

УДК 621.3.011(075.8)

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.183874

## **РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ВІБРОСИСТЕМИ**

**Назаренко І. І., Сліпецький В. В.**

## **РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПРИНЦИПОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ПАРАМЕТРОВ ВИБРОСИСТЕМЫ**

**Назаренко И. И., Слипецкий В. В.**

## **DEVELOPMENT OF THE ORGANIZATIONAL PRINCIPLES OF FORMATION OF THE OPTIMAL DIAGRAM AND PARAMETERS OF VIBRATION SYSTEM**

**Nazarenko I., Slipetskyi V.**

*Розглянуто загальні питання розробки оптимальної принципової схеми вібраційної системи й визначення параметрів цієї схеми, що забезпечують екстремум критерію оптимальності. Об'єктом дослідження є технічні машини і технологічні середовища, які розглядаються як система, що підкорена єдиному вібраційному процесу. Технічними машинами прийняті в роботі вібраційні машини для реалізації процесів ущільнення. Технологічними середовищами прийняті двофазні дисперсні середовища, що використовуються для ущільнення. Такими середовищами прийняті бетонні суміші та ґрунти. Зниження енергетичних витрат, високий рівень і швидкість передачі енергії на виконання технологічного процесу є головними чинниками в створенні оптимальних схем вібросистем. Одним з найбільш проблемних місць у вирішенні такого підходу є відсутність загальноприйнятої моделі взаємодії робочих органів машин із оброблювальним середовищем. Існуючі дослідження базувалися на роздільному визначенні параметрів машин і середовищ. Такі методи характеризуються значними витратами енергії та довгою тривалістю протікання технологічного процесу. Запропонований підхід на основі гармонізації сил машин і середовищ, що виникають у вібраційному процесі, дозволив значно знизити витрати енергії. У роботі також отримано новий синергетичний ефект системи. Це пов'язано з тим, що у запропонованого методу створення оптимальної схеми є ряд особливостей. Так, в ході дослідження використовувалися режими поєднання пружно-інерційних сил підсистем в єдиній системі. Визначено зокрема реалізація субрезонансних та суперрезонансних режимів. Завдяки цьому забезпечується можливість довести до максимуму ефективність вібросистем не тільки в нових конструктивних рішеннях, але й в цілеспрямованому використанні внутрішніх властивостей об'єднаної системи. У порівнянні з аналогічними відомими вібраційними машинами забезпечується зменшення витрат енергії на 50%. Запропонована методика розробки організаційних принципів формування оптимальної схеми та параметрів використані при проектуванні вібраційних систем*

для вібраційних та вібраційно-ударних режимів ущільнення будівельних сумішей.

**Ключові слова:** організаційні принципи, оптимальна схема, вібраційна система, критерії оптимальності, параметри схеми, субрезонансні і суперрезонансні режими.

Рассмотрены общие вопросы разработки оптимальной принципиальной схемы вибрационной системы и определения параметров этой схемы, обеспечивающих экстремум критерия оптимальности. Объектом исследования являются технические машины и технологические среды, которые рассматриваются как система, подчиненная единому вибрационному процессу. Техническими машинами приняты в работе вибрационные машины для реализации процессов уплотнения. Технологическими средами принято двухфазные дисперсные среды, используемые для уплотнения. Такими средами приняты бетонные смеси и грунты. Снижение энергетических затрат, высокий уровень и скорость передачи энергии на выполнение технологического процесса являются главными факторами в создании оптимальных схем вибросистем. Одним из самых проблемных мест в решении такого подхода является отсутствие общепринятой модели взаимодействия рабочих органов машин с обрабатываемой средой. Существующие исследования базировались на раздельном определении параметров машин и сред. Такие методы характеризуются значительными затратами энергии и долгой продолжительностью протекания технологического процесса. Предложенный подход на основе гармонизации сил машин и сред, возникающих в вибрационном процессе, позволил значительно снизить затраты энергии. В работе также получен новый синергетический эффект системы. Это связано с тем, что в предложенном методе создания оптимальной схемы есть ряд особенностей. Так, в ходе исследования использовались режимы сочетания упруго-инерционных сил подсистем в единой системе. В частности определены условия реализации субрезонансных и суперрезонансных режимов. Благодаря этому дается возможность обеспечить максимум эффективности вибросистем не только в новых конструктивных решениях, но и в целенаправленном использовании внутренних свойств объединенной системы. По сравнению с аналогичными известными вибрационными машинами обеспечивается уменьшение затрат энергии на 50 %. Предложенная методика разработки организационных принципов формирования оптимальной схемы и параметров использованы при проектировании вибрационных систем для вибрационных и вибрационно-ударных режимов уплотнения строительных смесей.

