

## АНОТАЦІЯ

**Коротич Ю. Ю. Обґрунтування параметрів малогабаритного обладнання для віброформування бетонних виробів.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 — Галузеве машинобудування. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Полтава, 2023.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми, яка полягає у розробці малогабаритного обладнання для віброформування бетонних виробів, дослідженні та обґрунтуванні його параметрів для підвищення ефективності за рахунок зменшення собівартості виробничого процесу. Вібраційний спосіб ущільнення бетонних сумішей є найбільш поширеним серед багатьох способів завдяки простоті обладнання та високій ефективності. В той же час він потребує значних енерговитрат. В даній роботі пропонується метод підвищення ефективності малогабаритного віброформувального обладнання за допомогою важільного закріплення віброзбуджувача.

Перший розділ складається із розгляду та аналізу процесів вібраційного ущільнення бетонних сумішей, огляду існуючих способів ущільнення та віброформувального обладнання, насамперед малогабаритних віброплощадок, за основними класифікаційними ознаками. Розглянувши існуючі шляхи підвищення ефективності віброформувального обладнання, запропонована раціональна модель вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача. На основі огляду літературних джерел, досвіду підприємств, що виготовляють бетонні вироби, та сучасних вимог до енергоефективності обладнання зроблені висновки та сформульовані мета і задачі дослідження.

У другому розділі для з'ясування загальної тенденції впливу окремих параметрів вібраційного столу з важільним закріпленням віброзбуджувача на рух його робочого органу та його енергоспоживання отримана загальна

математична модель цієї механічної системи за кінематичною схемою, яка раніше не використовувалася. Для отримання математичної моделі були використані рівняння Лагранжа другого роду. Цей метод є найбільш загальним методом, який використовують при розв'язуванні задач про рух механічної системи. При цьому були використані методи математичної фізики та фізико-математичне моделювання методами прикладної механіки. У якості механічної системи, яка раніше не використовувалася, запропонована кінематична схема приводу вібростолу з важільним закріпленням вібробудувача. Розглянуте обладнання (вібростіл) моделювалося механічною системою, яка складається з чотирьох матеріальних тіл - плити, корпусу вібробудувача, дебаланса і ємності з бетонною сумішшю. Для визначення положення і опису вільних рухів вищезгаданих матеріальних тіл розглядуваної механічної системи була застосована ортогональна вібраційна система відліку з трьох систем координат. Визначивши кінетичну енергію чотирьох окремих матеріальних тіл, з яких складається механічна система, було складено функціональну залежність її загальної кінетичної енергії. Далі, беручи до уваги, що розглядувана механічна система має сім ступенів вільності з узагальненими координатами, а кожній узагальненій координаті відповідає узагальнена сила, з'ясовано, що розглядувана механічна система має сім узагальнених сил. Визначивши узагальнені сили, в результаті було отримано загальну математичну модель вібраційного столу з важільним закріпленням вібробудувача у вигляді системи з семи диференціальних рівнянь другого порядку. Отримана загальна математична модель дозволяє описувати положення та рух будь-якої точки та окремого матеріального тіла досліджуваного обладнання.

У третьому розділі експериментально досліджено вплив дії важільного закріплення вібробудувача на параметри віброущільнення, а саме – на амплітуду коливань. Спочатку ряд дослідів проводились на спеціально створеній дослідній моделі вібростолу, яка була виконана у

невеликих розмірах (масштаб 1:10). Проведені дослідження підтвердили припущення про ефективність важільного закріплення вібробуджувача. Для подальшого підтвердження ефективності використання конструкції вібростолу з важільним закріпленням вібробуджувача було створено дослідне малогабаритне обладнання для віброформування бетонних виробів. На ньому здійснювалось обґрунтування раціональних значень як конструктивних, так і технологічних параметрів, які здатні впливати на ефективність процесу віброущільнення бетонної суміші. Для кращого з'ясування взаємозалежностей конструктивних і технологічних параметрів був використаний трифакторний експеримент другого порядку. Дослідження зміни кінетичної енергії дослідного обладнання (вібростолу) вказало її збільшення за рахунок важільного закріплення вібробуджувача. Це, в свою чергу, призводить до збільшення амплітуди вертикальних коливань. Тому збільшення довжини важеля у вказаному інтервалі (від 0 до 200 мм) призводить до енергозбереження, оскільки збільшення амплітуди віброколивань відбувається без збільшення параметрів потужності вібробуджувача. Таким чином, досягнуто підвищення енергоефективності створеного дослідного обладнання. Воно забезпечено шляхом зменшення потужності приводу, зберігаючи при цьому рекомендовані для віброущільнення технологічні параметри. Порівняння експериментальних та теоретичних значень величини амплітуди вертикальних коливань засвідчує, що їх розбіжність знаходиться в межах 13...18 %, що вказує на достатній рівень адекватності створеної математичної моделі, яка описує процес віброформування бетонних виробів на вібростолі з важільним закріпленням вібробуджувача.

