

Експериментальні дослідження робочого процесу вібраційної установки для ущільнення бетонних сумішей зі змінним режимом роботи

Іван Назаренко¹, Олександр Дьяченко²

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, 03680

¹i_nazar@i.ua, orcid.org/0000-0002-1888-3687

²sanyadrg@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8199-2504

Отримано 12.10.2018; прийнято 15.11.2018

DOI: 10.31493/gbdmm1892.0301

Анотація. При формуванні залізобетонних виробів на заводах будівельної індустрії чільне місце займають вібраційні майданчики(віброустановки).

Існуючі конструкції вібромайданчиків не в повній мірі відповідають вимогам забезпечення високої якості виробів, що формуються, та характеризуються суттєвими витратами енергії. Крім цього, можна відмітити нерівномірність розподілу коливань по площі форми, наявність зон зниженої ефективності дії вібрації на виріб або її повна відсутність(нульові точки), низька надійність вузлів і конструкцій, а також висока металомісткість конструкцій.

Одним із напрямків підвищення ефективності об'ємного ущільнення бетонної суміші є створення вібраційної установки з навісними збудниками коливань і змінним режимом роботи. Пропонується використання віброустановки, в якій рама з привареною поверх пластиною безпосередньо є піддоном, на якому відбувається процес ущільнення. Розміри майбутнього виробу обмежуються встановленням на піддоні бортів і перегородок, які закріплюються на піддоні з допомогою болтових кріплень. В конструкції відсутня рама і форма, а формують поверхня є робочим органом. Саме таке рішення дозволяє підвищити ефективність процесу ущільнення завдяки безпосередній передачі максимуму енергії від робочого органа до оброблювального середовища.

Використання навісних віброзбудників коливань дозволяє зменшити загальну масу установки, підвищити рівномірність коливань. Вібратори мають можливість зміни частоти коливань в необхідному діапазоні і, як наслідок,

значно інтенсифікувати процес віброущільнення бетонної суміші на різних етапах процесу.

Для перевірки цих тверджень на практиці було створено конструкцію лабораторної вібраційної установки з навісними збудниками коливань. Були виконані дослідження руху вібраційної установки при різних частотах коливань, оцінка розподілу коливань по площі формують поверхні і обґрунтування її основних параметрів, що в майбутньому має стати передумовою для створення принципово нового класу ущільнюючих машин.

Ключові слова: вібраційна установка, навісні віброзбудники коливань, ущільнення, змінний режим коливань, формують поверхня.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Збільшення виробництва бетонних конструкцій в останні роки приводить до пошуків більш ефективних способів виготовлення залізобетонних виробів. Процес ущільнення і формування сумішей є одним з найвідповідальніших процесів при виробництві бетонного виробу, від нього залежить форма, міцність, вологостійкість і довговічність кінцевого виробу. Для досягнення цих показників потрібне забезпечення регламентованих технологіями виробництва необхідних параметрів роботи вібраційного обладнання при ущільненні і формуванні.

Об'ємне вібраційне ущільнення виконують на вібраційних майданчиках. Однак, вони мають такі недоліки як невисока на-

дійність, мала ефективність ущільнення деяких ділянок виробу і висока металомісткість віброустановки.

Ефективним рішенням може бути створення вібраційної рамної установки зі змінним режимом коливань і несиметричним встановленням навісних віброзбудників коливань, що забезпечить подолання наведених недоліків.

ОГЛЯД ПУБЛІКАЦІЙ

В роботах [1,2] розглянуто фізичну сутність поведінки машин і оброблювальних середовищ при ущільненні бетонних сумішей. Вибору і обґрунтуванню оптимальних параметрів і режимів ущільнення бетонних сумішей присвячено роботу [3]. В роботі [4] наведено залежність, яка визначає частоти і амплітуди коливань робочого органа, що рекомендується обирати в залежності від крупності частинок наповнювача в бетонній суміші. Разом з тим, існують і інші погляди на модель, яка представляється не корпускулярною моделлю [4], а континуальною системою [3]. Застосування двочастотної вібрації пропонується в роботі [5], що дозволяє інтенсифікувати процес ущільнення.

МЕТА РОБОТИ

Мета роботи полягає у визначенні значень амплітуд коливань формуютьоючої поверхні віброустановки при різних частотах коливань робочого органа, оцінки переміщень формуютьоючої плити для підвищення ефективності досліджуваних та числових значень параметрів робочого процесу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Попередньо здійснений аналіз конструкцій вібраційних установок [6] засвідчив ефективність вібраційних установок рамної конструкції при ущільненні і формуванні бетонних і залізобетонних виробів. Доцільність використання навісних пневматичних віброзбудників коливань для приведення в дію вібраційних установок [7] дозволить

підвищити надійність конструкції, покращити рівномірність розподілу коливань віброустановки, що напряму впливає на ефективність ущільнення бетонної суміші, а також зменшити металомісткість конструкції.

