

## АНОТАЦІЯ

*Слюсар В.С.* Вдосконалення енергетичних показників машин для ущільнення будівельних сумішей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2025.

**Основний зміст дисертаційної роботи.** Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми, яка полягає у розробці науково обґрунтованих методів вдосконалення енергетичних показників машин для ущільнення будівельних сумішей із розробкою на цій основі алгоритмів розрахунку вібраційного майданчика із мінімізацією енергії та гарантованого руху, забезпечення раціональних режимів та параметрів руху.

Сучасні вимоги будівельної галузі потребують забезпечення мінімізації витрат енергії із реалізацією високої якості виконання технологічного процесу при формуванні бетонних та залізобетонних виробів. Основною умовою забезпечення ефективних режимів і параметрів є застосування розрахункових моделей, які адекватно відображають реальний процес вібраційного ущільнення, який найбільше використовується в заводській практиці виготовлення виробів. Разом з тим, на практиці повне досягнення такої умови не досягається внаслідок розбіжностей розрахункових і реальних параметрів, що приводить до значних витрат енергії на протікання технологічного процесу. Обумовлено це складністю процесів, що протікають в суміші, яка ущільнюється та застосування, як наслідок, емпіричних залежностей, які не відображають закономірностей і при застосуванні є достовірними виключно в рамках тих передумов і допущень за яких здійснені такі дослідження. Одним із напрямків вирішення проблеми є дослідження енергетичних показників процесів ущільнення на основі застосування дискретно-континуальних моделей для аналізу та синтезу та розглядом спільного цілнаправленого руху

вібраційної системи. Такий підхід відкриває можливості встановити закономірності руху вібраційної системи, запропонувати вдосконалені рішення із забезпеченням наперед заданих раціональних режимів і параметрів та мінімізації енергетичних витрат.

*Перший розділ* присвячений огляду та аналізу конструкцій та технологічних параметрів машин для ущільнення будівельних сумішей, здійсненню порівняння енергетичних показників вібраційних та безвібраційних процесів. Обґрунтована більш ефективна та перспективна доцільність застосування вібраційних процесів у порівнянні із процесами безвібраційного виробництва бетонних виробів. Проведений аналіз вібраційних процесів та їх енергетичних показників дозволив виявити суттєві відмінності навіть в рамках одного порядку вантажопідйомності вібраційної техніки. Підтвердженням отриманих результатів досліджень слугує також аналіз існуючих формул для розрахунку енергії ущільнення бетонних сумішей, які базуються переважно на використанні дискретних моделей і емпіричних залежностей. Відмінною рисою більшості вібраційних машин із вертикальним напрямом збудження є висока чутливість робочих органів до змін технологічних параметрів та режимів, таких як частота коливань, жорсткість суміші та її густина. Ця залежність суттєво впливає на ефективність передачі енергії, отримання необхідної щільності бетонної суміші та кінцеву якість виробів.

*Другий розділ* присвячений теоретичним дослідженням параметрів та енергетичних показників робочого процесу вібраційних машин для ущільнення сумішей. Обґрунтування моделі системи «вібраційний майданчик – бетонна суміш» та виконання аналітичних досліджень базується на логічних висновках першого розділу шляхом формулювання передумов та допущень. Послідовно здійснено аналітичний опис та дослідження параметрів робочого процесу вібраційної машини та енергії робочого процесу на основі дискретної та дискретно-континуальної моделі. Виявлено, що в загальному рух вібраційної системи описується рівнянням з чотирма доданками. Перші три

