

АНОТАЦІЯ

Бугров Д. Ю. Обґрунтування параметрів обладнання з активним робочим органом для комбінованої віброабразивної обробки поверхонь деталей складної форми. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, 2026.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальній науково-технічній задачі підвищення енергоефективності віброабразивної обробки, яка є одним із найбільш ефективних методів фінішної обробки поверхонь деталей складної форми, але має високу енергоємність внаслідок значних непродуктивних втрат енергії. Для розв'язання цієї задачі проведено теоретичні та експериментальні дослідження комбінованого способу віброобробки на спеціально розробленій дослідній установці з активним робочим органом, новизна якої підтверджена патентом України на корисну модель. Встановлено закономірності та ступінь впливу основних параметрів установки на продуктивність процесу. Розроблено методику визначення енергоефективності та встановлено закономірності її зміни залежно від параметрів обладнання. Отримані експериментальні результати засвідчили, що активний робочий орган створює додатковий фактор впливу, який при незначному збільшенні загальних енергетичних витрат суттєво підвищує продуктивність та енергоефективність процесу. Обґрунтовано використання показника енергоефективності як критерію визначення раціональних параметрів обладнання.

У першому розділі проведено аналіз наукових досліджень віброабразивної обробки та встановлено актуальні питання, які потребують вирішення, зокрема зменшення енергоємності процесу за рахунок зменшення непродуктивних втрат шляхом визначення раціональних параметрів обладнання. Проведено аналіз існуючих конструкцій віброобладнання та способів підвищення продуктивності та якості процесу та обґрунтований комбінований спосіб обробки поверхонь

деталей складних форм, який забезпечується активним робочим органом – віброуючою обертовою камерою.

У другому розділі обґрунтована конструктивна схема нової віброустановки з активним робочим органом та виконано її математичне моделювання з метою встановлено закономірності руху обертової робочої камери від основних параметрів обладнання. У результаті моделювання контактної взаємодії абразивних тіл з поверхнею деталей встановлено вплив амплітуди і частоти віброколивань, швидкості обертання робочої камери та маси компонентів робочого середовища на величини нормальної і тангенціальної контактних сил та кут ударної взаємодії. Розроблено класифікатор деталей для раціональної організації процесу та узагальнення базових закономірностей комбінованої віброобробки. Обґрунтовано, що раціональні параметри повинні забезпечувати інтенсифікацію руху компонентів і збільшення кількості контактних ударів з енергією, достатньою для знімання матеріалу, за мінімальних енерговитрат.

У третьому розділі обґрунтовано методику проведення експериментальних досліджень з метою встановлення закономірностей впливу параметрів дослідної віброустановки на продуктивність та енергоефективність процесу. Аналізом отриманих даних експерименту при варіюванні амплітуди віброколивнь, частоти обертання робочої камери, маси робочого середовища встановлено, що активний робочий орган зумовлює інтенсифікацію процесу віброабразивної обробки з підвищенням його енергоефективності. Встановлено, що залежність питомої швидкості знімання матеріалу від параметрів процесу має нелінійний характер та екстремум, при якому її значення у 2,75 раза перевищує мінімальне. Досліджено закономірності енергоспоживання установки, при цьому встановлено, що 88 % споживаної енергії припадає на вібропривод. Побудована залежність енергоефективності демонструє її зростання до максимального значення, що у 1,6 раза перевищує мінімальне, після чого спостерігається зниження показника внаслідок різкого зростання дисипативних втрат та зменшення сил контактної взаємодії компонентів робочого середовища.

У четвертому розділі наведено результати виробничих випробувань дослідної віброустановки при обробці лопаті робочого колеса насоса на підприємстві ТОВ «УКРНАСОСПРОМ». За результатами випробувань встановлено зниження тривалості обробки на 10 % та витрат електроенергії на 15 % порівняно з діючим обладнанням, що підтверджує ефективність запропонованого технічного рішення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

Вперше:

– обґрунтовано використання комбінованого способу віброабразивної обробки поверхонь деталей складних форм для підвищення енергоефективності технологічного процесу;

– встановлено закономірності впливу амплітуди віброколивальних, частоти обертання активного робочого органу, маси компонентів середовища на продуктивність комбінованої віброобробки;

– запропоновано визначення енергоефективності комбінованого віброобладнання кількісним показником та наведена методика його визначення, що враховує продуктивність та енерговитрати. Встановлені закономірності енергоефективності від амплітуди віброколивальних та частоти обертання активного робочого органу;

– обґрунтовано застосування показника енергоефективності як критерію визначення раціональних параметрів обладнання для комбінованої віброабразивної обробки.