**Ключевые слова:** организационные принципы, оптимальная схема, вибрационная система, критерии оптимальности, параметры схемы, субрезонансные и суперрезонансные режимы.

## 1. Вступ

Вибір оптимальної принципової схеми вібраційної системи й визначення параметрів цієї схеми є завданнями синтезу оптимальних силових вібраційних систем. А вибір схеми – завдання структурного синтезу, вибір же параметрів заданої конструктивної схеми – завдання динамічного синтезу. Як по змісту,

так і за методикою рішення ці задачі істотно різні, і якщо динамічний синтез заданої конструктивної схеми вібростеми можна проводити практично для будь-якої такої схеми, то структурний синтез оптимальних силових вібраційних систем розвинений досить недостатньо. Прийнятий підхід до вибору принципової схеми силової вібраційної системи заснований на аналізі відомих силових вібраційних систем.

Процес удосконалювання технічних систем безперервний. Ефективність цього процесу визначається тим, наскільки вирішена проблема розробки методів визначення оптимальних структур технічних систем на стадії проектування [1]. Дослідженню загальних задач створення резонансних вібраційних апаратів присвячена робота [2]. Сама по собі структура (тобто сукупність і взаємозв'язок тих або інших елементів) якоюсь мірою визначає надійність і довговічність системи. Широке впровадження подібної вібраційної техніки стримувався рядом існуючих причин [3]. Так, адекватність розрахункової моделі реальному процесу довгий час базувався на спрощених підходах врахування взаємовпливу робочих органів і оброблювальних середовищ. Дослідження [4] виконані з урахуванням напружено-деформованого стану металоконструкцій машини технологічного призначення, але не враховані динамічні впливи на їх стан. За умов моделювання, коли характер поведінки системи приймається гармонійним, в реальних вібраційних системах можливе виникнення нижчих і вищих гармонік [5]. Природа їхнього проявлення є різною. В будь-якому випадку це вплив ефектів нелінійності. Певним чином це можуть бути субрезонансні і суперрезонансні режими. Явища в складних нелінійних системах, як зазначають автори роботи [6], є перспективним напрямком і вимагають додаткових досліджень. У роботі [7] до нелінійних систем застосовується метод активного контролю вібрацій. Перевага такого інтегрального методу полягає в тому, що немає необхідності знати параметри системи, такі як коефіцієнти маси, дисипації і жорсткості, які зазвичай отримують методами скінченних елементів. Для вимірювання динамічного процесу руху системи застосовують метод прискорення [8]. Разом з тим, існують і інші, альтернативні рішення. Так, в роботі [9] розглянуті варіанти дистанційного вимірювання коливань за допомогою лазерних та оптичних приладів. Застосування датчика коливань на основі оптичного волокна пропонується в роботі [10]. В роботі [11] при дослідженні процесів обробки технологічних середовищ, враховуються ефекти взаємодії робочого органу і середовища. Отже, отримання остаточного методу створення оптимальних вібраційних систем є вихідна умова адекватності розрахункової моделі реальному технологічному процесу.

Таким чином, актуальною є проблема розробки основних організаційних принципів формування оптимальної схеми та параметрів вібраційної системи. З погляду можливості рішення проблеми структурного синтезу теоретичний й експериментальний аналіз систем дозволяє виявити шляхи вдосконалення режимів і параметрів. Саме цей висновок є передумовою проведення даного дослідження.

*Об'єктом дослідження є технічні машини і технологічні середовища, які розглядаються як система, що підкорена єдиному вібраційному процесу.*

Технічними машинами прийняті в роботі вібраційні машини для реалізації процесів ущільнення. Технологічними середовищами прийняті двофазні дисперсні середовища, що використовуються для ущільнення. Такими середовищами прийняті бетонні суміші та ґрунти. Зниження енергетичних витрат, високий рівень і швидкість передачі енергії на виконання технологічного процесу, є головними чинниками в створенні оптимальних схем вібросистем.

*Метою роботи* є розробка основних організаційних принципів формування оптимальної схеми та параметрів вібраційної системи.

## 2. Методика проведення досліджень

Проведений аналіз літературних джерел та результати попередніх досліджень [1, 3] дозволили розробити структурну схему стадій процесів ущільнення сумішей (рис. 1).



