

УДК 621.3.011(075.8)

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.189057

## **АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ІЗ ОЦІНКОЮ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ**

**Назаренко І. І., Сліпецький В. В.**

## **АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СОЗДАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН С ОЦЕНКОЙ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

**Назаренко И. И., Слипецкий В. В.**

## **ANALYSIS AND SYNTHESIS OF CREATION OF VIBRATION MACHINES WITH AN ESTIMATION OF THEIR EFFICIENCY AND RELIABILITY**

**Nazarenko I., Slipetskyi V.**

*Розглянуто аналіз процесів, що протікають в середовищі під дією вібраційних сил. Здійснено синтез отриманих результатів для розробки нового класу вібраційних машин, які забезпечують критерії ефективності та надійності. Основним критерієм оцінки ефективності прийнята функція амплітуди і частоти коливань, яка визначає швидкість або прискорення процесу ущільнення. При цьому доведена логіка стадійного розгляду процесу ущільнення. Перший з них – процес переукладання складових суміші – інтенсивно протікає тільки при відсутності яких-небудь значних зовнішніх навантажень. Реалізується цей процес забезпеченням машиною низької швидкості, тобто великої амплітуди та малої частоти коливань. Другий – це процес зближення частинок суміші із більш щільним, компактним укладанням складових цієї суміші між собою. Він протікає при наявності значних динамічних навантажень, збільшення яких до певної межі дає позитивний ефект. На цій стадії реалізуються малі значення амплітуд коливань та висока частота. Одним з найбільш проблемних місць у вирішенні такого підходу є відсутність не тільки загальноприйнятих методів оцінки цих властивостей, але навіть і єдиного погляду на її природу. В новоствореній вібраційній машині зазначені процеси досягаються за рахунок цілеспрямованого використання удару і вібрації. Конструктивно це забезпечується застосуванням обмежників коливань. Об'єктом дослідження є вібраційні та віброударні процеси в машинах для ущільнення будівельних сумішей в дорожньому та будівельному виробництві. Визначено зокрема відповідний підбір жорсткості обмежників коливань, здійснено вибір раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань. Завдяки цьому виявлені нові явища при реалізації стадійних режимів роботи із встановленням декількох стійких режимів. Аналіз надійності вібраційних машин здійснювався методами якісного та кількісного аналізів. Простота конструкції машини забезпечує надійність її роботи. Зменшується*

в два рази режим ущільнення бетонної суміші у порівнянні із існуючими параметрами вібраційних процесів.

**Ключові слова:** вібраційна машина, процес ущільнення, стадії режимів ущільнення, будівельна суміш, амплітуда та частота коливань.

Рассмотрен анализ процессов, протекающих в среде под действием вибрационных сил. Осуществлен синтез полученных результатов для разработки нового класса вибрационных машин, которые обеспечивают критерии эффективности и надежности. Основным критерием оценки эффективности принята функция амплитуды и частоты колебаний, которая определяет скорость или ускорение процесса уплотнения. При этом доказана логика стадийного рассмотрения процесса уплотнения. Первый из них – процесс переукладки составляющих смеси – интенсивно протекает только при отсутствии каких-либо значительных внешних нагрузок. Реализуется этот процесс обеспечением машиной низкой скорости, то есть большой амплитуды и малой частоты колебаний. Второй – это процесс сближения частиц смеси с более плотной, компактной их укладкой в этой смеси. Он протекает при наличии значительных динамических нагрузок, увеличение которых до определенного предела дает положительный эффект. На этой стадии реализуются малые значения амплитуд колебаний и высокая частота. Одним из самых проблемных мест в решении такого подхода является отсутствие не только общепринятых методов оценки этих свойств, но даже и единого взгляда на ее природу. В новой созданной вибрационной машине указанные процессы достигаются за счет целенаправленного использования удара и вибрации. Конструктивно это обеспечивается применением ограничителей колебаний. Объектом исследования является вибрационные и виброударные процессы в машинах для уплотнения строительных смесей в дорожном и строительном производстве. Определен в частности соответствующий подбор жесткости ограничителей колебаний, осуществлен выбор рационального соотношения времени удара и периода колебаний. Благодаря этому обнаружены новые явления при реализации стадийных режимов работы с установкой нескольких устойчивых режимов. Анализ надежности вибрационных машин осуществлялся методами качественного и количественного анализов. Простота конструкции машины обеспечивает надежность ее работы. Уменьшается в два раза режим уплотнения бетонной смеси по сравнению с существующими параметрами вибрации.

**Ключевые слова:** вибрационная машина, процесс уплотнения, стадии режимов уплотнения, строительная смесь, амплитуда и частота колебаний.

