

УДК 667.1

DOI <https://doi.org/10.32347/tb.2023.2-39.0203>**Іван Назаренко,**

доктор технічних наук,
завідувач кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>
E-mail: nazarenko.ii@knuba.edu.ua

Олег Дєдов,

доктор технічних наук,
доцент кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>
E-mail: dedov.op@knuba.edu.ua

Олександр Дьяченко,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри Машин і Обладнання Технологічних Процесів,
Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури,
просп. Повітрофлотський 31, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8199-2504>
E-mail: diachenko.os@knuba.edu.ua

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ НАВІСНИХ ЗБУДНИКІВ КОЛИВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ І ДОЦІЛЬНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ НА ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

АНОТАЦІЯ. Зведення будівель за збірною технологією використовується дедалі частіше в Україні. Паралельно з цим розширюється перелік готових залізобетонних виробів, які використовуються в монолітно-каркасній і монолітно-збірній технологіях. Через це постає необхідність збільшувати кількість ліній для виробництва готових залізобетонних виробів та використовувати обладнання, яке дозволить швидко переналагоджувати процес виробництва у залежності від зміни типу і розміру кінцевої продукції. При цьому найбільш відповідальним процесом є ущільнення і формування бетонної суміші з використанням об'ємної технології ущільнення на вібраційних установках блочної або рамної конструкції. Такі установки розраховані на ущільнення бетонних сумішей у стандартизованих за розмірами формах і які не в повній мірі відповідають вимогам універсальності при зміні програми виробництва, забезпеченню високої якості готових виробів та характеризуються суттєвими витратами енергії. Одним із напрямків вирішення наведених недоліків є створення вібраційної установки з навісними збудниками коливань і змінним режимом роботи. Така ідея забезпечується використанням віброустановки в якій рама з привареною поверх пластиною безпосередньо і є піддоном на якому відбувається процес ущільнення. Розміри майбутнього виробу обмежуються встановленням на піддон бортів і перегородок, які закріплюються за допомогою магнітних кріплень, завдяки чому можна легко перелаштувати установку під інші типорозміри панелей. Використання навісних збудників коливань, які розташовані рівномірно по площі формують формуючої плити має на меті покращити розподіл амплітуд у об'ємі бетонної суміші, підвищити якість і зменшити час на ущільнення виробу. В роботі здійснено огляд існуючих конструкцій навісних збудників коливань, виконано аналіз їх недоліків і переваг, а також технічних параметрів. За отриманими результатами визначено, що планетарні пневматичні вібратори мають переваги у величині змушуючої сили, яку здатні генерувати на одиницю власної маси у порівнянні з електричними і гідравлічними відцентровими аналогами. Пневмопланетарні вібратори прості за конструкцією, надійні і дозволяють регулювати частоту коливань в деяких межах без застосування додаткових пристроїв.

Ключові слова: збудник коливань, вібромайданчик, навісне вібраційне обладнання, змушуюча сила, дебаланс, ущільнення.

OVERVIEW OF THE DESIGNS OF HINGED VIBRATION EXCITERS AND RESEARCH OF THEIR PARAMETERS AND THE FEASIBILITY OF THEIR USE ON VIBRATION PLATFORMS TO IMPROVE THE COMPACTING OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

ABSTRACT: Construction of buildings using prefabricated technology is increasingly used in Ukraine. In parallel with this, the list of ready-made reinforced concrete products, which are used in monolithic-frame and monolithic-prefabricated technologies, is expanding. Because of this, it becomes necessary to increase the number of lines for the production of ready-made reinforced concrete products and to use equipment that will allow to quickly adjust the production process depending on the change in the type and size of the final products. At the same time, the most responsible process is the compaction and formation of the concrete mixture using volumetric compaction technology on vibrating platforms of block or frame construction. Such installations are designed for the compaction of concrete mixtures in forms standardized by size and which do not fully meet the requirements of universality when changing the production program, ensuring high quality of finished products, and are characterized by significant energy consumption. One of the directions for solving the mentioned shortcomings is the creation of a vibration installation with attached vibration exciters and a variable mode of operation. Such an idea is ensured by the use of a vibrating installation in which the frame with a plate welded on top is directly the pallet on which the compaction process takes place. The dimensions of the future product are limited by the installation of sides and partitions on the pallet, which are fixed using magnetic fasteners, thanks to which it is possible to easily rearrange the installation for other standard sizes of panels. The use of attached vibration exciters, which are evenly spaced over the area of the forming plate, aims to improve the distribution of amplitudes in the volume of the concrete mixture, improve quality and reduce the time for compaction of the product. The work includes an overview of the existing designs of mounted vibration exciters, an analysis of their disadvantages and advantages, as well as technical parameters. According to the obtained results, it was determined that planetary pneumatic vibrators have advantages in the amount of disturbing force that they are able to generate per unit of their own mass, higher indicators of dynamism criteria compared to electric and hydraulic centrifugal analogues. Pneumoplanetary vibration exciters are simple in design, reliable and allow adjusting the frequency of oscillations within certain limits without the use of additional devices.

