



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



УКРАЇНЬСЬКА РАДА
ІНЖЕНЕРІВ-БУДІВЕЛЬНИКІВ



БУДІВЕЛЬНА
ПАЛАТА
УКРАЇНИ



АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА
УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ»



VI Міжнародна науково-практична конференція «ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

20-21 травня 2025 року

Присвячено 95-річчю з дня заснування КНУБА

Матеріали конференції

Київ 2025

- Nazarenko, I. I., Diachenko, O.S. (2019) Eksperymentalni doslidzhennia robochoho protsesu vibratsiinoi ustanovky dlia ushchilnennia betonnykh sumishei zi zminnym rezhymom roboty [Experimental studies of the working process of a vibrating installation for compacting concrete mixtures with a variable operating mode]. *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny - Mining, Construction, Road and Melioration Machines*, № 92, 24–31. [in Ukrainian]. <http://gbdmm.knuba.edu.ua/article/view/182061>
- Maslov O., Savielov D., Salenko Y., Javadova M. (2022) Theoretical study of the dynamic system «Vibration Platform – Polymer Concrete» stress–strain state. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations (ICBI 2020) : Lecture Notes in Civil Engineering*, Vol. 181, 191–201. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-85043-2_19

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНОГО ВІБРОАБРАЗИВНОГО ПРОЦЕСУ

Дмитро Бугров, аспірант¹ (ORCID: 0009-0000-4571-5147),

Богдан Коробко, професор, д.т.н., професор¹ (ORCID: 0000-0002-9086-3904),

Тетяна Бугрова, доцент, к.т.н., доцент¹ (ORCID: 0000-0003-2690-4131),

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Віталія Грицаєнка 24, 36011, Україна

АНОТАЦІЯ. Наведено отримані експериментальні дані та виконано їх аналіз з метою встановлення енергоефективності комбінованого віброабразивного процесу, що реалізується шляхом одночасної дії вібраційного збурення та обертального руху активного робочого органу. Основну увагу зосереджено на визначенні частки спожитої енергії, яка безпосередньо витрачається на знімання матеріалу з поверхні деталей, та оцінці впливу основних параметрів — амплітуди вібрації, частоти обертання робочої камери та маси середовища на енергетичну ефективність процесу. Проведено заміри потужності споживання як приводу вібростолу так і приводу роторної робочої камери при зміні режимів їх роботи. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації конструкції аналогічного обладнання та визначення їх оптимальних режимів роботи.

Ключові слова: віброабразивна обробка; комбінований спосіб; вібропривод; роторна робоча камера; показник енергоефективності; знімання матеріалу

Вступ. Сучасні технології обробки поверхонь вимагають не лише високої якості кінцевого результату, а й ефективного використання енергетичних ресурсів. У контексті загального тренду на енергоощадне виробництво особливої актуальності набуває аналіз енергоефективності технологічних процесів, зокрема віброабразивної обробки, яка широко використовується для фінішного полірування, заокруглення кромки, зняття задирок тощо.

Традиційні віброустановки, незважаючи на свою універсальність, характеризуються незначною ефективністю використання загальної енергії системи для виконання корисної роботи. Це зумовлює необхідність пошуку нових технологічних рішень, які дозволили б покращити використання енергії в зоні обробки.

Аналіз літературних джерел. У роботах [1] зазначено, що механізм знімання матеріалу під час віброобробки зумовлений багаторазовими ударами, ковзанням та тертям частинок абразиву по поверхні деталі, однак лише незначна частка енергії приводів безпосередньо бере участь у формуванні контактної взаємодії.

Окрім дослідження фокусуються на вивченні енергетики віброобробки з позицій математичного моделювання. Зокрема, роботи [2] заклали основи дискретного елементного моделювання (DEM), що дозволяє детально описати мікрвзаємодію частинок. Подальший розвиток отримали моделі з урахуванням ефективною контактної сили, що визначається як результат пружного деформування та тертя при динамічному зіткненні тіл [3].