У четвертому розділі представлена технічна характеристика малогабаритного обладнання для віброформування бетонних виробів з важільним закріпленням вібробуджувача. Розроблені рекомендації щодо призначення конструкції та геометричних розмірів важеля для закріплення вібробуджувача на малогабаритному обладнанні для віброформування

бетонних виробів. Проведено впровадження обладнання на підприємствах ТОВ «ГОТ» та ТОВ «ПРИМУМ АКТИВ» за розробленими кресленнями і рекомендаціями. Якість виготовлених бетонних виробів показала відповідність нормам ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Витрати електроенергії при їх виробництві скоротились відповідно на 21% та 23%.

**Ключові слова:** амплітуда, важільне закріплення віброзбуджувача, частота віброколивань, бетонна суміш, віброзбуджувач, вібростіл, віброущільнення, важіль, дебаланс, кінетична енергія, збурююча сила, дослідження, обладнання, математична модель, енергозаощадження.

### **ABSTRACT**

**Korotych Y. Y. Concrete products small-sized vibration forming equipment parameter justification.** – On the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 133 — Branch Mechanical Engineering. National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic". Poltava, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of an urgent scientific and applied problem, which consists in the development of small-sized equipment for vibration molding of concrete products, research and substantiation of its parameters to increase efficiency by reducing the cost of the production process. The vibrating method of compacting concrete mixtures is the most common among many methods due to the simplicity of the equipment and high efficiency. At the same time, it requires significant energy consumption. In this work, a method for enhancing the efficiency of small-sized vibration forming equipment with vibrator lever attachment is proposed.

The first section consists of examination and analysis processes in concrete mixtures vibrational compaction with a single frequency, overview of existing compaction methods and vibration forming equipment, first, of small-sized vibration pads, according to the main classification criteria. Having considered the existing ways to improve the efficiency of vibration forming equipment, a rational model of a vibrating table with a vibrating exciter lever fastening is proposed.

Based on the review of literary sources, the experience of enterprises producing concrete products, and modern requirements for the equipment energy efficiency, conclusions are drawn, and the purpose and objectives of the study are formulated.

In the second section, to find out the general trend of the vibration table individual parameters with vibration exciter lever fastening influence on the movement of its working body and its energy consumption, a general mathematical model of this mechanical system according to the kinematic scheme is obtained, which has not been used before. To obtain a mathematical model, Lagrange equations of the second kind were used. This method is the most common method used in solving problems about the motion of a mechanical system. At the same time, the methods of mathematical physics and physical and mathematical modeling by the methods of applied mechanics were used. As a mechanical system, which has not been used before, a kinematic scheme of the vibrating table with a lever fastening of the vibration exciter is proposed. The equipment in question (vibrating table) was modelled as a mechanical system, which consists of four material bodies - a slab, a body of a vibration exciter, an imbalance and a container with a concrete mixture. To determine the position and describe the free motions of the above-mentioned material bodies of the mechanical system under consideration an orthogonal vibrational reference system of three coordinate systems was applied. By determining the kinetic energy of the four separate material bodies that make up a mechanical system, a functional dependence of its total kinetic energy was drawn up. Further, considering that the mechanical system in question has seven degrees of freedom with generalized coordinates, and each generalized coordinate corresponds to a generalized force, it is found that the mechanical system in question has seven generalized forces. Having determined the generalized forces, as a result, a general mathematical model of a vibration table with lever fixation of the vibration exciter in the form of a system of seven second-order differential equations was obtained. The obtained general mathematical model makes it possible to describe the position and motion of any point and a separate material body of the equipment under study.

In the third section, the effect of the lever fastening of the vibration exciter on the vibration compaction parameters is experimentally investigated, namely, to the amplitude of oscillations. Initially, several experiments were carried out on a specially created experimental model of a vibrating table, which was made in small sizes (scale 1:10). The experiments confirmed the assumptions about the effectiveness of the vibration exciter lever fastening. For further efficiency of using the design of the vibrating table with lever fastening of the vibration exciter confirmation, an experimental small-sized equipment for vibration forming of concrete products was created. It was used to substantiate the rational values of both structural and technological parameters that can affect the process of concrete mixture vibration compaction efficiency. For better design and technological parameters clarification interdependencies, a three-factor second-order experiment was used. Investigation of experimental equipment (vibrating table) kinetic energy changes indicated its increase due to the lever fastening of the vibration exciter. This, in turn, leads to an increase in the amplitude of vertical oscillations. Therefore, increasing the length of the lever in the specified interval (from 0 to 200 mm) leads to energy saving, since the increase in the amplitude of vibration oscillations occurs without increasing the power parameters of the vibration exciter. Thus, an increase in the energy efficiency of the created experimental equipment has been achieved. It is ensured by reducing the power of the drive, and at the same time, maintaining the technological parameters recommended for vibration compaction. Vertical oscillations amplitude magnitude experimental and theoretical values comparison certifies that their discrepancy is within 13... 18 %, which indicates a sufficient level of adequacy of the created mathematical model, which describes the of concrete products vibration molding process on a vibrating table with a lever fastening of the vibration exciter.