Keywords: vibration exciter, vibration platform, attached vibration equipment, disturbing force, imbalance, compaction.

1. Постановка проблеми. Виробництво плоских збірних залізобетонних виробів і конструкцій на заводах будіндустрії все ще займає велику долю в галузі будівництва, що пояснюється високими показниками по термінам виготовлення і якості продукції[1]. Найбільш відповідальним процесом при їх виробництві є процес ущільнення бетонних сумішей, при якому відбувається найбільш рівномірне розподілення суміші по площі форми майбутнього виробу, витіснення повітря і зайвої рідини з суміші[5]. Саме від процесу ущільнення у більшій мірі залежить надання потрібної конфігурації і необхідної щільності суміші, що в готовому виробі має позначитись на міцності, водонепроникності, морозостійкості і забезпечити належну якість поверхонь.

При ущільненні бетонної суміші використовуються вібраційні установки, до яких висуваються високі вимоги по параметрам і конструкції. Однак не завжди дані машини задовольняють вимогам по ефективності і енергоємності процесу ущільнення, надійності конструкції[2] і не забезпечують можливість швидкого переналадження їх для формування виробів різних за формою і наповненням.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій: Дослідженню процесу формування і ущільнення бетонних і залізобетонних сумішей, а також видів обладнання і способів приведення його в дію присвячена низка робіт[1,2,5-6]. У роботах [6,7] наведено огляд основних способів ущільнення і формування бетонних сумішей. Конструкціям вібраційних збудників коливань присвячено роботи [1-3,5]. Аналізу та оцінці характеристик і параметрів вібраційних установок присвячено роботу [5]. Дослідженню надійності вузлів вібраційних установок присвячені роботи [3,4]. В роботі [6] присутні рекомендації щодо оптимальних параметрів ущільнення, та

використання при цьому навісних вібраційних збудників коливань з різними конструкціями і параметрами.

3. Мета роботи. Робота має на меті оглянути конструкції і приводи навісних вібраційних збудників коливань, які наявні на ринку, дослідити і порівняти їх характеристики і параметри за критеріями відношення змушуючої сили до маси та критерієм статичних мас неврахованих частин. А також дослідити можливість встановлення навісних збудників коливань на вібраційну установку для формування і ущільнення бетонних сумішей задля зниження енергоємності процесу, збільшення простоти конструкції та надійності і гнучкості підлаштування її параметрів під різні вироби як за формою так і за наповненням.

4. Матеріали та методи. З точки зору ефективності і надійності конструкції серед можливих варіантів конструкцій вібраційної установки з просторовими коливаннями було обрано одномасову рамну конструкцію з навісними віброзбудниками коливань [8]. Схему даної установки представлено на рис.1.

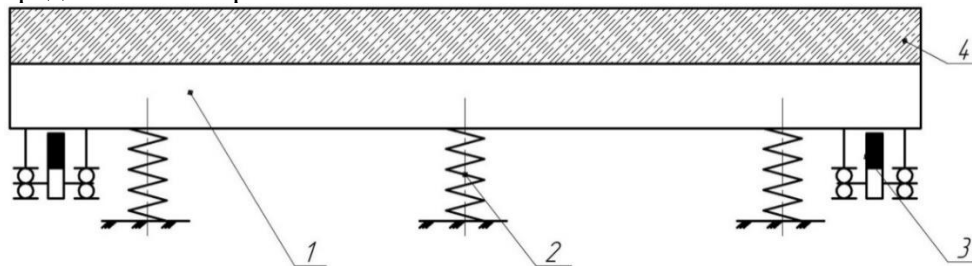


Рис.1. Схема вібраційної установки з навісними збудниками коливань
Fig. 1. Scheme of a vibration installation with attached vibration exciters

Вона складається з рами 1, яку встановлено на пружних опорах 2. Установка приводиться у дію навісними збудниками коливань 3, які встановлено несиметрично на рамі установки. Рама установки безпосередньо і є піддоном(формою), на якому виконують ущільнення бетонних сумішей 4. Конструкція установки для об'ємного ущільнення з навісними віброзбудниками коливань має на меті покращити розподілення амплітуд коливань по периметру поверхні форми і, як наслідок, покращити ефективність і якість ущільнення, а також підвищити надійність конструкції.

Навісні віброзбудники коливань, їх конструкції, методи приведення у дію і технічні параметри сильно різняться. У роботі виконано структурний аналіз конструкцій віброзбудників коливань, а також методи приведення їх у дію, результатом чого були виокремлені їх недоліки і переваги. Оцінка параметрів була виконана методом абстрагування у результаті чого були виділені найбільш суттєві технічні параметри і конструктивні особливості навісних віброзбудників коливань. З технічних параметрів для порівняння обрані частота коливань і змушуюча сила, яку генерує віброзбудник, і його маса. З конструктивних особливостей такі віброзбудники мають відповідати умовам їх навішування на раму віброустановки. Для порівняння віброзбудників різних типів і конструкцій використано критеріальний аналіз.