Водночас у проаналізованих джерелах практично відсутній системний підхід до оцінки енергоефективності такого комбінованого процесу, зокрема у вигляді кількісного аналізу енергоспоживання окремих приводів та їх зв'язку з вихідними параметрами обробки. Більшість моделей зосереджуються на кінематичних і контактних характеристиках без урахування фактичного споживання потужності приводами віброплатформи та обертаною камери.

Мета роботи. Метою даного дослідження є оцінка та кількісний аналіз енергоефективності комбінованого віброабразивного процесу, який реалізується шляхом поєднання вібраційного

збурення та обертального руху активного робочого органу для встановлення закономірностей зміни енергоспоживання вібропривода та привода роторної робочої камери в залежності від режимів роботи.

Виклад основного матеріалу. У роботі досліджується комбінований віброабразивний процес, у якому реалізується одночасна дія вібраційного збурення та обертального руху робочої камери. Завдяки додатковій дії відцентрових сил створюються сприятливі умови для покращення циркуляції абразивних тіл, підвищення щільності контактної взаємодії та інтенсифікації процесу.

Експериментальні дослідження проводились на спеціально розробленій віброустановці зображеній на рис. 1 в лабораторії КБ «Вібротехніка» кафедри галузевого машинобудування Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Сплановано та реалізовано трифакторний експеримент другого порядку побудований на основі центрально-композиційного плану з метою встановлення залежності питомої швидкості знімання матеріалу від режимів роботи обладнання.

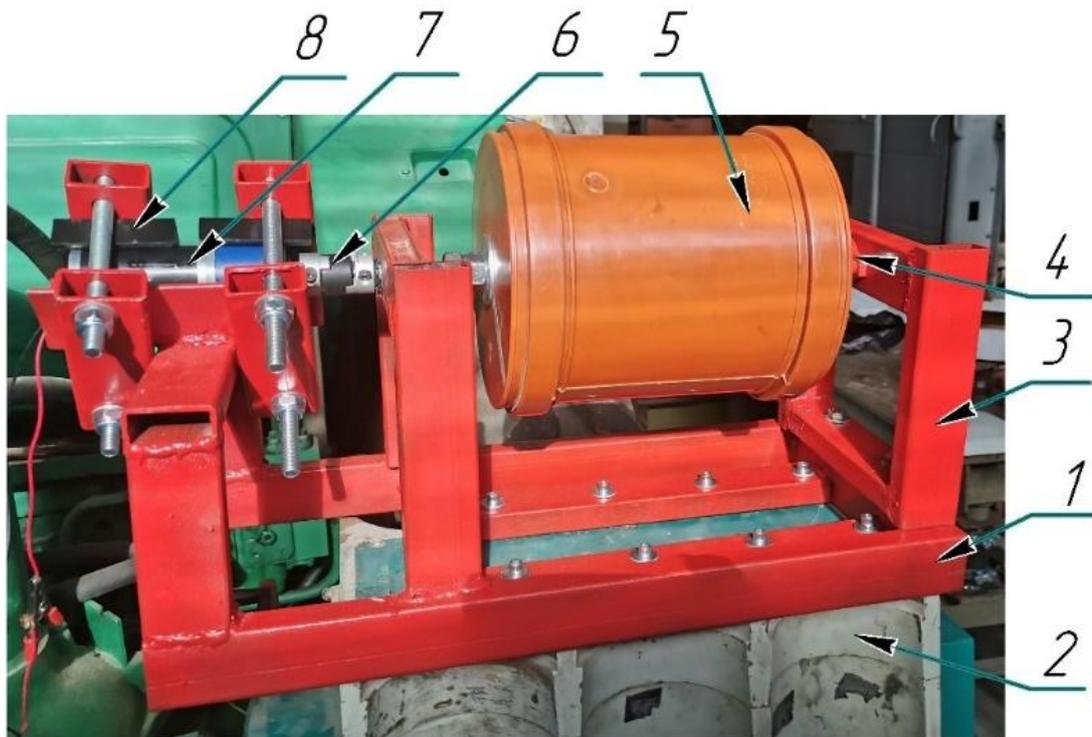


Рис.1. Загальний вид виготовленої дослідної віброустановки:

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

З метою комплексної оцінки ефективності запропонованого комбінованого методу віброабразивної обробки було додатково проведено заміри споживаної окремо для вібробуджувача P_1 та двигуна, що забезпечує обертання робочої камери P_2 .