Вдосконалено:

– методику моделювання контактної взаємодії абразивних тіл та оброблюваних деталей в умовах сумісної дії вібраційного впливу та обертального рухів під час комбінованої віброобробки.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

– створенні нового технічного рішення установки з активним робочим органом для реалізації комбінованого способу вібраційної обробки поверхонь

деталей складної форми. Технічна новизна запропонованої конструкції установки підтверджена патентом України на корисну модель;

– виготовленні установки для проведення наукових досліджень обладнання та процесів віброабразивної обробки поверхонь деталей складної форми у навчальній лабораторії кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

– одержали подальший розвиток науково-технічні положення з конструювання віброабразивних машин комбінованої дії, що можуть бути використані при проектуванні нового та модернізації існуючого обладнання.

Ключові слова: віброабразивна обробка, вібраційна машина, роторна камера, активний робочий орган, віброзбуджувач, амплітуда коливань, дебаланс, математична модель, експериментальна установка, оптимізація параметрів, енергоефективність.

ABSTRACT

Buhrov D. Yu. Substantiation of parameters of equipment with an active processing element for combined vibratory finishing of complex-shaped parts. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 133 – Branch Mechanical Engineering. National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic". Poltava, 2026.

The dissertation is devoted to solving the relevant scientific and technical problem of improving the energy efficiency of vibratory abrasive finishing, which is one of the most effective methods for finishing surfaces of complex-shaped parts but is characterized by high energy consumption due to significant non-productive energy losses. To solve this problem, theoretical and experimental studies of a combined vibratory finishing process were carried out using a specially developed experimental installation with an active working body, the novelty of which is confirmed by a Ukrainian utility model patent. The regularities and degree of influence of the

installation parameters on process productivity were determined. A methodology for evaluating energy efficiency was developed, and the regularities of its variation depending on equipment parameters were established. The obtained experimental results demonstrated that the active working body creates an additional influencing factor which, with a slight increase in total energy consumption, significantly improves the productivity and energy efficiency of the process. The use of the energy efficiency index as a criterion for determining rational equipment parameters was substantiated.

The first chapter presents an analysis of scientific research on vibratory abrasive finishing and identifies the relevant issues requiring further investigation, in particular the reduction of process energy consumption through minimizing non-productive energy losses by determining rational equipment parameters. An analysis of existing vibratory equipment designs and methods for improving process productivity and quality was carried out, and a combined method for finishing surfaces of complex-shaped parts was substantiated. This method is implemented by means of an active working body — a vibrating rotating chamber.

The second chapter substantiates the structural design of a new vibratory machine with an active working body and presents its mathematical modeling aimed at establishing the motion regularities of the rotating working chamber depending on the main equipment parameters. As a result of modeling the contact interaction between abrasive media and the part surfaces, the influence of vibration amplitude and frequency, rotational speed of the working chamber, and mass of the working media components on the values of normal and tangential contact forces, as well as the impact interaction angle, was determined. A classification system for parts was developed for the rational organization of the process and generalization of the fundamental regularities of the combined vibratory finishing process. It was substantiated that rational parameters should ensure intensification of component motion and an increase in the number of contact impacts with sufficient energy for material removal while maintaining minimal energy consumption.

The third chapter substantiates the methodology for conducting experimental studies aimed at determining the regularities of the influence of the experimental

vibratory machine parameters on process productivity and energy efficiency. Analysis of the obtained results under variation of the installation parameters showed that the use of a rotating working chamber significantly increases the productivity and energy efficiency of the process. It was established that the dependence of the specific material removal rate on the process parameters is nonlinear and exhibits an extremum at which its value exceeds the minimum by 2,75 times. The regularities of the installation energy consumption were investigated, and it was determined that 88% of the consumed energy is associated with the vibration drive. The obtained energy efficiency relationship demonstrates its increase up to a maximum value exceeding the minimum by 1,6 times, followed by a decrease in the indicator due to a sharp increase in dissipative losses and a reduction in the contact interaction forces between the components of the working media.

The fourth chapter describes industrial trials of the experimental vibratory installation for processing a pump impeller blade at UKRNASOSPROM LLC. The results demonstrate a reduction in processing time by 10% and electrical energy consumption by 15% compared to the existing equipment. Recommendations for determining the main design and technological parameters of the combined vibratory installation for industrial application have been developed.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

For the first time:

- an increase in the energy efficiency of abrasive finishing of complex-shaped part surfaces has been proposed through the application of a combined vibratory finishing method with substantiation of the rational parameters of equipment incorporating an active working body;;
- the regularities of the influence of vibration amplitude, rotational speed of the working chamber, and mass of the working media components on the productivity of the combined vibratory finishing process were established;
- a quantitative indicator for evaluating the energy efficiency of combined vibratory equipment was proposed, and a methodology for its determination, taking into account process productivity and energy consumption, was developed. The

regularities of the dependence of energy efficiency on vibration amplitude and rotational speed of the working chamber were established;

- the application of the energy efficiency indicator as a criterion for determining the rational parameters of equipment for combined vibratory abrasive finishing was substantiated.