5. Результати. Не зважаючи на широке поширення монолітно-каркасного способу зведення будівель у наш час, виробництво збірних залізобетонних конструкцій і деталей все ще займає велику частку будівництва. Пояснюється це тим, що ключові технологічні процеси виконуються на заводі. Це дозволяє досягти високих показників по термінам виготовлення і якості продукції [3].

Для ущільнення бетонних сумішей зазвичай використовується вібраційний метод, який полягає у тому, що при коливаннях бетонна суміш отримує властивості текучості внаслідок порушення зв'язків між частинками(явище тиксотропії), і вони під дією сил ваги прагнуть зайняти більш стійке положення, при цьому повітря витискується і суміш ущільнюється [5].

Вібраційний метод ущільнення є основним при виготовленні збірних бетонних і залізобетонних виробів через високу ефективність, і являє одну з найбільш відповідальних операцій. Тому до вібраційних машин, які використовують для ущільнення бетонних сумішей

пред'являють високі вимоги такі як простота конструкції і, як результат, висока ремонтпридатність і надійність, низька енергоємність і металоємність, а також забезпечення високої ефективності ущільнення[4].

Зазвичай на вібраційних установках використовуються стаціонарні вібраційні збудники синусоїдальних коливань з частотою коливань 25, 50 Гц, рідше 100 Гц і вище[1].

За принципом дії існуючі навісні віброзбудники коливань ділять на три групи[1-3]:

1. Електромагнітні(електромеханічні) віброзбудники коливань, в яких електрична енергія перетворюється в енергію механічних коливань;
2. Пневмо- та гідромеханічні віброзбудники коливань, в яких енергія газоподібного або рідкого робочого тіла перетворюється в енергію механічних коливань;
3. Інерційні віброзбудники коливань.

До електромагнітних (рис.2) належать віброзбудники коливань, в яких змушуюча сила створюється магнітним полем, яке виникає коли через обмотку електромагніту 1 пропускається змінний або пульсуючий струм, який спричиняє періодичне намагнічування осердя, внаслідок чого виникають періодичні сили притягання якоря 2 до осердя. Зворотній рух осердя відбувається під дією відновлювальної сили пружин 3.

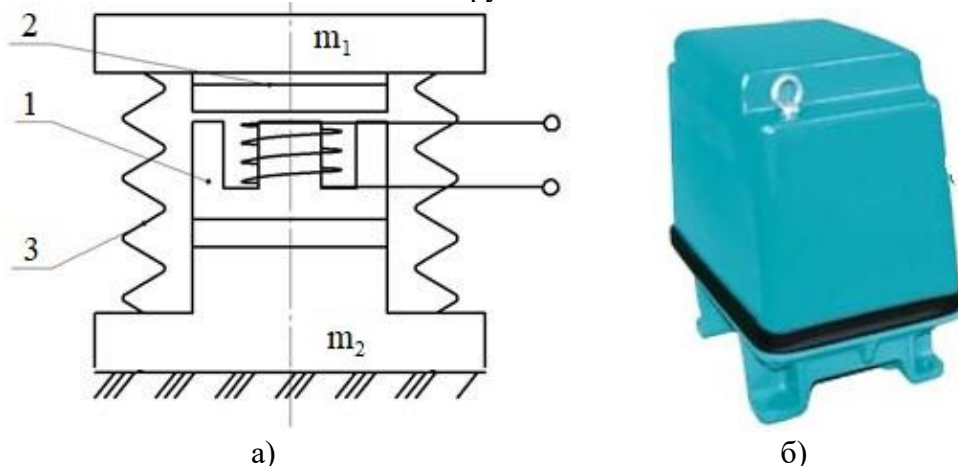


Рис.2. Електромагнітний віброзбудник коливань:
а – схема, б – загальний вигляд
Fig.2. Electromagnetic vibrator of oscillations:
a - scheme, b - general view

До плюсів таких віброзбудників можна віднести можливість зміни амплітуди без зміни частоти коливань, відсутність елементів тертя, створення напрямлених коливань.

До мінусів можна віднести неможливість регулювання частоти коливань, великі габарити і масу, а також високу ціну обладнання. Вантажопідйомність електромагнітних вібраторів зазвичай не перевищує 2 тон. Саме тому не отримали значного розповсюдження в будівельній галузі.

Більшого розповсюдження отримали пневмо- та гідромеханічні збудники коливань. До них належать віброзбудники коливань, в яких змушуюча сила створюється внаслідок зворотно-поступального руху поршня або іншого елемента під дією стиснутого повітря або напору рідини.