## 1. Вступ

Аналіз ряду робіт [1–3] показав, що існуюча вібраційна техніка не в повній мірі задовольняє сучасним вимогам ефективності та надійності. Подібні результати отримані і у власних дослідженнях авторів [4]. При цьому зазначено, що ні амплітуда коливання, ні швидкість, ні прискорення, взяті окремо, не є параметром оцінки ефективності процесу ущільнення. Тому, що окремо взяті ці

параметри не забезпечують досягнення необхідної щільності і міцності готового виробу. Процес буде ефективним тільки в тому випадку, якщо швидкість переміщення складових суміші буде достатня для зменшення сил внутрішнього тертя [5]. Для бетону даного складу при постійній тривалості вібрування мається гранична швидкість, за межами якої щільність і міцність повільно підвищуються або залишаються без змін. Це обумовлено тим, що в бетонній суміші з пластично-в'язкими властивостями цементного тіста структурні зв'язки руйнуються при низьких частотах вібрації [6]. В цьому випадку виникають амплітудні деформації в суміші, які здатні створити необхідні умови для перегрупування і компактної упаковки зерен заповнювачів. Визначена таким чином фізика процесу ущільнення є передумовою формулювання ідеї створення нової машини із визначення параметрів цієї машини, що забезпечують критеріям ефективності та надійності. Основним критерієм оцінки ефективності прийнята функція амплітуди і частоти коливань, яка визначає швидкість або прискорення процесу ущільнення. При цьому доведена логіка стадійного розгляду процесу ущільнення [7]. Перший з них – процес переукладання складових суміші інтенсивним є тільки при відсутності яких-небудь значних зовнішніх навантажень. Реалізується цей процес забезпеченням машиною низької швидкості, тобто великої амплітуди та малої частоти коливань. При наявності значних сил всебічного стиснення або в обмежених умовах процес переукладання розвивається слабо або не виникає зовсім. Другий – процес зближення частинок суміші із більш щільним, компактним укладанням складових цієї суміші між собою. Він протікає при наявності значних динамічних навантажень, збільшення яких до певної межі дає позитивний ефект. Обумовлюється цей процес оптимумом співвідношення між статичною та динамічною складовою сумарного тиску на суміш. На цій стадії реалізуються малі значення амплітуд коливань та висока частота [7]. Процес досягнення високої ефективності залежить від двох зовсім різнорідних факторів. Це істинних характеристик механічних властивостей суміші (граничного опору зрушенню та в'язкості) і характеристик виду та інтенсивності динамічного впливу на суміш. Причина такого становища в складності процесу формозміни (течії) суміші. Процес потрібно розглядати як залежність від двох зовсім різнорідних факторів. Тобто істинних характеристик механічних властивостей суміші (граничного опору зрушенню, в'язкості). А також характеристик виду та інтенсивності динамічного впливу на формування майбутнього виробу. Це може бути бетонне полотно автомобільної дороги або бетонний виріб. Іншими словами, при вібраційному формуванні виробів ми маємо справу не з істинною, а з ефективною або вібраційною в'язкістю суміші. У даній роботі не говориться про ефективний опір зсуву, оскільки при застосуванні сучасних вібраційних формувальних машин він практично не виявляється. Процес досягнення високої ефективності залежить від двох зовсім різнорідних факторів. Це істинні характеристики механічних властивостей суміші (граничного опору зрушенню та в'язкості) і характеристик виду та інтенсивності динамічного впливу на суміш. Одним з найбільш проблемних місць у врахуванні зазначених факторів є відсутність не тільки загальноприйнятих методів оцінки цих властивостей, але навіть і єдиного погляду на її природу. Таким чином, актуальною є проблема

якісного та кількісного аналізу на основі якого формується структурний синтез, що і є передумовою розробки нової конструкції вібраційної машини. *Об'єктом дослідження* є вібраційні та віброударні процеси в машинах для ущільнення будівельних сумішей в дорожньому та будівельному виробництві. *Предметом дослідження* є аналіз та синтез вібраційних машин для реалізації процесів ущільнення. *А метою роботи* є розробка нових конструкцій вібраційних машин, які забезпечать високу ефективність та надійність в процесі їх експлуатації.

## 2. Методика проведення досліджень

Методи аналізу надійності використані для прогнозування безвідмовності, ремонтпридатності, готовності та заходів щодо забезпечення безпеки вібраційної машини, а також для порівняння наслідків прогнозування із заданими вимогами [8].

