

УДК 69.002.5

## Теорія створення та практика використання вібраційних машин різного технологічного призначення

І.І. Назаренко, д-р. техн. наук, проф.,<sup>1</sup> О.П. Дєдов, д-р. техн. наук, проф.,<sup>1</sup> М.М. Ручинський, канд. техн. наук, проф.,<sup>1</sup> А.Т. Свідерський, канд. техн. наук, проф.,<sup>1</sup> А.Є. Бондаренко, канд. техн. наук, доц.,<sup>2</sup> А.В. Запривода, канд. техн. наук, доц.,<sup>1</sup> Є.О. Міщук, канд. техн. наук, доц.,<sup>1</sup> М.М. Нестеренко, канд. техн. наук, доц.,<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Одеська державна академія будівництва і архітектури

<sup>3</sup>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

*Анотація.* В роботі наведені результати дослідження вібраційних машин технологічного призначення. Розроблена теорія спільного руху робочих органів вібромашин і оброблюваних середовищ, що моделюються дискретно-континуальними системами. Розглянуто комплексний підхід до вирішення питання моделювання складних динамічних систем зі змінними характеристиками пружних елементів при реалізації робочого процесу. Визначені параметри резонансних вібраційних систем із направленими коливаннями для поверхневого ущільнення, поліфазними коливаннями та просторовими коливаннями. Приведені основні принципи такого підходу до вирішення питання щодо раціонального використання матеріалів при проектуванні машин. Запропоновані нові конструкції машин та їх складових частин. Наведені дані про дослідження, які впроваджені в навчальний процес, нормативну документацію та в промисловість.

*Ключові слова:* енергоефективні машини, моделювання, напружено-деформований стан, динамічна система, частоти і форми коливань, скінченно-елементна модель.

Вібраційні машини широко використовуються в різних галузях народного господарства для реалізації процесів подрібнення, сортування, переміщення, ущільнення та інших технологічних процесів обробки матеріалів. Існуюча вібраційна техніка розроблялася на основі застосування емпіричних залежностей, або врахування властивостей машин і оброблюваних середовищ, як дискретних систем. Тобто, визначення фізичних і математичних моделей являлися основою для розрахунку конструктивних та технологічних параметрів робочого процесу. Так, в роботі [1] приводяться дослідження ударно-вібраційної машини для формування бетонних виробів. Дослідження базуються на визначенні приведеної маси і еквівалентного коефіцієнта опору бетонної суміші. Результатом досліджень [2] є методика застосування експериментальних досліджень вібрації та їх обробка. Запропоновано вдосконалення розрахункової моделі на основі отриманих динамічних характеристик. В роботі [3] запропонований підхід моделювання динамічних систем розподіленими параметрами. Наведена методика врахування не тільки пружних, а і дисипативних властивостей оброблювального в процесі коливань середовища. Авторами досліджень [4] реалізований підхід до моделювання динамічних систем розподіленими параметрами при дії статичних і динамічних навантажень. В роботі [5] запропонований методика визначення та врахування впливу оброблюваного середовища на динаміку системи «машина – середовище». Отримані аналітичні залежності для оцінки впливу опору середовища при полічастотних коливаннях. Відмічена перспективність ідеї застосування полічастотних режимів роботи вібраційних установок з складним, просторовим рухом. В результаті отримані залежності для опису хвильових явищ у середовищі. Такий підхід давав позитивні результати тільки в рамках вихідних параметрів.

Об'єктом дослідження даної роботи є процеси вібраційних машин, в онову створення яких покладений ряд принципів, що дозволяє отримати збільшення ефективності технологічних процесів та зменшення енергоємності досліджуваних процесів.