Для перевірки наведених передумов і припущень було розроблено конструкцію лабораторної вібраційної установки з навісними вібраторами, які встановлені таким чином, що реалізуються просторові коливання. Установка виконана у вигляді рами, що встановлена на пружних опорах. Вібраційна дія забезпечується навісними відцентровими збуджувачами колових коливань, які розташовані зі зміщенням відносно центру установки.

Установка становить динамічну систему, в якій рама виконує складні просторові коливання. Рациональне використання цього обладнання залежить від таких показників: достатня технологічна ефективність і стабільність вібрації, що забезпечує високу якість виробів і високу продуктивність формувальних постів; простота виготовлення і ремонту конструкції; надійність; малі витрати праці на технічне обслуговування; невисокі питомі енергоспоживання і маса машини; дотримання необхідних санітарно-гігієнічних норм по вібрації і рівню шуму на робочих місцях.

Креслення віброустановки представлене на Рис.1.

Установка для формування плоских плит складається з рухомої рами 1, що зварена з сталевих прямокутних труб 40x20x1.5, яка встановлена на гумових пружних опорах 2 і закріплена на бетонному фундаменті 3. Поверх рами 1 по всій площині приварено сталеву пластину 4. Установка оснащена двома навісними електричними відцентровими збуджувачами колових коливань 5, які прикріплені до рами за допомогою приварених кріплень 6. На рамі встановлено два поздовжніх борти 7 і два поперечних 8, які закріплено болтовими з'єднаннями 9 по контуру рами 1.

Робота установки реалізується наступним чином: на рамі встановлюються поздовжні і поперечні борти 7 і 8 за допомогою болтового з'єднання 9. Після цього, за по-

треби, укладають арматуру і бетонну суміш та вмикають електричні збудники коливань 5, які починають створювати просторові коливання форми, заповненої бетонною сумішшю. В результаті суміш з високою частотою (≈ 100 Гц) коливається як в горизонтальному, так і в вертикальному напрямках. Після ущільнення вимикаються електричні вібратори і ущільнення припиняється. Загальний вигляд установки представлено на Рис. 2.

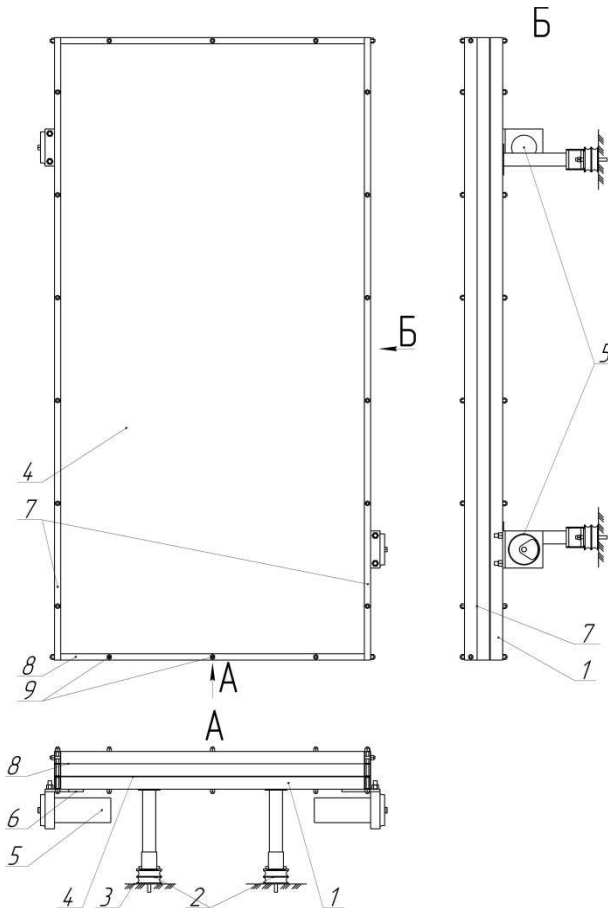


Рис. 1. Креслення вібраційної установки у трьох проекціях

Fig. 1. Drawings of a vibration installation in three projections

Визначення амплітуд коливань віброустановки проводилися у наступній послідовності:

- датчики переміщень встановлювалися над окремими точками віброустановки (Рис.3);

- установка навантажувалась піском у мішках масою $m_6=45$ кг, що імітує часткове завантаження бетонною сумішшю;
- вмикалися навісні вібраційні збудники коливань з поступовим збільшенням частоти їх обертання;
- виконувався синхронний запис віброграм на комп'ютер з трьох датчиків при кожній серії експериментів на різних частотах обертання віброзбудника коливань;
- по отриманим віброграмам визначалися чисельні значення параметрів частот і амплітуд коливань.