описують власні коливання системи, із яких перші два визначаються тільки початковими умовами, а третій відображає супутні коливання зовнішньою силою, прикладеною до системи. Останній доданок визначає вимушені коливання за законом зміни зовнішньої сили. Такий результат є новим і засвідчує, що коливання вібраційної системи не є суворо гармонійними, що підтверджено відповідним моделюванням. Досліджено динаміку руху вібраційної системи «вібраційний майданчик – бетонна суміш» із урахуванням сил опору. Отримані аналітичні залежності для визначення амплітуди коливань та власних частот коливань. З'ясована ступінь впливу коефіцієнтів реактивної та активної складових опору ущільнюючого середовища на амплітуду коливань вібраційної машини. Наведені результати у вигляді графіків дозволили встановити закономірності руху й енергетичні показники в дорезонансному, резонансному та зарезонансному режимах. Встановлений суттєвий вплив на амплітуду швидкості поширення коливань, величина яких входить при визначенні числових значень коефіцієнтів опору. Отримані аналітичні залежності визначення енергетичних показників в різних режимах роботи динамічної системи «вібраційний майданчик – бетонна суміш».

*У третьому розділі* наведені результати експериментальних досліджень параметрів системи «вібраційний майданчик – бетонна суміш». Запроектована та виготовлена експериментальна установка із комплектом датчиків та вимірювальної апаратури дозволили отримати віброграми руху вібромайданчика в різних режимах та варіаціях впливу, зміні висоти стовпа суміші при незмінному навантаженні. Інша серія дослідів передбачала зміну навантаження при незмінній висоті стовпа бетонної суміші. При цьому реєструвалася зміна параметрів і режимів навантаження в перехідному, сталому та стадії вільних коливань досліджуваної системи. Здійснено порівняння параметрів, що отримані аналітичними розрахунками та отримані в результаті виконаних експериментів. Розбіжність експериментальних та теоретичних значень режимів дорезонансних зонах знаходяться в межах 10...12%, в резонансній зоні 11...15%, а в зарезонансних зонах 10...12%.

*У четвертому розділі* приведені методики та розроблені алгоритми розрахунку раціональних параметрів та енергетичних параметрів за критеріями ефективності процесу та здійснена оцінка результатів досліджень. Наведені таблиці числових значень параметрів, реалізація яких при їх використанні є умовою мінімізації енергії на процес ущільнення бетонної суміші різного складу. основні положення вибору режимів та параметрів вібраційної установки.

**Ключові слова:** вібраційна машина, бетонна суміш, енергетичні показники, дискретна модель, континуальна модель, рівняння руху, режими коливань, амплітуда коливань, частота коливань, потужність, енергетичні критерії, швидкість розповсюдження хвиль, інтенсивність, розсіяння енергії.

## **ABSTRACT**

*Sliusar V.S.* Improvement of energy performance of machines for compacting construction mixtures. – On the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of study 13 – "Mechanical Engineering," specialty 133 – Sectoral Mechanical Engineering. Kyiv National University of Construction and Architecture, MES of Ukraine, Kyiv, 2025.

**Main content of the dissertation.** The dissertation addresses a pressing scientific and applied problem: the development of scientifically grounded methods to improve the energy performance of machines used for compacting construction mixtures, along with the development, based on this, of algorithms for calculating a vibrating platform with energy minimization and guaranteed motion, and ensuring rational modes and motion parameters.

Modern requirements in the construction industry demand the minimization of energy consumption while ensuring high quality in the technological process of forming concrete and reinforced concrete products. The primary condition for ensuring effective modes and parameters is the application of calculation models that adequately reflect the real process of vibration compaction, which is most widely used in the factory practice of manufacturing products. However, in practice,

the full achievement of such a condition is not met due to discrepancies between calculated and actual parameters, leading to significant energy consumption during the technological process. This is due to the complexity of the processes occurring in the mixture being compacted and, consequently, the use of empirical dependencies that do not reflect the underlying patterns and are reliable only within the framework of the prerequisites and assumptions under which such studies were conducted. One of the ways to solve this problem is to study the energy performance of compaction processes based on the application of discrete-continuous models for analysis and synthesis, considering the joint purposeful motion of the vibration system. Such an approach opens up opportunities to establish the patterns of motion of the vibration system, propose improved solutions ensuring predetermined rational modes and parameters, and minimize energy costs.