Запропонований показник енергоефективності η_e , що характеризує, наскільки ефективно обладнання використовує загальну потужність:

$$\eta_e = \frac{V_p}{P_\Sigma}, \left[\frac{m\%}{kg \cdot \text{год} \cdot \text{Вт}} \right], \quad (1)$$

$$P_\Sigma = P_1 + P_2, \quad (2)$$

Залежність швидкості знімання матеріалу визначалась експериментально від трьох незалежних факторів - амплітуди вібрацій A , частота обертання камери W , маса середовища M :

$$V_p = f(A, W, M) \quad (3)$$

Тоді показник енергоефективності можна розглядати як частинну похідну продуктивності від енергії, тобто:

$$\Delta\eta_e = \frac{f(A_2, W_2, M_2) - f(A_1, W_1, M_1)}{[P_1(A_2, M_2) + P_2(W_2, M_2)] - [P_1(A_1, M_1) + P_2(W_1, M_1)]} \quad (4)$$

В межах коли відбувається лише зміна W при фіксованих A і M це рівняння спрощується до:

$$\Delta\eta_e = \frac{Vp_{w2} - Vp_{w1}}{P_{w2} - P_{w1}} \quad (5)$$

Таблиця 1.

Значення споживаної потужності приводами установки

Амплітуда коливань, мм		Маса компонентів, кг	Частота обертання камери, об/хв					
			36		70		104	
			P ₁ , Вт	P ₂ , Вт	P ₁ , Вт	P ₂ , Вт	P ₁ , Вт	P ₂ , Вт
1	3,2	765	3,2	766	7,8	765	22,5	
	4,8	774	5,1	778	11,5	779	38,7	
	6,4	782	8,6	782	15,3	785	52,3	
2	3,2	780	3,2	778	7,2	782	21,1	
	4,8	791	5,0	790	10,5	791	38,2	
	6,4	803	7,9	803	14,1	804	51,0	
3	3,2	837	3,0	839	6,9	838	20,8	
	4,8	846	4,3	841	10,3	840	36,3	
	6,4	872	7,0	877	12,1	877	49,2	

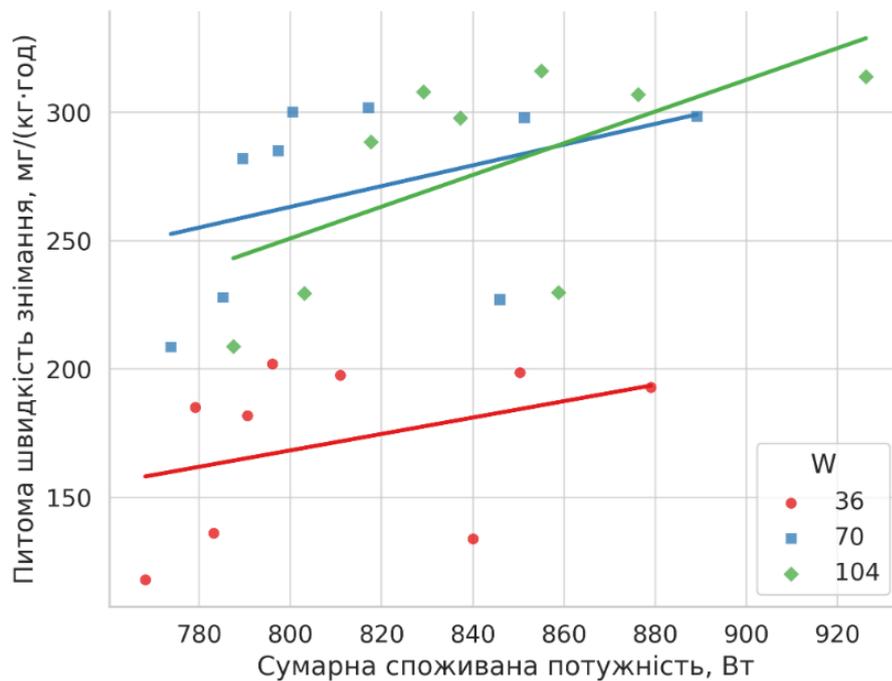


Рис.2. Графік залежності швидкості знімання від потужності при певних частотах обертання робочої камери