Завдання аналізу надійності та його обсяг залежать від стадії життєвого циклу вібраційної машини, який враховує весь процес використання аж до її списання [9]. Також варто враховувати глибину відпрацювання збірних одиниць та стан вібраційної машини в цілому [10]. Важливими складовими надійності, що підлягають дослідженню є оцінка наслідків відмов і граничних її станів [11]. Аналіз надійності системи та рішення задач оптимізації в елементах структурного синтезу здійснювався такими методами [12]:

1) якісний аналіз (визначення типів несправностей, механізмів відмов елементів та їх наслідків для системи, аналіз функціональної схеми вібраційної машини, аналіз системи технічного обслуговування та ремонту, побудова структурних схем надійності системи);

2) кількісний аналіз (побудова математичних моделей надійності елементів і системи за динамічними параметрами).

Здійснений аналіз літературних джерел та результатів попередніх досліджень [4] дозволили визначити критерії ефективності (табл. 1).

**Таблиця 1**

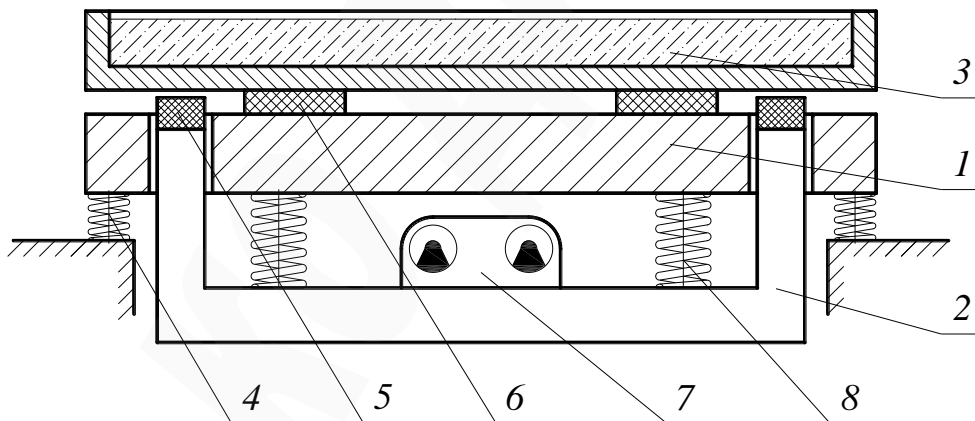
Критерії оцінки ефективності процесів ущільнення будівельних сумішей

№	Назва критерію	Аналітична залежність
1	2	3
1	Інтенсивність вібраційної дії: – для синусоїдальних коливань (добуток швидкості і прискорення) – для двочастотного вібрування – для багаточастотного вібрування – у випадку несинусоїдальних форм коливань	$u = A^2 \cdot f^3;$ $u = \frac{\alpha \cdot A}{4\pi^2 T} \cdot \frac{(1+kn)^2}{2};$ $u = \frac{\alpha \cdot A}{4\pi^2 T} \cdot \frac{(1 + \sum k_i n_i)^2}{2};$ $u = \frac{\alpha \cdot A}{4\pi^2 T}$
2	К.к.д. використання потужності базової машини	—

