним робочим органом. *Технічні науки та технології*, (2 (40)), 116–127. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-116-127](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-116-127)