The fourth section presents the technical characteristics of small-sized equipment for vibration molding of concrete products with vibration exciter lever fastening. Recommendations on the purpose of the design and geometric dimensions of the lever for fixing the vibrating exciter on small-sized equipment

for vibration forming of concrete products have been developed. Implementation of equipment at enterprises was carried out on ТОВ «ГОТ» and ТОВ «ПІМУМ АКТИВ» according to the developed drawings and recommendations. The quality of the manufactured concrete products showed compliance with the standards of ДСТУ Б В.2.6-2:2009. Electricity consumption in their production decreased by 21% and 23%, respectively.

**Keywords:** amplitude, lever fastening of the vibration exciter, vibration frequency, concrete mix, vibrating exciter, vibrating table, vibration compaction, lever, imbalance, kinetic energy, disturbing force, research, equipment, mathematical model, energy saving.

#### СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ

Праці, які відображають основні наукові результати дисертації

Публікації в наукових фахових виданнях України:

1. Korobko B., Korotych Yu. The influence of the lever fixturing of the vibration exciter on the overall efficiency of concrete-mix vibration. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2021. Vol. 1 (56). P. 12–17. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2492> (Особистий внесок: запропонована та розглянута конструкція вібростолу з важільним закріпленням віброзбуджувача).
2. Korobko B., Zhyhylii S., Korotych Yu. Determination of the vibrating table kinetic energy. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2022. Vol. 2 (59). P. 17–26. <https://doi.org/10.26906/znp.2022.59.3095> (складена кінематична схема досліджуваного вібростолу, побудований графік зміни кінетичної енергії та проведений його аналіз).
3. Korotych Yu. Determination of generalized vibration table forcesюю. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2023. Vol. 1 (60). P. 5–11. <https://doi.org/10.26906/znp.2023.60.3108>

4. Коротич Ю. Ю. Складання математичної моделі вібраційного столу. *Технічні науки та технології*. 2023. № 3 (33). С. 83–96. DOI [10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-83-96](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-83-96)

Публікації в наукових іноземних виданнях:

5. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Дослідження параметрів вібраційного столу з важільним закріпленням вібробудувача. *Modern engineering and innovative technologies*. 2023. Iss. 28, Part 1. P. 3–12. DOI: [10.30890/2567-5273.2023-28-01-019](https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-28-01-019) (проведено планування експерименту для підтвердження ефективності використання запропонованої конструкції вібростолу з важільним закріпленням вібробудувача, знайдено ступені впливу зміни параметрів на амплітуду коливань вібростолу для обґрунтування їх раціональних значень, які забезпечують максимальне енергозбереження).

Матеріали і тези наукових доповідей міжнародних конференцій:

6. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Обґрунтування важільного закріплення вібробудувача відносно вібростолу. *Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки* : матеріали V Всеукр. наук.-техн. конф. (22 квіт. 2021 р., м. Полтава). Полтава, 2021. С. 23–25.

7. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Дослідження раціонального закріплення вібробудувача відносно вібростолу. *Тези 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів (21 квіт. – 13 трав. 2021 р.)*. Полтава, 2021. Т. 1. С. 177–178.

8. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Дослідження впливу робочого навантаження вібростолу на ефективність віброущільнення при важільном закріпленні його вібробудувача. *Тези доповідей 74-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів (25 квіт. – 21 трав. 2022 р.)*. Полтава, 2022. Т. 1. С. 130–132.

9. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю., Жигилій С. М. Довизначення кінетичної енергії вібраційного столу. *Академічна й університетська наука* : зб. наук. пр. Секції за матеріалами Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні рецепції



світоглядно-ціннісних орієнтирів Григорія Сковороди», 02 груд. 2022 р. : Т. 2. – Полтава, 2022. С. 113–115.

10. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. Характер зміни амплітуди віброколивань при застосуванні важільного закріплення вібробуджувача. *Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки : матеріали VI Всеукр. наук.-техн. конф. (11 трав. 2023 р., м. Полтава). Полтава, 2023. С. 13–15.*

11. Коробко Б. О., Коротич Ю. Ю. До визначення узагальнених сил вібраційного столу. *Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів (Полтава, 02 трав.–25 трав. 2023 р.). Полтава, 2023. Т. 1. С. 248–250.*

Патенти України на корисну модель:

12. Вібростіл з важільним закріпленням вібробуджувача : пат. 146691 Україна: МПК В28В 1/08. № u202006563; заявл. 12.10.2020; опубл. 10.03.2021, Бюл. № 10.