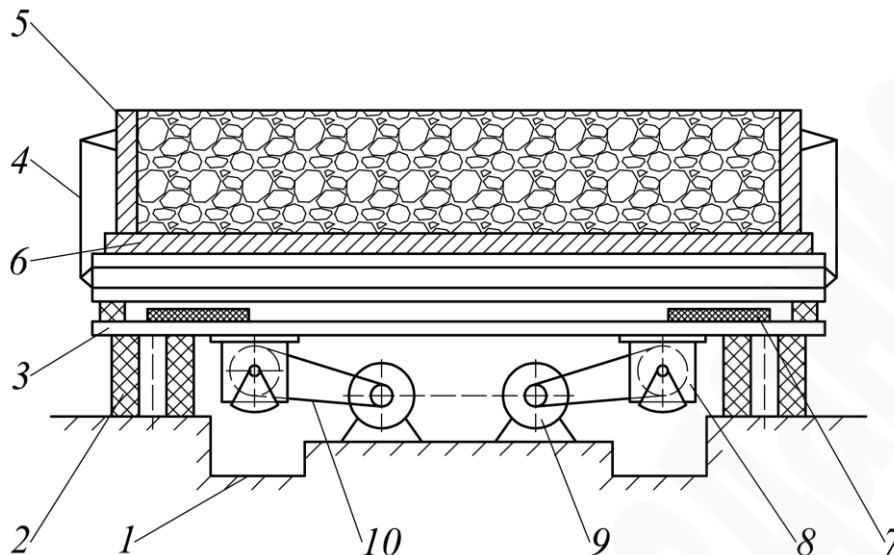
Продовження таблиці 1

1	2	3
3	Питома продуктивність	$\Pi = \frac{P}{N}$
4	Інтенсивність динамічного навантаження	$I = \sigma_0 \cdot \omega$
5	Усереднена інтенсивність по висоті активної зони	$n_{cp} = \frac{1}{h} \int \sigma(h) \cdot \nu(h) dh$
6	Питома робота віброуцільнення	$\bar{A} = \bar{P} \cdot t$
7	Питома потужність на ущільнення будівельної суміші	$\bar{P} = \frac{k \cdot k_d \cdot x_{cp} \cdot a_n \cdot (1 + k_a)}{T \cdot k_a}, \bar{P} = k \cdot k_b \cdot x_0^2 \cdot \omega^3$

За даними цих критеріїв здійснювався параметричний синтез – частина процесу дослідження вирішення задачі визначення основних конструктивних (геометричних і механічних) параметрів машин в цілому, її окремих механізмів, пристроїв і робочих органів [7]. Структурний синтез вібраційної машини виконувався по блочно-ієрархічному принципу. У відповідності до нього на кожному рівні дослідження та розробки синтезується визначений ранг системи. На першому етапі – загальна схема, потім функціональна схема і елементи функціональних систем (блоками є збірні одиниці), далі – окремі функціональні елементи і деталі, котрі входять в збірні одиниці [4]. Розроблені нові вібраційні майданчики із реалізацією субрезонансного режиму наведено на рис. 1, а реалізація суперрезонансного режиму на рис. 2.



**Рис. 1.** Віброударний майданчик із субрезонансним режимом роботи:  
 1 – рама; 2 – ударник; 3 – форма з сумішшю, що ущільнюється;  
 4 – віброізолюючі опори; 5 – буфер ударника; 6 – додатковий буфер;  
 7 – віброзбуджувач



**Рис. 2.** Резонансний вібромайданчик із суперрезонансним режимом роботи:

- 1 – підмоторна рама; 2 – віброопори; 3 – робоча рама; 4 – кронштейн;  
5 – бортоснащення; 6 – піддон; 7 – обмежник коливань; 8 – віброблок

Завдання розробки нових вібраційних машин із забезпеченням високої ефективності та надійності розглянуто як задачу, що припускає послідовне рішення наступних підзадач:

1. Вибір та обґрунтування критеріїв оцінки ефективності параметрів робочого процесу ущільнення будівельних сумішей та енергоощадного режиму.
2. Відшукування таких конструктивних рішень елементів та вібраційних машин в цілому, які при зазначених у постановці загальної задачі забезпечують надійність їх роботи.
3. Розробка конструкції вібраційних машин із реалізацією багаторежимного спектру їх робочого процесу ущільнення будівельних сумішей.

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

Здійснені дослідження та послідовне рішення зазначених підзадач дозволили сформулювати рішення для розробки ефективних режимів та створення надійних в роботі вібраційних машин для ущільнення будівельних сумішей:

1. Створення машин з гармонійним збудженням на виріб, що формується багатокомпонентним спектром коливань із такими параметрами: амплітуда коливань в горизонтальній площині – 0,85–1,2 мм; у вертикальній – 0,35–0,45 мм; частота коливань – 25 Гц.
2. Розробка машин багатоцільового призначення, що поєднують в собі процеси укладання, розподілу і ущільнення будівельних сумішей.
3. Розробка вібраційних машин, що працюють в зоні, близькій до резонансу з віброударним впливом на ущільнююче середовище при реалізації наступних параметрів: напіврозмах коливань – 0,75–0,95 мм; частота коливань – 15–20 Гц.
4. Розробка вібраційних машин з нелінійними характеристиками, в роботі яких використовуються ефекти суб- та супер-резонансів.

Здійснений аналіз та параметричний синтез дозволили запропонувати критерії оцінки визначення енергоощадних режимів та параметрів робочого процесу вібраційних машин (табл. 1).

В розроблених вібраційних машинах проблема реалізації зазначених процесів досягається за рахунок цілеспрямованого використання удару і вібрації. Конструктивно це забезпечується застосуванням обмежників коливань.

Вдосконалення машин спрямоване на створення таких конструктивних рішень, які зберегли б у собі достоїнства машин резонансного типу і забезпечували надійність та стійку роботу в заданому режимі.