**Рис. 1.** Стадії та моделі процесів ущільнення сумішей

Приведені реологічні моделі відображають принцип процесів ущільнення на всьому етапі ущільнення сумішей і дозволяють запропонувати значення основних параметрів при реалізації різних режимів.

Для гармонійних коливань з частотою  $\omega=300-600 \text{ с}^{-1}$  оптимальна амплітуда:

$$X_{opt} = \frac{(4-6)g}{\omega^2}, \quad (1)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння ( $g=9,8 \text{ м/с}^2$ ).

Для частоти  $314 \text{ с}^{-1}$  оптимальна амплітуда коливань визначається по нижньому і верхньому прискоренню, тобто  $X_{opt}=0,4-0,6 \text{ мм}$ ; для більш високих частот за верхньою границею прискорення (для  $\omega=420 \text{ с}^{-1}$   $X_{opt}=0,35 \text{ мм}$ , для  $\omega=628 \text{ с}^{-1}$   $X_{opt}=0,15 \text{ мм}$ ).

Для віброударних режимів з частотою  $\omega=105-157 \text{ с}^{-1}$  оптимальна амплітуда коливань (напіврозмах коливань) визначається за залежністю:

$$X_{opt} = \frac{(2-2,25)g}{\omega^2}. \quad (2)$$

Завдання формування оптимальних вібраційних систем розглянуто як задачу, що припускає послідовне рішення наступних підзадач:

1. Відшукування таких керувань у силових вібраційних системах, які при зазначених у постановці загальної задачі в її умовах забезпечують екстремум критерію оптимальності.

2. Вибір структур, у яких знайдені оптимальні керування можуть бути реалізовані (структурний синтез).

3. Визначення оптимальних динамічних параметрів обраних структур силових вібраційних систем (динамічний синтез).

### **3. Результати дослідження та обговорення**

Здійснені дослідження та послідовне рішення зазначених підзадач дозволили сформулювати наступні принципи формування оптимальної схеми вібраційної машини для ущільнення суміші:

1. Оптимальна, змінна у часі частота режиму віброобробки середовища.

2. Зміна амплітуди коливань в процесі віброобробки середовища.

3. Умова, за якою забезпечується менша відстань точок середовища до віброуючого органа.

4. Забезпечення змінювати сили тертя й зчеплення лише в явно вираженому напрямку активної сили.

5. Оптимальні умови, за яких здійснюється передача максимуму енергії від робочого органа до оброблюваного середовища.

6. Система забезпечує найбільш наближену передачу руху робочого органа найбільшому числу часток оброблюваного середовища.

7. Оптимізаційними параметрами та режимом системи враховувати особливості етапів процесу ущільнення суміші.

Таким чином, вібраційна система, що задовольняє зазначеним вище принципам є керованою та оптимальною у часі дії на оброблювальне середовище.

Завдання формування оптимальної схеми трактується як проектування та створення вібросистеми, яка задовольняє перерахованим вище принципам. З них особливо важливим є принцип зміни в часі частоти й амплітуди коливань.

Конструювання пристрою для зміни параметрів зводиться до безупинної або дискретної зміни їх у часовому оптимізаційному здійсненні робочого процесу.

З отриманих результатів впливає наступне.

1. Стадії процесу ущільнення сумішей складаються у переукладенні складових суміші (перехід із хаотичного до стійкого укладання складових), їх ущільнення (компактна компоновка складових суміші) та компресійне до ущільнення (вилучення повітря).

2. Прискорене та ефективне протікання процесу потребує на першій стадії значних за величиною амплітуд коливань (0,8...1,2 мм) з частотою (100...150 с<sup>-1</sup>). А на наступних стадіях забезпечення амплітуд коливань (0,4...0,45 мм) з частотою (250...314 с<sup>-1</sup>).

3. Визначені основні принципи формування оптимальної схеми, сутність яких полягає в гармонізації режимів руху вібраційної машини та середовища.

#### 4. Висновки

В результаті здійснених досліджень встановлені основні принципи створення оптимальної схеми вібраційної системи, яка базується на ціленаправленому використанні внутрішніх динамічних властивостей машин і середовищ. При цьому така система в дослідженнях та визначенні оптимальних параметрів розглядається як така, що підкорена єдиному вібраційному процесу.