Improved:

- a methodology for modeling the contact interaction between abrasive media and machined parts under the combined action of vibrational excitation and rotational motion during combined vibratory finishing.

The practical significance of the obtained results lies in:

- the development of a new technical solution for a machine with an active working body intended for implementing a combined method of vibratory finishing of complex-shaped part surfaces. The technical novelty of the proposed machine design is confirmed by a Ukrainian utility model patent;;

- the manufacture of an experimental installation for scientific research on equipment and processes of vibratory abrasive finishing of complex-shaped part surfaces in the educational laboratory of the Department of Industrial Engineering and Mechatronics at Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic National University;

- further development of scientific and technical principles for the design of combined-action vibratory abrasive machines, which may be applied in the development of new equipment and modernization of existing machines.

Keywords: vibro-abrasive machining, vibration machine, rotary chamber, active working element, vibration exciter, vibration amplitude, unbalance, mathematical model, experimental setup, parameter optimization, energy efficiency.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ

Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»:

1. Buhrov D., Buhrova T. Calculation of optimal parameters for a vibratory finishing machine for decorative elements with an active working tool. Academic

Journal Industrial Machine Building Civil Engineering. 2023. Vol. 2(61). P. 52 – 59.
<https://doi.org/10.26906/znp.2023.61.3853>.

2. Коробко Б. О., Бугров Д. Ю. Розробка конструкції установки для віброабразивної обробки поверхонь декоративних елементів з активним робочим органом. Вібрації в техніці та технологіях. 2024. Вип. 1(112). С. 78 –82.

<https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-1>.

3. Бугров Д. Ю. Аналіз досліджень та сучасних методів моделювання процесів віброабразивної обробки деталей. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2024. Вип. 5(148). С. 78 – 82.

<https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.5.11>.

4. Коробко Б. О, Бугров Д. Ю. Параметри віброабразивного процесу та їхній вплив на ефективність обробки в віброустановках із активним робочим органом. Техніка будівництва. 2025. № 42. С. 61 – 69.

<https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0507>.

5. Бугров Д.Ю., Коробко Б.О. Дослідження процесу комбінованої віброабразивної обробки у віброзмішувачі з активним робочим органом. Технічні науки та технології. 2025. № 2(40). С. 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).

6. Бугров Д. Ю. Математичне моделювання процесу віброабразивної обробки з використанням DEM у системах з активним робочим органом. Modern Engineering and Innovative Technologies. 2024. Iss. 36, Pt. 2. P. 11 – 18.

<https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-36-00-051>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Коробко Б. О., Бугров Д. Ю. Розробка конструкції установки для віброабразивної обробки поверхонь декоративних елементів з активним робочим органом. Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки: матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (25 квітня 2024 р., Полтава). Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2024. С. 28 – 30.

8. Коробко Б. О., Бугров Д. Ю. Моделювання процесу комбінованої віброабразивної обробки методом дискретних елементів. Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки: матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (24 квітня 2025 р., Полтава). Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. С. 19 – 22.

9. Бугров Д. Ю., Коробко Б. О., Бугрова Т. М. Експериментальне дослідження енергоефективності комбінованого віброабразивного процесу. Енергоощадні машини і технології: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (20 – 21 травня 2025 р., Київ). Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2025. С. 66 – 69.

10. Бугров Д. Ю., Коробко Б. О. Експериментальне дослідження віброабразивної обробки на комбінованій дослідній установці. Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2025. С. 252 – 253.

11. Коробко Б.О. Особливості режимів роботи обладнання для комбінованої віброабразивної обробки з активним робочим органом / Б.О. Коробко, Т.М. Бугрова, Д.Ю. Бугров // Підвищення ефективності експлуатації, обслуговування і сервісу технологічних машин та обладнання – 2026 : зб. наук. пр. Всеукр. наук. конф., 29 січ. 2026 р. – Х. : ХНАДУ, 2026. – С. 64 – 67.

12. Пристрій для вібраційної обробки деталей у середовищі вільних абразивів : пат. на корисну модель № 161214, Україна: МПК В24В 31/02, В24В 31/06 (2025.01)/ Бугров Д. Ю., Коробко Б. О., Бугрова Т. М.; № u202500686; опубл. 19.11.2025, Бюл. № 47.