В загальному випадку конструкція таких збудників коливань (рис.3) складається з циліндра 1, в середині якого переміщується поршень-золотник 8. Стиснуте повітря(рідина) подається через вхідний отвір 3, кільцевій проточці поршня і каналу 4 в простір з правого боку поршня. Під тиском повітря(рідини) поршень переміщується ліворуч, стискаючи пружину 9. Наприкінці руху поршня вліво відкриваються канали 6 і 2, канали 7 та 4 перекриваються, поршень починає рухатись у зворотному напрямку, після чого цикл повторюється.

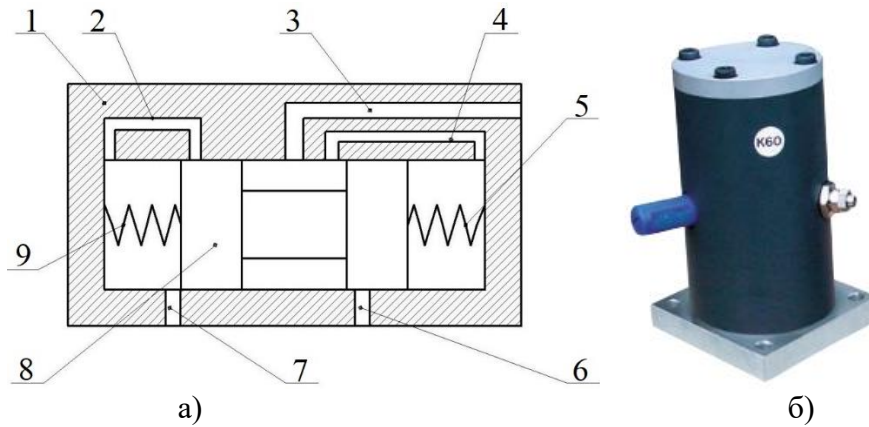


Рис.3. Пневматичний віброзбудник коливань
 а – схема, б – загальний вигляд
 Fig. 3. Pneumatic vibration exciter
 a - scheme, b - general view

До плюсів можна віднести простоту конструкції, можливість регулювання частоти коливань, створення напрямлених коливань.

Серед мінусів найбільш явними є невисока частота коливань, велика вага.

Інерційні віброзбудники коливань можна розділити на дві групи: відцентрові, які розвивають інерційні сили за рахунок обертання неврівноважених масивних елементів, і інші, у яких інерційні сили розвиваються від не обертового руху неврівноважених масивних елементів.

Найбільшого розповсюдження на установках для формування і ущільнення бетонних сумішей набули відцентрові віброзбудники коливань. Відцентрові віброзбудники поділяються на дебалансні і планетарні. За типом приводу розрізняють вібратори з електричним, пневматичним і гідравлічним приводами.

Дебалансний віброзбудник (рис.4,а) складається із дебалансу 1, що закріплений на валу 2, який обертається в підшипниках закріплених в корпусі 3. При обертанні дебалансу з кутовою швидкістю ω виникає відцентрова (змушуюча) сила F_0 .

До дебалансних віброзбудників також відносяться пневматичні турбінні вібратори (рис.4,б). Складається із корпусу 1, в якому встановлено турбіну 3, яка неврівноважена пустотами 4 і вставками з важких матеріалів 5. При подачі стиснутого повітря через впускний отвір 2 турбіна починає обертатись, виникає змушуюча сила. Відпрацьоване повітря виходить через отвір 6.

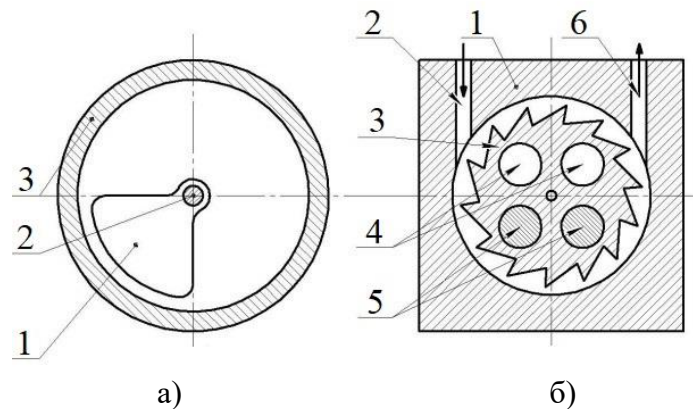


Рис.4. Конструкції відцентрових дебалансних віброзбудників коливань
 а) типовий дебалансний віброзбудник, б) пневматичний турбінний віброзбудник
 Fig.4. Designs of centrifugal unbalanced vibration exciter
 a) typical unbalanced vibrator, b) pneumatic turbine vibrator

Недоліком віброзбудників коливань такого типу є те, що частота обертання дебалансного валу обмежена несучою здатністю опорних підшипників. Оскільки корпус підшипників погано чинить опір великим відцентровим силам.