Такий підхід давав позитивні результати тільки в рамках вихідних параметрів. Авторами роботи приймається передумова, що для підвищення ефективності та ощадності енергетичних витрат, не дивлячись на різні фізичні властивості машин і оброблюваних середовищ, вони підпорядковані єдиному вібраційному процесу. За такої передумови була запропонована принципова нова наукова ідея. Сутність її полягає в тому, що математична модель вібраційної системи «машина – середовище» має враховувати внутрішні пружно – інерційні та дисипативні властивості вказаних підсистем як єдиної системи. Якість структурної системи залежить від сукупності і взаємозв'язку елементів, які утворюють керуючу частину (силові пружно-інерційні, енергетичні і інші характеристики) і визначають характер зворотного зв'язку, забезпечують заданий закон коливання. Тому раціональна система може бути визначена оптимальними динамічними параметрами використаних структур технічних складових самої системи, що і забезпечить підвищення ефективності та якості протікання технологічного процесу. Параметри, розраховані за такою математичною моделлю, забезпечують максимальну віддачу енергії на протікання будь-якого технологічного процесу. Досягти такого результату можна лише шляхом адекватного моделювання та точності розрахунку необхідних параметрів і режимів роботи ущільнювального обладнання теоретичним шляхом з наступною практичною реалізацією на реальних конструкціях машин. При цьому досягається максимальна концентрація енергії робочого органа за рахунок внеску вищих гармонік. Технологічна ефективність вкладу енергії вищих гармонік реалізується за рахунок цілеспрямованого використання удару і вібрації, забезпечуваного включенням додаткових обмежників коливань і відповідним підбором їх жорсткості, вибором раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань. Досягненням цього рішення створюються передумови для створення високоефективних машин з мінімальною енергоємністю.

Реалізація технологічно доцільної асиметрії прискорень. Застосуванням цього рішення забезпечується прискорення процесу віброущільнення за рахунок значної асиметрії руху робочого органа віброударних систем.

Синхронне забезпечення поліфазних, автоколивальних режимів формування. Реалізуються ці режими в конструкціях вібромашин за рахунок зміни кута зсуву фаз дебансів.

Реалізація даного підходу лежить в динамічному керуванні рухом систем на основі використання внутрішніх властивостей систем із застосуванням основних принципів створення машин подібного класу.

Перший принцип полягає в тому, що оптимальна віброобробка середовищ може проходити лише при змінній частоті вібраційного або віброударного режиму робочого органа вібромашини. За цим принципом конструкція вібраційної машини має реалізовувати зміну частоти робочого органу при виконанні технологічного процесу. Принцип реалізований застосуванням пневматичних та гідравлічних вібробудників коливань.

Другий принцип створення вібромашин – це зміна амплітуди коливань робочого органа в процесі віброобробки середовища, оскільки в процесі обробки змінюється частота, а джерела енергії, що використовуються у вібромашинах, мають звичайно постійну потужність. Тому, досягнення максимального ступеня руйнування зв'язків структури середовища може бути досягнуте за рахунок змінної амплітуди.

Третій принцип створення вібраційних машин – це умова, при якій має бути забезпечена мінімальна відстань від робочого органу машини до середовища, яке підлягає обробці. Конструкція вібромашини повинна забезпечити однакову ефективність віброобробки по всьому обсягу середовища.

Четвертий принцип вібромашин базується на тому, що оптимальні умови роботи вібромашини містять у собі вимогу передачі максимуму енергії від робочого органа до оброблюваного середовища. Передача енергії залежить від розміру поверхні безпосереднього

контакту робочого органа з оброблюваним середовищем і від характеру руху робочого органа. Забезпечується такий принцип застосуванням високочастотних режимів обробки середовища, із застосуванням суперрезонансів, при яких відбувається максимальна передача кінетичної енергії. Конструкція вібромашини повинна забезпечувати можливість найбільш складного руху робочого органа.

П'ятий принцип створення вібромашин полягає у створенні поля напружень і відповідних деформацій у всьому об'ємі оброблюваного середовища, що забезпечується мінімальною відстанню між робочим органом (формуєтворюючою поверхнею) і робочим середовищем до якого безпосередньо передається рух робочого органа найбільшому числу часток оброблюваного середовища.

Шостий принцип створення вібромашин – це необхідність в її конструкції враховувати особливості процесу, для якого призначається машина.

Сьомий принцип полягає у розгляді (моделювання) середовища і машини як єдиної системи, що володіють своєю динамічною індивідуальністю. Втілення цього принципу є гарантією руху віброуцільнених машин у заданому або встановленому режимі роботи. Досягається це зведенням динамічних систем до розрахункової схеми з дискретними параметрами, що адекватно відображають фактичний стан вібросистеми в будь-який момент руху.

