

УДК 667.1

ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ІСНУЮЧИХ НАВІСНИХ ЗБУДНИКІВ КОЛИВАНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ УЩІЛЬНЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ НА ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ

*І.І. Назаренко, О.П. Дєдов, О.С. Дьяченко**

*Київський національний університет будівництва і архітектури
03680, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, sanyadrg@gmail.com*

Анотація: Виробництво збірних залізобетонних конструкцій на заводах будіндустрії займає велику частку галузі будівництва, тому вібраційні установки для ущільнення і формування бетонних виробів використовуються досить широко. Однак нерідко їх технічний стан та характеристики не відповідають вимогам сучасного будівництва. Основними вимогами до вібраційних установок є низька енергоємність, металоємність, простота конструкції, надійність і ремонтпридатність. В роботі пропонується використовувати на вібраційних установках навісні вібраційні збудники коливань, що має на меті покращити розподіл амплітуд по площі формуютьоючої плити, підвищити якість і зменшити час на ущільнення виробу. В роботі здійснено огляд і оцінку існуючих конструкцій навісних збудників вібраційних коливань і їх технологічних параметрів. За отриманими результатами обрано оптимального тип віброзбудника коливань для вібраційної установки.

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

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ НАВЕСНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПЛОТНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ВИБРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

*И.И. Назаренко, О.П. Дедов, О.С. Дьяченко**

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры
03680, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, sanyadrg@gmail.com*

Аннотация: Производство сборных железобетонных конструкций на заводах стройиндустрии занимает большую часть области строительства, так вибрационные установки для уплотнения и формирования бетонных изделий используются достаточно широко. Однако нередко их техническое состояние и характеристики не соответствуют требованиям современного строительства. Основными требованиями к вибрационным установкам является низкая энергоёмкость, металлоёмкость, простота конструкции, надёжность и ремонтпригодность. В работе предлагается использовать на вибрационных установках навесные вибрационные возбудители колебаний, что имеет целью улучшить распределение амплитуд по площади формообразующие плиты, повысить качество и сократить время на уплотнение изделия. В работе сделаны обзор и оценка существующих конструкций навесных возбудителей вибрационных колебаний и их технологических параметров. По полученным результатам избран оптимальный тип вибровозбудителя колебаний для вибрационной установки.

Ключевые слова: вибратор, возбудитель колебаний, виброплощадка, навесное вибрационное оборудование, возмущающая сила, критерий динамичности, дебаланс, уплотнение.

OVERVIEW OF THE CONSTRUCTIONS OF EXISTING HINGED VIBRATORS AND THE STUDY OF THE EFFICIENCY OF THEIR USE TO IMPROVE THE COMPACTING OF REINFORCED CONCRETE PRODUCTS ON VIBRATION PLATFORMS

*I.I. Nazarenko, O.P. Dedov, O.S. Diachenko**

*Kyiv National University of Construction and Architecture
Povitroflotsky av., 31, Kyiv, 03680, Ukraine, sanyadrg@gmail.com*



Abstract: Production of flat precast concrete structures in factories building industry takes a large part of the construction industry. Therefore, the vibration platforms for sealing and forming concrete products are used widely. However, often their technical condition and characteristics do not meet the requirements of modern construction. The main requirements for vibration platforms in our time are low power consumption, metal capacity, simplicity of construction, high reliability and repairability. In this work it is suggested to use hinged vibrators on vibration platforms. The aim is to improve the distribution of amplitudes over the area of the forming plate to improve the quality and reduce the time to compaction of one product. In this work, an overview of existing constructions of hinged vibrators was carried out, their structural and technological parameters, disadvantages and advantages were analyzed. The analysis of the obtained results and the choice of the optimal type of vibrator for the vibration platform are performed.

Key words: vibrator, vibration oscillator, vibration platform, hinged vibrating equipment, generating force, dynamical criterion, unbalance, compacting.

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. 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 ущільнення, простоти і надійності конструкції і енергоємності.

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 [1-8]. У роботах [4, 5] наведено огляд основних способів ущільнення і формування бетонних сумішей. Конструкціям вібраційних збудників коливань присвячено роботи [1-3, 7]. Аналізу та оцінці характеристик і параметрів вібраційних установок присвячено роботу [6]. В роботі [8] присутні рекомендації щодо оптимальних параметрів ущільнення, та використання при цьому навісних вібраційних збудників коливань з різними конструкціями і параметрами.