Визначення умов роботи віброустановки і дослідних параметрів в різних режимах коливань (за допомогою зміни частоти) проводилися як без навантажень на віброустановку, так і з навантаженням бетонною сумішшю у різних формфакторах.



Рис. 2. Експериментальна вібраційна установка

Fig. 2. Experimental vibration machine

Конструкцією віброустановки передбачена можливість зміни частоти коливань вібромайданчика в межах 10...50 Гц, що дозволяє обирати необхідний режим руху в залежності від розмірів і форм панелей, що підлягають ущільненню.

Обробка результатів досліджень виконувалась за основними принципами аналізу і обробки записів вібрації [1]. Для отриманих з віброграм значень частоти коливань визначалося середнє арифметичне значення амплітуди коливань у кожній з точок. Мі-

німальна кількість значень амплітуд коливань для даної частоти розраховувалась за критерієм Стьюдента, для забезпечення максимальної відносної похибки вимірю-

вань менше 3% було прийнято $n=12$. Приклади віброграм руху установки наведено на Рис.4, 5.

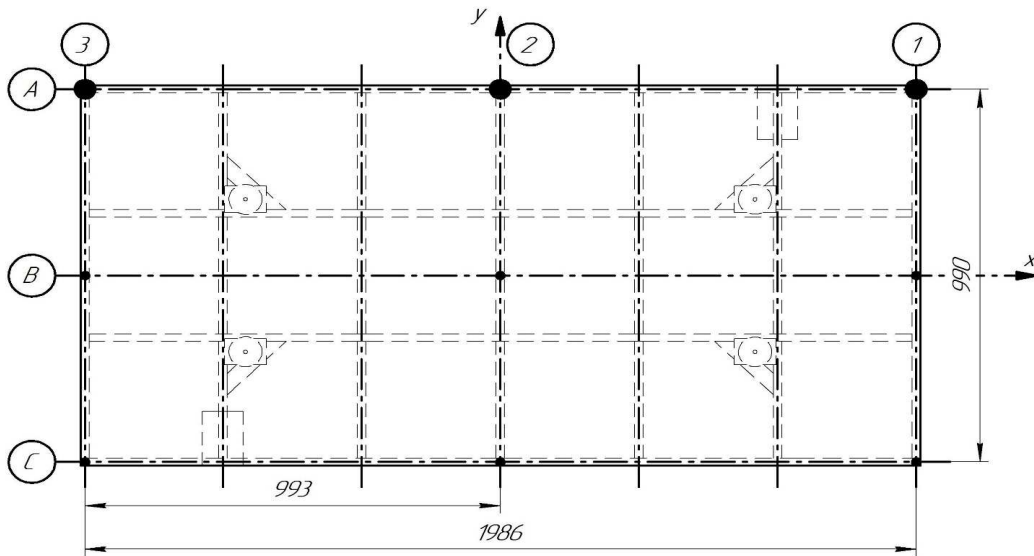


Рис.3. Розміщення точок, в яких проводилися заміри амплітуд коливань

Fig.3. Placement of points at which the vibration amplitudes were measured

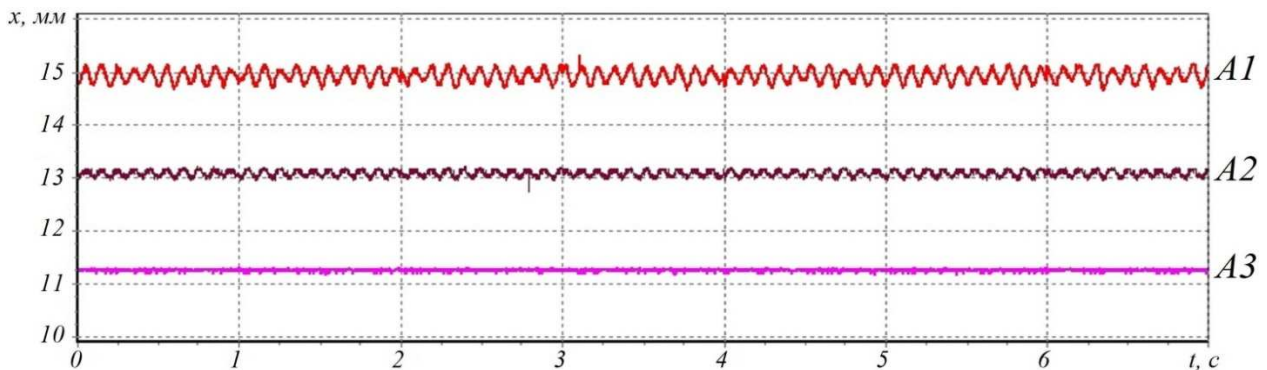


Рис.4. Віброграма руху установки при частоті коливань $f \approx 10$ Гц

Fig. 4. Vibrogram of motion of the installation at a frequency of oscillation $f \approx 10$ Hz

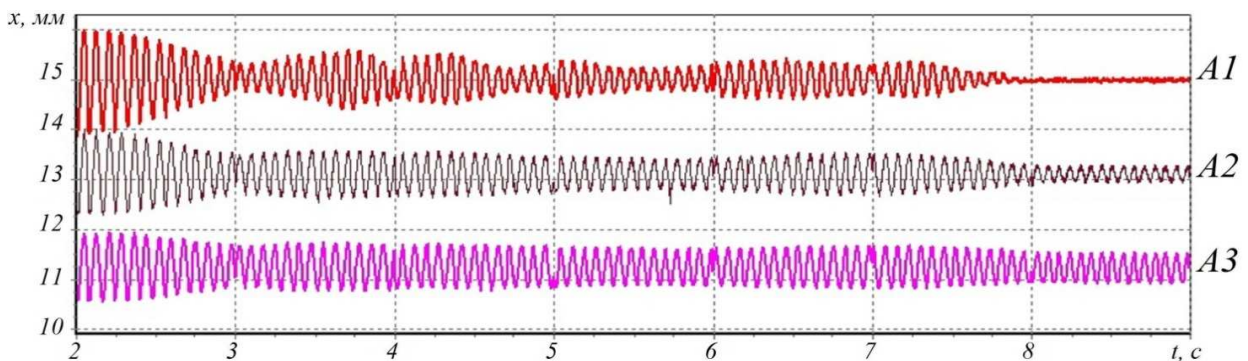


Рис.5. Віброграма руху установки при частоті коливань $f \approx 14$ Гц

Fig.5. Vibrogram of motion of the installation at a frequency of oscillation $f \approx 14$ Hz

На мінімальній частоті коливань віброустановки $f \approx 10$ Гц точки А1 і А2 рухаються без зміщень по фазі, при цьому рух точки А3 не відбувається (див. Рис.4).