#### **4. Висновки**

У процесі дослідження визначено зокрема відповідний підбір жорсткості обмежників коливань, здійснено вибір раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань. Завдяки цьому виявлені нові явища при реалізації стадійних режимів роботи із встановленням декількох стійких режимів. Простота конструкції машини забезпечує надійність її роботи. Зменшується в два рази режим ущільнення бетонної суміші у порівнянні із існуючими параметрами вібраційних процесів.

Отримані результати досліджень можуть бути ефективно використані при дослідженні та розробці вібраційної техніки і для інших технологічних процесів їхнього застосування.

#### **Література**

1. Nesterenko, M. P. (2015). Prohresyvnyi rozvytok vibratsiinykh ustanovok z prostorovymu kolyvanniamy dlia formuvannia zalizobetonnykh vyrobiv. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo)*, 44, 177–181.
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. *Przeglad elektrotechniczny*, 1 (4), 49–54. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.04.09>
3. Mishchuk, Ye. O. (2014). Teoretychni doslidzhennia robochoho protsesu vibratsiinoi shchokovoi drobarky. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriia haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*, 3 (42), 72–80.
4. Nazarenko, I. I. (2007). *Prykladni zadachi teorii vibratsiinykh system*. Kyiv: KNUBA, 252.
5. Svyrydiuk, D. Ya. (2014). Doslidzhennia kolyvan vibratsiinoho betonozmishuvacha pry vertykalnomu roztashuvanni barabanu. *Teoriia i praktyka budivnytstva*, 14, 6–9.
6. Nazarenko, I., Slipetskeyy, V. (2019). Study of Dynamics and Operating Parameters Two- Masses Resonant Vibration Machines for Sealing Mortars. *Teka Lublin-Rzeszow*, 19 (1), 101–106.
7. Nazarenko, I., Slipetskyi, V. (2019). Development of the organizational principles of formation of the optimal diagram and parameters of vibration system. *Technology audit and production reserves*, 5 (1 (49)), 29–31. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.183874>



8. Lesko, V. I. (2014). Metod otsinky pokaznykiv nadiinosti hidropryvodiv odnokivshovykh ekskavatoriv iz zastosuvanniam statystychnoho modeliuvannia. *Tekhnika budivnytstva*, 33, 18–23.

9. Nazarenko, M. I. (2015). *Orhanizatsiino – tekhnolohichni modeli ta metody efektyvnoho vykorystannia zasobiv mekhanizatsii v budivnytstvi*. Kyiv: MP Lesia, 152.

10. Delembovskyi, M. M. (2014). Vplyv rezhymiv ekspluatatsii i vlastyvostei elementiv vibromashyn budivelnoi industrii na protsesy nadiinosti. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo)*, 3 (42), 89–97.

11. Novokhatniy, V., Kostenko, S. (2014). Reliability of cooling circulating water supply systems. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 16 (6), 77–84.

12. Chekmenev, V. (2015). The optimization work of diesels of agricultural machines and tractors. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*, 17 (1), 5–10.

*The analysis of processes occurring in the medium under the influence of vibrational forces is considered. The obtained results are synthesized for the development of a new class of vibration machines that provide criteria for efficiency and reliability. The main criterion for evaluating the effectiveness is adopted function of the amplitude and frequency of vibrations, which determines the speed or acceleration of the compaction process. At the same time, the logic of the stage-by-stage examination of the compaction process is proved. The first of them – the process of reconnecting the components of the mixture – intensively proceeds only in the absence of any significant external loads. This process is realized by providing a machine with a low speed, that is, large amplitude and a low frequency of vibrations. The second is the process of approaching the particles of a mixture with a denser, more compact conclusion of the components of this mixture with each other. It proceeds in the presence of significant dynamic loads, the increase of which to a certain limit gives a positive effect. At this stage, small vibration amplitudes and a high frequency are realized. One of the most problematic places in solving this approach is the lack of not only generally accepted methods for assessing these properties, but even a single view of its nature. In a newly vibration machine, these processes are achieved through the targeted use of shock and vibration. Structurally, this is ensured by the use of vibration limiters. The object of research is vibration and vibration shock processes in machines for compaction of building mixtures in road and construction industries. Particulars of the corresponding selection of the rigidity of the vibration limiters are determined, the rational choice of the ratio of the impact time and the vibration period is made. Thanks to this, new phenomena are discovered during the implementation of staged modes of operation with the installation of several stable modes. The reliability analysis of vibration machines is carried out by methods of qualitative and quantitative analyzes. The simplicity of the machine design ensures its reliability. The mode of compaction of the concrete mix is reduced by half in comparison with the existing vibration parameters.*

**Keywords:** vibration machine, compaction process, stages of compaction modes, mortar, amplitude and frequency of vibrations.