Мета і завдання дослідження. Робота має на меті з'ясувати існуючі конструкції і приводи навісних вібраційних збудників коливань, дослідити і порівняти їх характеристики і параметри за критеріями відношення змушуючої сили до маси, динамічності та критерієм статичних мас неврівноважених 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.

Викладення основного матеріалу. 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 [5].

Для ущільненні 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 [6].

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, 5].

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. Пневно- та гідромеханічні віброзбудники коливань, в яких енергія газоподібного або рідкого робочого тіла перетворюється в енергію механічних коливань;
3. Інерційні віброзбудники коливань.

До електромагнітних (рис. 1) 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.

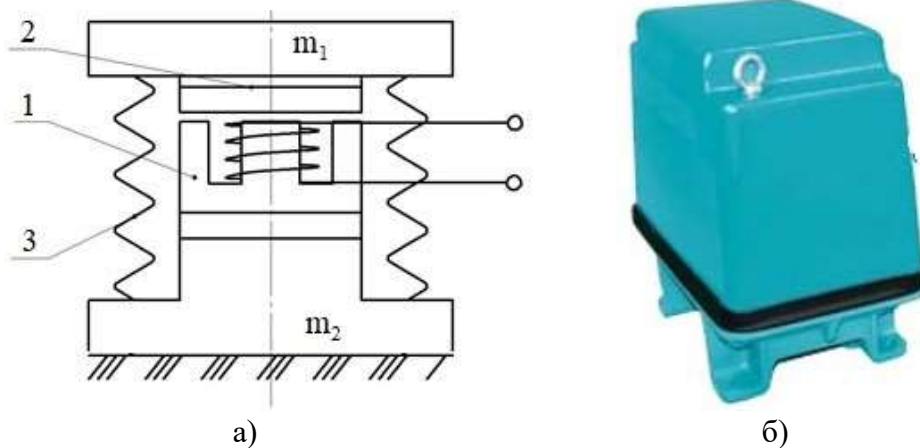


Рис.1. Електромагнітний віброзбудник коливань:
а – схема, б – загальний вигляд

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.2) 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.

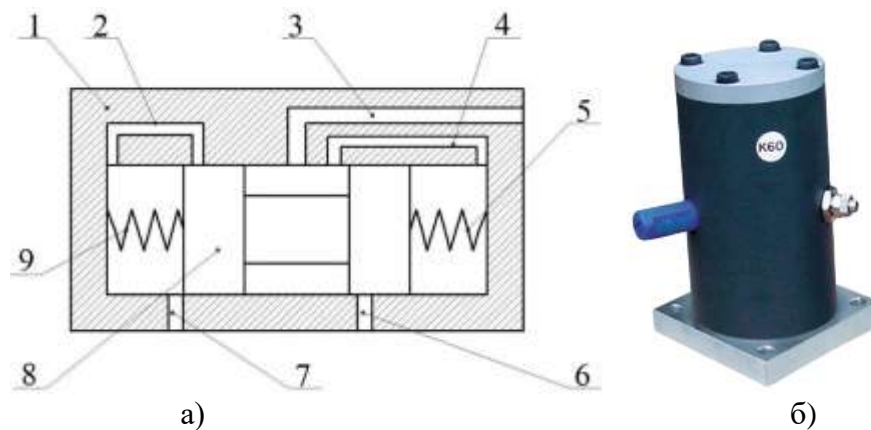


Рис.2. Пневматичний віброзбудник коливань:
а – схема, б – загальний вигляд

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 невірноважених масивних елементів, і інші, у яких інерційні сили розвиваються від не обертового руху невірноважених 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.3, 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.3, б). Складається із корпусу 1, в якому встановлено турбіну 3, яка невірноважена 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.

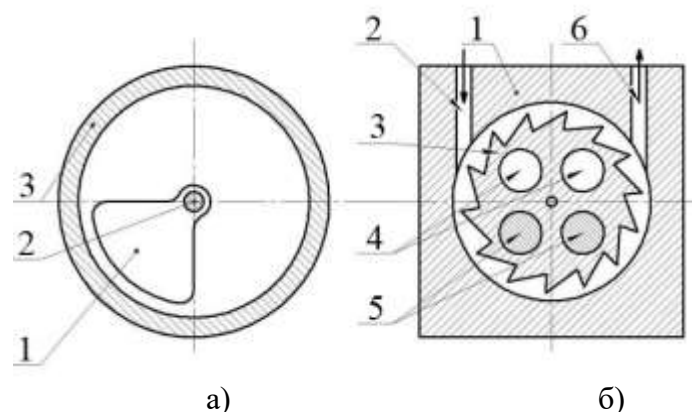


Рис.3. Конструкції відцентрових дебалансних віброзбудників коливань:
а) типовий дебалансний віброзбудник, б) пневматичний турбінний віброзбудник

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 бігунки 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. 4. Тут бігунки 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.