При збільшенні частоти коливань до $f \approx 11$ Гц установка увійшла у перший стійкий режим коливань. Всі точки віброустановки рухаються без зміщень по фазі. Уточнене значення частоти коливань на віброграмі складає $f = 11,11$ Гц.

При збільшенні частоти коливань до $f \approx 11,5$ Гц амплітуди коливань також збільшились, установка коливалась у режимі невеликого биття. Всі точки віброустановки рухаються без зміщень по фазі. Частоти коливань змінювались у межах від 11,42 до 11,76 Гц.

При наступному збільшенні частоти коливань до $f \approx 12$ Гц установка коливалась у режимі невеликого биття. Всі точки віброустановки рухаються без зміщень по фазі. Коливання частот при цьому змінювались від 11,97 до 12,5 Гц.

Без наступного збільшення частоти коливань ($f \approx 12$ Гц) установка вийшла у більш стійкий режим коливань. Всі точки віброустановки рухаються без зміщень по фазі. Частота коливань фіксувалася у тих самих межах, як і у попередньому випадку при наявності биття, однак при цьому амплітуди коливань різко збільшились.

При збільшенні частоти до $f \approx 14$ Гц вібромайданчик коливався у нестійкому режимі биття з явними ознаками затухання амплітуд коливань (див. Рис.5). Амплітуда коливань відбувається з випередженням на 0,006 с відносно коливань точок А2 і А3. При досягненні частоти коливань $f = 14,49$ коливання у точці А1 не відбуваються.

При частотах коливань, близьких до $f \approx 14,5$ Гц, установка вийшла у стійкий режим коливань. Цікавим у цьому режимі є те, що коливання у точці А1 майже не відбуваються, коливання точки А3 відбуваються з випередженням точки А2 на 0,005 с. При досягненні частоти коливань 15 Гц режим коливань установки не змінювався.