. Реалізація таких принципів дала можливість значно зменшити енергоємність, підвищити загальну ефективність всіх показників робочого процесу. Саме на такій основі здійснена розробка і створення конструкції машин різного технологічного призначення, в тому числі конструктивних рішень зі змінним амплітудно-частотним режимом коливань та з використанням ефектів комбінаційних резонансів. До таких машин відносяться вібромайданчики з різним спектром коливань для формування плоских плит та фундаментних блоків, віброустановки для ущільнення бетонного полотна горизонтальних поверхонь, віброустановки для виробництва тротуарних плит, мала вібраційна техніка для виробництва дрібних бетонних та залізобетонних виробів.

### Список літератури

1. Nesterenko M.M. Theoretical Studies of Stresses in a Layer of a Light-Concrete Mixture, Which is Compacted on the Shock-Vibration Machine / Nesterenko M., Nesterenko T., Skliarenko T. // Int. J. of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7 (3.2) P. 419–424. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14564>
2. Experimental and theoretical investigation of a nonlinear vibrational energy harvester / Andò B., Baglio S., Bulsara A. R., Marletta V., Pistorio A. // Procedia Engineering. 2015. Vol. 120. P. 1024–1027. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.701>.
3. Назаренко И.И. Исследование рабочих процессов вибромашин различного технологического назначения/ И.И. Назаренко, А.Т. Свицерский, Н.Н. Ручинский// Материалы международной научно-технической конференции "Интерстроймех – 2013". Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ) –2013. С.151-154.
4. Nazarenko I.I. Research of stress-strain state of metal constructions for static and dynamic loads machinery [Text] / I.I. Nazarenko , O.P. Dedov, I.I. Zalisko //The IX International Conference HEAVY MACHINERY HM 2017, Zlatibor, Serbia. – p. 13–14, 2017.
5. Nazarenko I.I. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum [Text] // I.I. Nazarenko, V.V. Gaidaichuk, O.P. Dedov, O.S.Diachenko //EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies, Vol 6, No 1 (90), p. 28–36, 2017.

## Theory of creation and practice of using vibrating machines for various technological purposes

I. Nazarenko, O. Dedov, M. Ruchinski, A. Sviderski, A. Bondarenko, A. Zaprivoda, Y. Mishchuk, M. Nesterenko

**Abstract .** The paper presents the results of the study of vibration machines for technological purposes. The theory of joint movement of working bodies of vibrating machines and the processed environments modeled by discrete-continuous systems is developed. The complex approach to the decision of a question of modeling of difficult dynamic systems with variable characteristics of elastic elements at realization of working process is considered. The parameters of resonant vibration systems with directional oscillations for surface compaction, polyphase oscillations and spatial oscillations are determined. The basic principles of such approach to the decision of a question of rational use of materials at designing of cars are resulted. New designs of machines and their components are offered. The data on researches which are introduced in educational process, normative documentation and in the industry are resulted.

**Keywords:** energy-saving machines, modeling, stress-strain state, dynamic system, frequencies and forms of oscillations, finite element model.

## Теория создания и практика использования вибрационных машин различного технологического назначения

И.И. Назаренко, О.П. Дедов, Н.Н. Ручинський, А.Т. Свидерський, А.Е. Бондаренко, А.В. Запривода, Е.А. Міщук, Н.Н. Нестеренко

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования вибрационных машин технологического назначения. Разработана теория совместного движения рабочих органов вибрационных машин и обрабатываемых сред, моделируемых дискретно-непрерывными системами. Рассмотрен комплексный подход к решению вопроса моделирования сложных динамических систем с переменными характеристиками упругих элементов при реализации рабочего процесса. Определены параметры резонансных колебательных систем с направленными колебаниями для уплотнения поверхности, многофазных колебаний и пространственных колебаний. Приведены основные принципы такого подхода к решению вопроса рационального использования материалов при проектировании автомобилей. Предлагаются новые конструкции машин и их узлов. Приведены данные об исследованиях, которые внедрены в учебный процесс, нормативную документацию и в промышленность.

**Ключевые слова:** энергоэффективные машины, моделирование, напряженно-деформированное состояние, динамическая система, частоты и формы колебаний, конечно-элементная модель.