Цей недолік був подоланий при створенні відцентрових планетарних віброзбудників коливань, оскільки неврівноважена маса частково спирається на корпус вібратора, або вібратор зовсім не має підшипників.

Планетарний віброзбудник складається з бігунка, який, обкочуючись по біговій доріжці, передає на неї відцентрову (змушуючу) силу.

За типом підтримки обкатки планетарні віброзбудники можна розділити на чотири види: повідково-планетарні, фрикційно-планетарні і зубчато-планетарні, пневмопланетарні. По тому, якою своєю боковою поверхнею бігунок обкочується по біговій доріжці – зовнішній чи внутрішній, планетарні віброзбудники поділяють на збудники з зовнішньою і з внутрішньою обкаткою.

Схему конструкції повідково-планетарного віброзбудника з зовнішньою обкаткою показано на рис.5. Тут бігунок 1 обкочується по біговій доріжці у корпусі 2 за допомогою повідка 3, якому обертання передається валом 4. Кутова швидкість обкочування дорівнює кутовій швидкості обертання повідка.

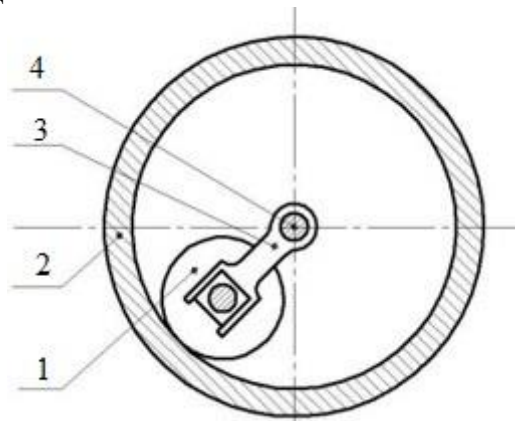


Рис.5. Конструкція повідково-планетарного віброзбудника коливань
 Fig.5. The design of the belt-planetary vibration exciter of oscillations

Фрикційно-планетарний віброзбудник з зовнішньою обкаткою (рис.5, а) складається з бігунка 1, обертання якого підтримується передачею через вал 2. Бігунок своєю зовнішньою поверхнею обкочується по біговій доріжці корпуса 3. У випадку внутрішньої обкатки (рис.6,б) бігунок 1 внутрішньою циліндричною поверхнею обкочується по біговій доріжці, яка утворюється боковою поверхнею пальця 2, який встановлено в корпусі 3. Обертання бігунка підтримується обертанням пальця 2 від електродвигуна. Обкатка в обох випадках підтримується силами сухого тертя між бігунком і біговою доріжкою, які виникають під дією відцентрової сили.

Зубчато-планетарні віброзбудники коливань відрізняються від фрикційно-планетарних тим, що поза бігових доріжок мається зубчасте зачеплення бігунка з корпусом, яке підтримує обкочування.

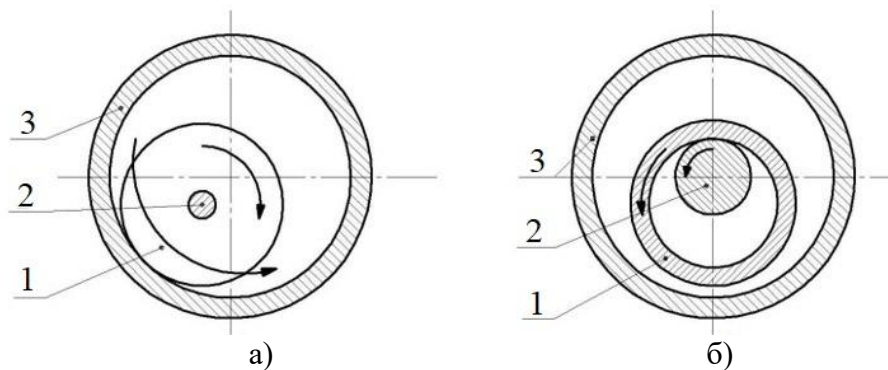


Рис.6. Конструкції фрикційно-планетарних віброзбудників коливань
 а – з зовнішньою обкаткою, б – з внутрішньою обкаткою
 Fig. 6. Designs of friction-planetary vibration exciter
 a – with external running-in, b – with internal running-in

З пневмопланетарних віброзбудників отримали найбільше поширення кулькові, роликові, турбінні і ротаційні з висувною пластиною, а також-роликово-лопатевої.

Кулькові (рис.7, а) віброзбудники працюють наступним чином: в робочу порожнину корпусу 1 через вхідний отвір 2 подається стиснуте повітря, струмінь якого підтримує обкочування кульки 3 по біговій доріжці 4. Відпрацьоване повітря виходить через вихідний отвір 5. Здійснюється зовнішнє обкочування. Таким же чином працюють роликові віброзбудники, однак замість кульки повітря діє на ролик або циліндр.