**The first chapter** is devoted to an overview and analysis of the designs and technological parameters of machines for compacting construction mixtures, and a comparison of the energy performance of vibratory and non-vibratory processes. The greater efficiency and prospective expediency of using vibratory processes compared to non-vibratory production processes for concrete products are substantiated. The analysis of vibratory processes and their energy performance has revealed significant differences even within the same load-carrying capacity range of vibration equipment. The obtained research results are also confirmed by an analysis of existing formulas for calculating the energy of concrete mixture compaction, which are primarily based on the use of discrete models and empirical dependencies. A distinctive feature of most vibrating machines with a vertical direction of excitation is the high sensitivity of their working elements to changes in technological parameters and modes, such as oscillation frequency, mixture stiffness, and its density. This dependence significantly affects the efficiency of energy transfer, achieving the required density of the concrete mixture, and the final quality of the products.

**The second chapter** is dedicated to theoretical research on the parameters and energy performance of the working process of vibrating machines for

compacting mixtures. The substantiation of the "vibrating platform – concrete mixture" system model and the execution of analytical research are based on the logical conclusions of the first chapter by formulating prerequisites and assumptions. An analytical description and investigation of the parameters of the vibrating machine's working process and the energy of the working process were sequentially carried out based on discrete and discrete-continuous models. It was found that, in general, the motion of the vibration system is described by an equation with four terms. The first three describe the natural oscillations of the system, of which the first two are determined only by initial conditions, and the third reflects concomitant oscillations due to an external force applied to the system. The last term determines forced oscillations according to the law of change of the external force. This result is new and indicates that the oscillations of the vibration system are not strictly harmonic, which was confirmed by corresponding modeling. The dynamics of the "vibrating platform – concrete mixture" vibration system were studied, taking into account resistance forces. Analytical dependencies for determining the oscillation amplitude and natural oscillation frequencies were obtained. The degree of influence of the coefficients of reactive and active components of resistance of the compacting medium on the oscillation amplitude of the vibrating machine was clarified. The results, presented in the form of graphs, allowed for the establishment of patterns of motion and energy performance in pre-resonant, resonant, and post-resonant modes. A significant influence of the oscillation propagation speed, the value of which is included in determining the numerical values of resistance coefficients, on the amplitude was established. Analytical dependencies for determining energy performance in different operating modes of the "vibrating platform – concrete mixture" dynamic system were obtained.

**The third chapter** presents the results of experimental research on the parameters of the "vibrating platform – concrete mixture" system. An experimental setup designed and manufactured with a set of sensors and measuring equipment allowed for obtaining vibrograms of the vibrating platform's motion in different modes and variations of influence, with changes in the height of the mixture column

under constant load. Another series of experiments involved changing the load while keeping the height of the concrete mixture column constant. During this, changes in the parameters and loading modes in the transient, steady-state, and free oscillation stages of the studied system were recorded. A comparison of parameters obtained by analytical calculations and those obtained as a result of the performed experiments was carried out. The discrepancy between experimental and theoretical values of modes in pre-resonant zones is within 10–12%, in the resonant zone 11–15%, and in post-resonant zones 10–12%.

**The fourth chapter** presents methodologies and developed algorithms for calculating rational parameters and energy parameters according to process efficiency criteria, and an evaluation of the research results is carried out. Tables of numerical values of parameters are provided, the implementation of which, when used, is a condition for minimizing energy consumption in the compaction process of concrete mixtures of various compositions. The main provisions for selecting the modes and parameters of the vibration installation are presented.

**Keywords:** vibrating machine, concrete mixture, energy performance, discrete model, continuous model, equation of motion, oscillation modes, oscillation amplitude, oscillation frequency, power, energy criteria, wave propagation speed, intensity, energy dissipation.