Встановлено, що при збільшенні частоти обертання камери зростає також і показник η_e від 0,21 до 0,34 мг/(кг·год·Вт), що свідчить про поліпшення умов контактої взаємодії частинок при обертанні камери. Потужність обертального привода P_2 істотно зростає з переходом до вищих швидкостей: від 5,3 Вт до 36,7 Вт. При цьому показник η_e знижується в чотири рази — з 35,62 до 8,16 мг/(кг·год·Вт). Це означає, що енергія, витрачена на обертання камери, стає менш продуктивною при збільшенні частоти обертання, і кожен додатковий ват забезпечує все менший приріст продуктивності знімання.

Проведений аналіз по побудованому на рис. 2 графіку встановив, що перехід від мінімальної

(36 об/хв) до середньої частоти обертання камери (70 об/хв) є найбільш енергоефективним. Незначне збільшення потужності (≈ 6 Вт) сприяє суттєвому зростанню швидкості знімання (на 98,17 мг/(кг·год)), що свідчить про ефективніше використання енергії, яка йде безпосередньо на знімання матеріалу. Водночас подальше підвищення частоти обертання камери (від 70 до 104 об/хв) не супроводжується пропорційним зростанням продуктивності. Зафіксовано низьку енергоефективність такого переходу, оскільки суттєве збільшення споживаної потужності (≈ 27 Вт) забезпечує приріст питомої швидкості знімання лише на 7,83 мг/(кг·год). Це свідчить про нераціональне використання енергії у високошвидкісному режимі. Встановлено, що оптимальним є режим комбінованої віброабразивної обробки з амплітудою коливань близько 2 мм, середньою масою завантаження 4,8–5,6 кг та частотою обертання камери в межах 70–90 об/хв. Саме цей діапазон режимів дозволяє досягти оптимального балансу між питомою швидкістю знімання матеріалу та споживаною потужністю обладнання.

У розглянутій установці застосування режимів з частотою обертання роторної камери понад 100 об/хв є економічно недоцільним, оскільки значний приріст споживаної потужності не забезпечує пропорційного приросту швидкості знімання матеріалу.

Висновки. У даній роботі проведено аналіз залежності швидкості знімання матеріалу від енерговитрат обладнання для комбінованого віброабразивного процесу.

Отримані експериментальні дані показали, що потужність вібропривода P_1 зростає переважно зі збільшенням амплітуди коливань, тоді як потужність привода обертання камери P_2 найбільше залежить від частоти обертання. Введений показник енергоефективності η_e , що визначається як відношення швидкості знімання матеріалу до сумарної потужності приводів. Він може бути використаний як критерій для оптимізації режимів роботи, а також для обґрунтування технологічної доцільності впровадження додаткових джерел енергії або зміни параметрів обробки.

Встановлено, що максимальні значення η_e спостерігаються при поєднанні параметрів середніх значеннях амплітуди та частоти обертання. Таке непропорційне зростання ефективності від спожитої енергії свідчить про складну взаємодію динамічних факторів з циркуляцією середовища у робочій камері.

Список використаних джерел:

1. Domblesky, J. P., Evans, C. J., & Evans, J. W. (2006). A process model for surface material removal in vibratory bowls. *In SUR/FIN Proceedings* (pp. 81–84). National Association for Surface Finishing.
2. Buhrov D. Yu. (2024). *Analiz doslidzhen ta suchasnykh metodiv modeliuvannia protsesiv vibroabrazivnoi obrobky detalei* [Analysis of research and modern methods of modeling processes of vibroabrasive machining of parts]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho - Bulletin of Mykhailo Ostrohradskyi KrNU*, 5/2024, (148), 78–82. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.5.11>
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>