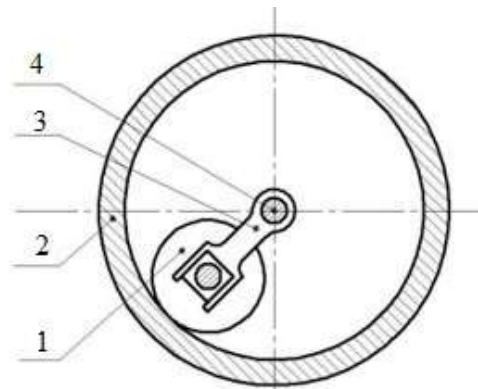


Рис.4. Конструкція повідково-планетарного віброзбудника коливань

Фрикційно-планетарний віброзбудник з зовнішньою обкаткою (рис.5, а) складається з бігунка 1, обертання якого підтримується передачею через вал 2. Бігунки своєю зовнішньою поверхнею обкочується по біговій доріжці корпусу 3. У випадку внутрішньої обкатки (рис.5,б) бігунки внутрішньою циліндричною поверхнею обкочується по біговій доріжці, яка утворюється боковою поверхнею пальця 2, який встановлено в корпусі 3. Обертання бігунки 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 бігунки з корпусом, яке підтримує обкочування.

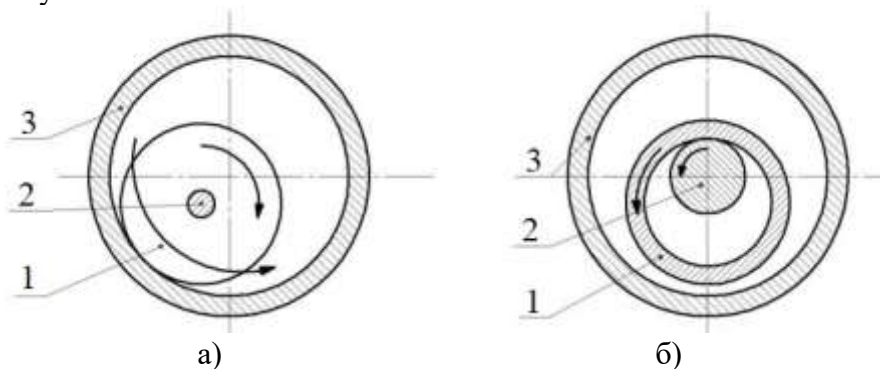


Рис.5. Конструкції фрикційно-планетарних віброзбудників коливань:
а – з зовнішньою обкаткою, б – з внутрішньою обкаткою



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

Кулькові (рис.6, 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.6, 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.6, 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.6,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-лопатевий вібратор (рис.6, 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.