Запропонований у роботі метод визначення основних принципів формування оптимальної схеми вібраційної системи може бути ефективно використаний і для реалізації інших технологічних процесів в різних галузях, де застосовуються вібраційні технології.

#### Література

1. Назаренко, І. І., Берник, І. М. (2013). *Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв*. Київ: Аграр Медіа Груп, 544.
2. Lanets, O., Derevenko, I., Borovets, V., Kovtonyuk, M., Komada, P., Mussabekov, K., Yeraliyeva, B. (2019). Substantiation of consolidated inertial parameters of vibrating bunker feeder. *Przegląd elektrotechniczny*, 1 (4), 49–54. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.04.09>
3. Nazarenko, I. I., Ruchynskyi, M. M., Sviderskyi, A. T., Kobylanska, I. M., Kalizhanova, A., Kozbakova, A. (2019). Development of energy-efficient vibration machines for the buiding-and-contruction industry. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (4), 55–61. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.04.10>
4. Нестеренко, М. П. (2015). Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*, 44, 177-181.
5. Gonella, S., Ruzzene, M. (2008). Homogenization of vibrating periodic lattice structures. *Applied Mathematical Modelling*, 32 (4), 459–482. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apm.2006.12.014>
6. Andò, B., Baglio, S., Bulsara, A. R., Marletta, V., Pistorio, A. (2015). Experimental and Theoretical Investigation of a Nonlinear Vibrational Energy Harvester. *Procedia Engineering*, 120, 1024–1027. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.701>
7. Yamamoto, G. K., da Costa, C., da Silva Sousa, J. S. (2016). A smart

experimental setup for vibration measurement and imbalance fault detection in rotating machinery. *Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing*, 4, 8–18. doi: <http://doi.org/10.1016/j.csmssp.2016.07.001>

8. Jia, Y., Seshia, A. A. (2014). An auto-parametrically excited vibration energy harvester. *Sensors and Actuators A: Physical*, 220, 69–75. doi: <http://doi.org/10.1016/j.sna.2014.09.012>

9. Lezhin, D. S., Falaleev, S. V., Safin, A. I., Ulanov, A. M., Vergnano, D. (2017). Comparison of Different Methods of Non-contact Vibration Measurement. *Procedia Engineering*, 176, 175–183. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.286>

10. Gianti, M. S., Prasetyo, E., Wijaya, A. D., Berliandika, S., Marzuki, A. (2017). Vibration Measurement of Mathematical Pendulum based on Macrobending-Fiber Optic Sensor as a Model of Bridge Structural Health Monitoring. *Procedia Engineering*, 170, 430–434. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.069>

11. Bernyk, I., Luhovskyi, O., Nazarenko, I. (2018). Effect of rheological properties of materials on their treatment with ultrasonic cavitation. *Materiali in Tehnologije*, 52 (4), 465–468. doi: <http://doi.org/10.17222/mit.2017.021>

*The general issues of the development of an optimal circuit diagram of a vibration system and determination of the parameters of this circuit providing an extreme criterion of optimality are considered. The object of research is technical machines and technological media, which are considered as a system subordinated to a single vibration process. By technical machines, vibration machines adopted in the work for the implementation of compaction processes are adopted. Technological media adopted two-phase dispersed media used for compaction. Concrete mixes and soils are accepted by such media. Reducing energy costs, a high level and speed of energy transfer to the process are the main factors in creating optimal schemes of vibration systems. One of the most problematic places in solving this approach is the lack of a generally accepted model for the interaction of the working bodies of machines with the processing medium. Existing studies are based on the separate determination of the parameters of machines and media. Such methods are characterized by significant energy costs and a long duration of the process. The proposed approach based on the harmonization of the forces of machines and media arising in the vibration process, has significantly reduced energy costs. The work also obtained a new synergistic effect of the system. This is due to the fact that the proposed method for creating the optimal circuit has a number of features. So, in the course of the study, the modes of combining the elastic-inertial forces of the subsystems in a single system are used. Particular implementation of subresonance and superresonance modes are determined. Thanks to this, it is possible to maximize the effectiveness of vibration systems not only in new design solutions, but also in the targeted use of the internal properties of the integrated system. Compared with similar well-known vibrating machines, energy costs are reduced by 50 %. The proposed methodology for developing organizational principles for the formation of the optimal scheme and parameters is used in the design of vibration systems for vibration and vibration-shock modes of compaction of building mixtures.*

**Keywords:** principles, optimal circuit, vibration system, optimality criteria, circuit parameters, subresonance and superresonance modes.