Турбовібратор (рис.7, б) являє собою циліндричний корпус 1 закритий з обох сторін, всередині якого обертається циліндр 2 з пластиною 3, що ковзає в циліндрі в радіальному напрямку. Пластина розділяє порожнину корпусу на дві частини, в одну з порожнин надходить стиснене повітря через отвір 3. Інша порожнина з'єднана з зовнішнім середовищем випускними каналами 5. Стиснене повітря викликає обертання внутрішнього циліндра по внутрішній поверхні корпусу.

Ротаційний віброзбудник типу «Вебер» (рис.7, в) складається з корпусу 1, в стінках якого жорстко закріплено вісь 2, яка має порожнину для надходження повітря, в яку встановлену текстолітову пластину 4. В центральний отвір вісі 5 подається стиснуте повітря, яке по каналу поступає в порожнину між віссю і бігунком (циліндром) 3 зліва від текстолітової пластини. Тиск повітря підтримує обкочування бігунка по поверхні вісі. Здійснюється внутрішнє обкочування. Торці бігунка ковзають по стінкам корпусу. Відпрацьоване повітря виходить через отвір 6 в стінці. Безперервне притискання пластини до внутрішньої поверхні бігунка, що обкочується, забезпечується тиском повітря в отворі вісі. Також існує різновид ротаційного віброзбудника, який має два бігунки (циліндри) 3 і 4 (рис.7, г). При перекочуванні бігунка 3, під дією відцентрової сили, бігунки 4 також починає перекочуватись відносно бігунка 3. Такі віброзбудники генерують більшу змушуючу силу ніж в ротаційних віброзбудниках з одним бігунком.

Також існує роликово-лопатевої вібратор (рис.7, д). Складається з корпусу 1, в якому знаходиться ролик 3 з лопатями 4. Повітря через отвір 5 подається в порожнину 6 між корпусом 1 і залізною направляючою 2, далі через отвори 7 подається до камери між роликом 3, лопатями 4. Тиск повітря змушує ролик планетарно обертатися в корпусі. Випуск повітря здійснюється через випускні отвори на кінцях лопаток, і спрацьовують в нижньому положенні.

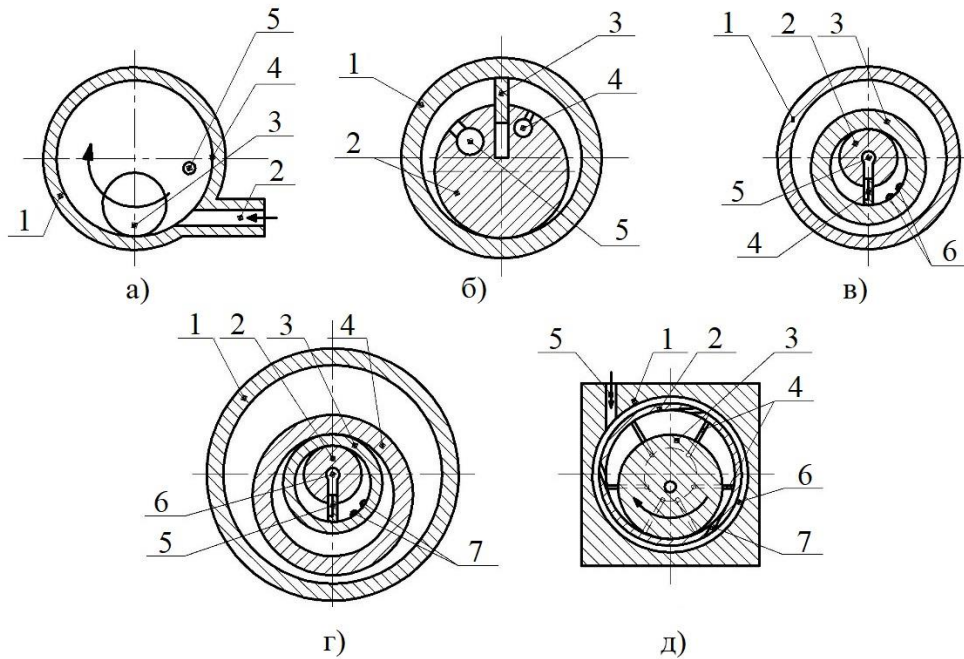


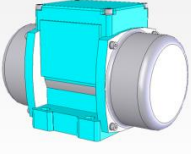




Рис. 7. Конструкції пневмопланетарних віброзбудників коливань
 а – кульковий; б – турбовібратор; в – ротаційний віброзбудник типу «Вебер»; г – ротаційний віброзбудник з двома бігунками; д – роликів-лопатевий вібратор

Fig. 7. Designs of pneumoplanetary vibration exciter
 a – spherical; b – turbovibrator; c – rotary vibration exciter of the "Weber" type; d – rotary vibrator with two sliders; d – roller-blade vibrator

Було здійснено аналіз існуючого вібраційного навісного обладнання з різним конструкційним виконанням, що пропонується на ринку. В результаті проведених досліджень та виконаного аналізу були визначені найбільш прийнятні аналоги вібраційних збудників коливань, які пропонуються для приведення в дію вібраційної установки (табл. 1).