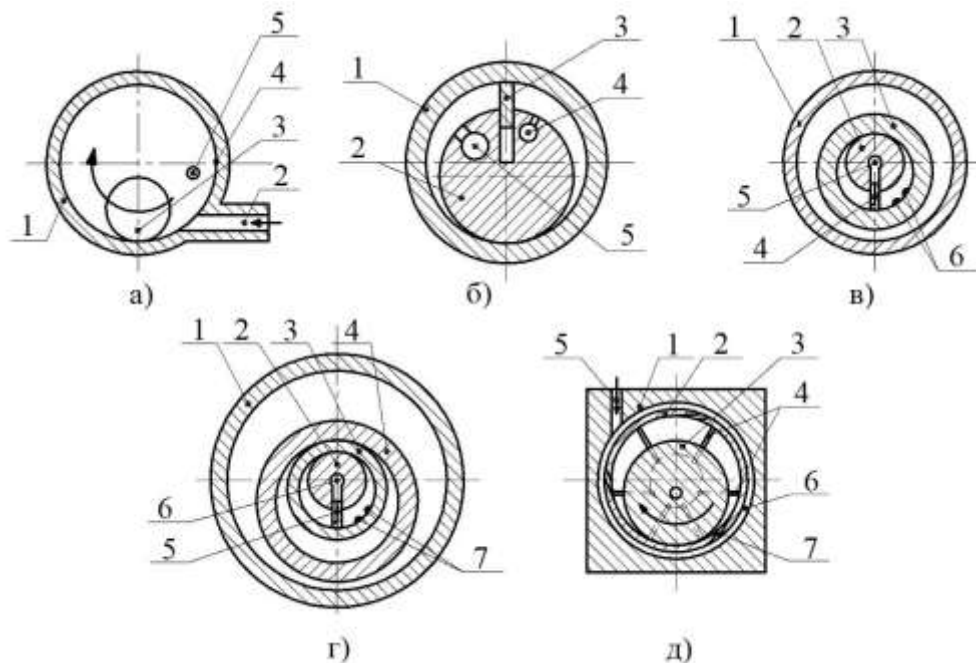


Рис.6. Конструкції пневмопланетарних віброзбудників коливачів:
а – кульковий; б – турбовібратор; в – ротаційний віброзбудник типу «Вебер»; г – ротаційний віброзбудник з двома бігунками; д – роликово-лопатевий вібратор

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

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 порівняння характеристик різних вібраторів було обрано вібраційний майданчик ВПГ-1,5х12[9]:

Технічна характеристика вібромайданчика ВПГ-1,5×12	
Вантажопідйомність, т	20
Частота коливань, Гц	24
Амплітуда коливань у верт напр., мм	0.3
Потужність, кВт	28
Габаритні розміри вібромайданчика, мм	13500x1500
Маса вібромайданчика, т	6.4
Змушуюча сила, кН	147-245

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

$$K_1 = m_0 r_0 = F / \omega^2, \quad (1)$$

$$K_2 = F / m, \quad (2)$$

$$K_3 = a / g = x_0 \omega^2 / g, \quad (3)$$

де F – змушуюча сила вібратора, Н; ω – частота коливань вібратора, с^{-1} ; m – маса вібратора, кг; x_0 – амплітуда коливань віброустановки, мм.

На основі числових значень (див. табл.1) за критеріями (1-3) були здійснені розрахунки, результати яких приведені у табл.2.

Таблиця 2. Критерії оцінки параметрів вібраційних збудників коливань

№	Назва	K_1	K_2	K_3
1	Kemp Vibration HSV - 24	0.049	3191	39.07
2	Bianchi VP-6000	0.045	3428	40.53
3	Brecon 18 600 001	0.045	3333	40.53
4	Navco UV L62Y	0.443	350	4.34
5	Nettervibration NEG 506220	0.159	347	12.06
6	ИБ-60-50	0.608	273	4.71
7	Nettervibration NHG 6000L	0.62	637	4.71
8	Nettervibration CCV-6-25-8HA	0.295	1218	5.09
9	Martin -eng HSV18-8300	1.04	445	1.08

За результатами даних, що наведені у таблиці 2 побудовані гістограми статичних мас невірноважених частин (рис. 5), відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань (рис.6) та гістограма коефіцієнту динамічності системи (рис.7).

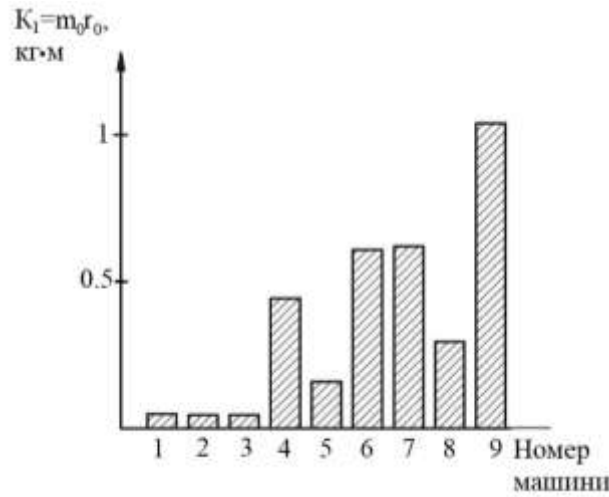


Рис.5. Критерій статичних мас неврівноважених частин

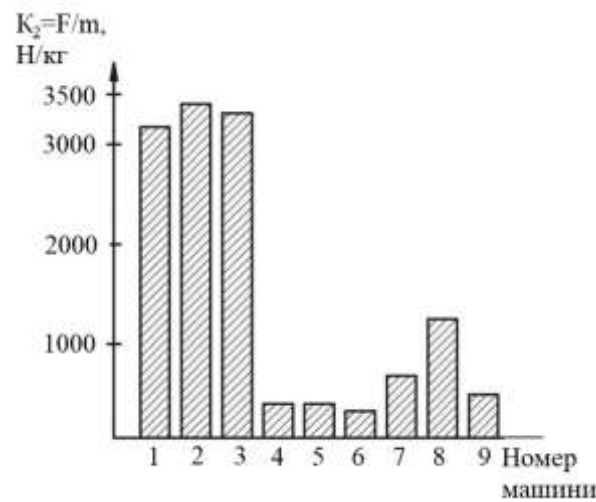


Рис.6. Критерій відношення змушуючої сили, що генерується, до маси збудника коливань