Таблиця 1. Технічні і технологічні параметри вібраційних збудників коливань
 Table 1. Technical and technological parameters of vibration exciters

Назва	Тип приводу	Зовнішній вигляд	Частота, об/хв.	Змушуюча сила, Н	Маса, кг
Kemp Vibration HSV - 24	Пневматичний		10800	62230	19.5
Bianchi VP-6000	Пневматичний		11000	60000	17.5
Brecon 18 600 001	Пневматичний		11000	60000	18

Navco UV L62Y	Електричний		3600	63000	180
Nettervibration NEG 506220	Електричний		6000	62970	181
ИБ-60-50	Електричний		3000	60000	219
Nettervibration NHG 6000L	Гідравлічний		3000	61206	96
Nettervibration CCV-6-25-8HA	Гідравлічний		3900	49210	40.4
Martin-eng HSV18-8300	Гідравлічний		1800	37000	83

Для оцінки характеристик навісних віброзбудників коливань були використані наступні критерії оцінки:

$$K_1 = m_0 r_0 = F / \omega^2, \tag{1}$$

$$K_2 = F / m. \tag{2}$$

де F – змушуюча сила вібратора, Н; ω – частота коливань вібратора, c^{-1} ; m – маса вібратора, кг.

На основі числових значень (див.табл.1) за критеріями (1-2) були здійснені розрахунки, результати яких приведені у табл.2.

Таблиця 2. Критерії оцінки параметрів вібраційних збудників коливань
Table 2. Criteria for evaluating the parameters of vibration exciters of oscillations

№	Назва	K_1	K_2
1	Kemp Vibration HSV - 24	0.049	3191
2	Bianchi VP-6000	0.045	3428
3	Brecon 18 600 001	0.045	3333
4	Navco UV L62Y	0.443	350
5	Nettervibration NEG 506220	0.159	347
6	ИБ-60-50	0.608	273
7	Nettervibration NHG 6000L	0.62	637
8	Nettervibration CCV-6-25-8HA	0.295	1218
9	Martin -eng HSV18-8300	1.04	445

За результатами даних, що наведені у таблиці 2 побудовані гістограми статичних мас неврівноважених частин (рис.8), відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань (рис.9).

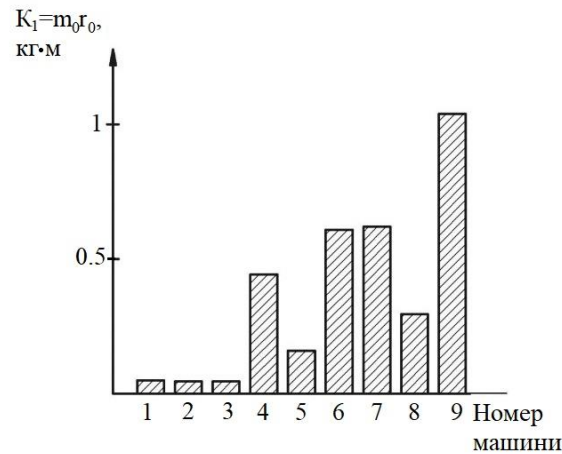


Рис.8. Критерій статичних мас нерівноважених частин

Fig. 8. Criterion of static masses of unbalanced parts

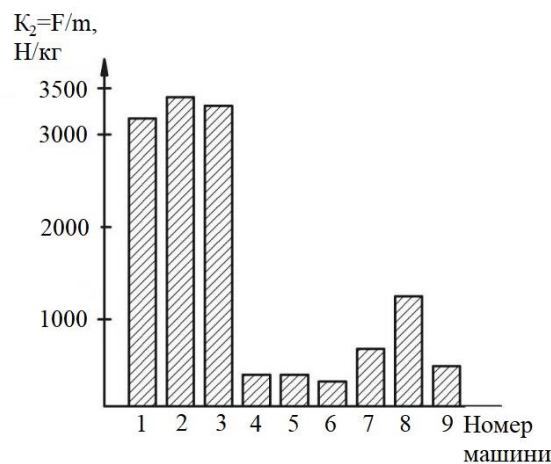


Рис.9. Критерій відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань

Fig. 9. Criterion of the ratio of the generated driving force to the mass of the oscillator

6. Висновки. Виконані дослідження дозволили виявити основні конструкції навісних збудників коливань, види приведення їх в дію, а також оцінити їх недоліки і переваги. При порівнянні характеристик вібраторів, що представлені на ринку, приведених в табл.1, виявилося що пневматичні планетарні вібратори мають найменший критерій мас нерівноважених частин (рис.5), що впливає на ресурс вібратора, переваги в відношеннях змушуючої сили, що генерується на одиницю маси (рис.6) в порівнянні з електричними і гідравлічними відцентровими аналогами. За визначеними в результаті оцінки і аналізу параметрами вібраторів було засвідчено, що їх використання на вібромайданчиках має сенс для покращення загальних характеристик, а також усунення недоліків, таких як недостатньо рівномірний розподіл амплітуд коливань по площі вібромайданчика, полегшення і спрощення конструкції його рами.