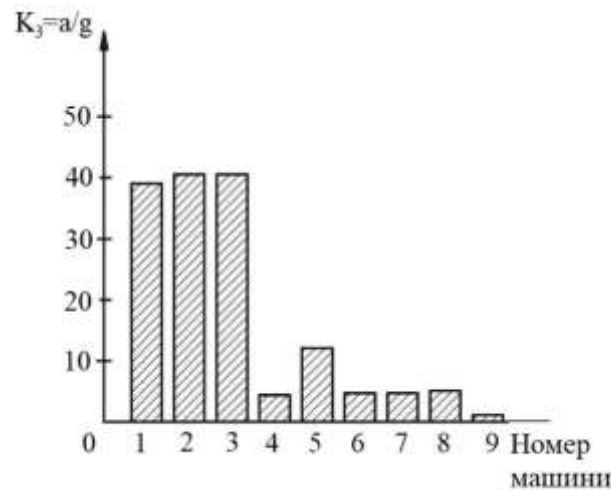


Рис.7. Критерій динамічності системи

Обговорення результатів дослідження. 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, виявилось що пневматичні планетарні вібратори мають найменший критерій мас неврівноважених частин (рис.5), що впливає на ресурс вібратора, переваги в відношеннях змушуючої сили, що генерується на одиницю маси (рис.6), а також вищі



показники критерію динамічності (рис.7), 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.

Висновки.

Виконаний аналіз засвідчив, що пневмопланетарні відцентрові збудники коливань є найбільш ефективними за критеріями силової дії та динамічності системи.

Визначено, що застосування пневматичних збудників коливань дає можливість змінювати в заданому технологією діапазоні частоту коливань.

Для практичного застосування отриманих результатів необхідно експериментальним шляхом визначити раціональні значення параметрів пневмопланетарних збудників коливань.

Література

1. Бауман В.А. Вибрационные машины в строительстве и производстве материалов: Справочник / В.А. Бауман, И.И. Быховский, Б.Г. Гольдштейн. – М.: Машиностроение, 1970. – 548 с.
2. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники / И.И. Быховский. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.
3. *Вибрации в технике*: Справочник. Т.4 /Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
4. Иткин А.Ф. Вибрационные машины для формования бетонных изделий / А.Ф. Иткин. – К.: «МП Леся», 2009. – 152 с.
5. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів: підручник / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
6. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий дім «Слово», 2010. – 440 с.
7. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання: Навчальний посібник / В.О. Повідайло. – Львів.: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. — 248 с.
8. Paiovici R. About concrete consolidation and vibration / Paiovici R., Icecon S.A., Ionescu S. // The annals of “Dunarea de jos” university of galati “Mechanical engineering”. – 2004. – 14. – S. 71-76.

References:

1. Bauman, V.A., Bychovskiy I.I., Goldshteyn B.G. (1970). *Vibracionnyye mashiny v stroitel'stve i proizvodstve materialov* [Vibrating machines in construction and production of materials]. Moscow: Mashinostroenie.
2. Bychovskiy, I.I. (1968). *Osnovy teorii vibracionnoj tehniky* [Fundamentals of the theory of vibration technology]. Moscow: Mashinostroenie.
3. Lavendela, E.E. (1981). *Vibracii v tehnike: Spravochnik. Tom 4* [Vibrations in technology: Handbook. Volume 4 (Edited by E.E. Lavendel)]. Moscow: Mashinostroenie.
4. Itkin A.F. (2009). *Vibracionnyye mashiny dlja formovanija betonnyh izdelij* [Vibration machines for forming of concrete products]. Kyiv: MP Lesya.
5. Nazarenko, I.I. (1999). *Mashyny dlja vyrobnyctva budivel'nyh materialiv* [Machines for the production of building materials]. Kyiv: KNUBA.
6. Nazarenko, I.I. (2010). *Prikladni zadachi teorii vibracijnih system (2-e vidannja)* [Applied problems of the theory of vibration systems (2nd ed.)]. Kyiv: Vidavnichij Dim “Slovo”.
7. Povidaylo V.O. (2004). *Vibration processes and equipment* [Vibracijni procesy ta obladnannja].
8. Paiovici R., Icecon S.A., Ionescu S. (2004). *About concrete consolidation and vibration. Mechanical engineering*, 14, 71-76.