Було засвідчено що найбільш прийнятними за характеристиками виявилися пневмопланетарні відцентрові збудники коливань, оскільки вони мають найменший критерій мас нерівноважених частин, а також найкращі відношення критерію K_2 .

Також серед переваг пневматичних вібраторів варто відмітити простоту конструкції, надійність, можливість регулювання обертів в деяких межах, без застосування додаткових пристроїв і малу масу.

Перспективи подальшого використання високочастотних пневмопланетарних відцентрових навісних збудників коливань на вібраційних установках буде досліджено в майбутньому експериментальним шляхом на лабораторній установці.

Список використаних джерел:

1. *Борейко В.І., Прутула М.Ю.* (2011) Перспективи виробництва будівельних матеріалів в Україні. Збірник наукових праць. Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції. Вип. XVII, № 4. С. 64-71.
2. *Delembovskyi M.M., Diachenko O.S.* (2021) Methods for determining the reliability indicators of vibration sites. *Грааль науки*. №2-3. Р. 263–270.
3. *Pințoi R., Barbu A.M., Ionescu A.* (2020) Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*. Vol.896, P.355-360.
4. *Делембовський М.М.* (2021) Вплив режимів експлуатації і властивостей елементів вібромашин будівельної індустрії на процеси надійності. *Грааль науки*. №4. С.209-214.
5. *Назаренко І.І.* (2010) Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник / І.І. Назаренко // К.: Видавничий дім «Слово». – 440 с.
6. *Повідайло В. О.* (2004) Вібраційні процеси та обладнання: Навчальний посібник /В.О. Повідайло // Львів.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». — 248 с.
7. *Nesterenko, M., Nazarenko, I., Molchanov, P.* (2018) Cassette Installation with Active Working Body in the Separating Partition. *International Journal of Engineering & Technology*. 7 (3.2), P.265.
8. *Назаренко І.І., Дедов О.П., Дьяченко О.С., Свідерський А.Т.* (2017) Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских залізобетонних виробів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №90. С. 49–58.

References:

1. Boreyko V.I., Prytula M.Yu. (2011) Perspektyvy vyrobnytstva budivelnykh materialiv v Ukraini. Zbirnyk naukovykh prats. Problemy ratsionalnoho vykorystannia sotsialno-ekonomichnoho ta pryrodno-resursnoho potentsialu rehionu: finansova polityka ta investytsii. [Prospects for the production of construction materials in Ukraine. Collection of scientific works. Problems of rational use of socio-economic and natural resource potential of the region: financial policy and investments]. Vol. XVII, № 4. P. 64-71.
2. Delembovskyi M.M., Diachenko O.S. (2021) Methods for determining the reliability indicators of vibration sites. *Грааль науки*, №2-3. P. 263–270.
3. Pințoi R., Barbu A.M., Ionescu A. (2020) Vibrations influence on concrete compaction. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.896, P.355-360.
4. Delembovskyi M.M. (2021) Vplyv rezhymiv ekspluatatsii i vlastyvostei elementiv vibromashyn budivelnoi industrii na protsesy nadiinosti. [The influence of operating modes and properties of elements of vibratory machines in the construction industry on reliability processes]. *Грааль науки*, №4. P.209-214.
5. Nazarenko, I.I. (2010). Prikladni zadachi teorii vibracijnih system. Navchalnij posibnik (2-e vidannja) [Applied problems of the theory of vibration systems. Textbook (2nd ed.)]. Kyiv: Vidavnichij Dim “Slovo”.
6. Povidaylo V.O. (2004). Vibracijni procesy ta obladdnannja. Navchalnij posibnik [Vibration processes and equipment. Textbook]. Lviv: National university “Lviv polytechnic”.
7. Nesterenko, M., Nazarenko, I., Molchanov, P. (2018). Cassette Installation with Active Working Body in the Separating Partition. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2), P.265.
8. Nazarenko I.I., Dedov O.P., Diachenko O.S., Svidersky A.T. (2017) Ohliad i analiz vibratsiinoho obladdnannia dlia formuvannia ploskykh zalizobetonnykh vyrobiv [Review and analysis of vibration equipment for forming flat reinforced concrete products]. *Mining, constructional, road and melioration machines*, 90. 49–58.