При частоті коливань, близькій до 17 Гц, відбулося різке збільшення амплітуд коливань. При поступовому збільшенні частоти коливань від 17 до 18 Гц амплітуди коли-

вань поступово зменшуються. Коливання відбувається з невеликим биттям.

Коливання у точці А2 відбуваються з випередженням відносно точки А1 на 0,005 с, у точці А3 з випередженням А2 на 0,015 с.

При підвищенні частоти обертання вібратора віброустановки з 18 до 19 Гц величини амплітуд знизилась. За частоти коливань, близькій до 19 Гц, коливання відбуваються стабільно з ледь помітним биттям точок А1 і А3. Коливання у точці А2 відбуваються з випередженням відносно точки А1 на 0,005 с, у точці А3 з випередженням А2 на 0,0075 с.

При частоті коливань, вищій за 19 Гц, установка увійшла у нестійкий режим коливань з биттям, при цьому частоти коливань мали значення від 16,6 до 20 Гц. Амплітуди в точці А1 знаходились в межах від 0,3 до 0,762 мм, у точці А2 – від 0,2 до 0,35 мм, у точці А3 – від 0,1 до 0,487 мм.

Коливання у точці А2 відбуваються з випередженням відносно точки А1 на 0,0075 с, у точці А3 з випередженням А2 на 0,0125 с.

При частоті коливань, близькій до 20 Гц, установка продовжує працювати у нестійкому режимі з биттям, частоти коливань при цьому мали значення від 18,6 до 21,27 Гц. Амплітуди в точці А1 в порівнянні з попереднім випадком знизилась і знаходились в межах від 0,087 до 0,425 мм, у точці А2 – від 0,225 до 0,262 мм, у точці А3 – від 0,112 до 0,575 мм.

При підвищенні частоти коливань до $f \approx 21$ Гц установка продовжує працювати у нестійкому режимі коливань з биттям, частоти коливань на віброграмі мають значення від 20,83 до 21,39 Гц. Амплітуди на віброграмі у точках А1 і А3 коливались у широких межах, в точці А2 стабільно. Коливання в точці А1 знаходились в межах від 0,85 до 0,087 мм, у точці А2 – від 0,287 до 0,225 мм, у точці А3 – від 1,5 до 0,237 мм.

Коливання у точці А2 відбуваються з випередженням відносно точки А1 на 0,0125 с. Точки А2 і А3 рухаються у фазі.

При подальшому збільшенні частоти коливань f приблизно до 22 Гц віброустановка перейшла у стійкий режим коливань.

Коливання точки А1 відбувається у протифазі до точки А3. Точка А2 рухається з випередженням точки А1 на 0,015 с.

При досягненні частоти коливань $f \approx 25$ Гц величини амплітуд коливань точок А1 і А3 зменшуються, а в точці А2 майже не відбуваються. Режим коливань характерний невеликим биттям. Коливання точок А1 і А2 відбуваються у протифазі до коливань точки А3.

При збільшенні частоти коливань віброустановки до 26 Гц величини амплітуд коливань точок А1 і А3 дещо зменшуються, коливання в точці А2 майже не відбуваються. Режим коливань стійкий з невеликим биттям. Коливання точок А1 і А2 відбуваються у протифазі до точки А3.

За частоти коливань $f \approx 37$ Гц величини амплітуд коливань точок А1 і А3 зменшились у 2 рази в порівнянні з коливаннями при частоті 25 Гц, коливання в точці А2 майже не відбуваються. Режим коливань стійкий з невеликим биттям. Коливання

точок А1 і А2 відбуваються у протифазі до коливань точки А3.

При збільшенні частоти коливань до $f \approx 40$ Гц установка коливалась у стійкому режимі. Точки А1 і А2 рухаються без зміщень по фазі і в протифазі до точки А3.

При збільшенні частоти коливань до значень від 45 до 48 Гц установка коливалась у нестійкому режимі з різкими змінами як амплітуд, так і частот коливань. Точка А1 рухається з випередженням точки А3 на 0,006 с.

За проведеними експериментальними дослідженнями для кожної з частот коливань віброустановки були визначені відповідні середні значення амплітуд коливань. За значеннями частот і амплітуд коливань побудовані амплітудно-частотні характеристики (Рис.6) для кожної точки, в яких проводилися заміри.

Зазначені характеристики засвідчують наявність різного характеру в певних точках вимірюваних амплітуд коливань та їх підсилення в діапазоні 20...25 Гц.

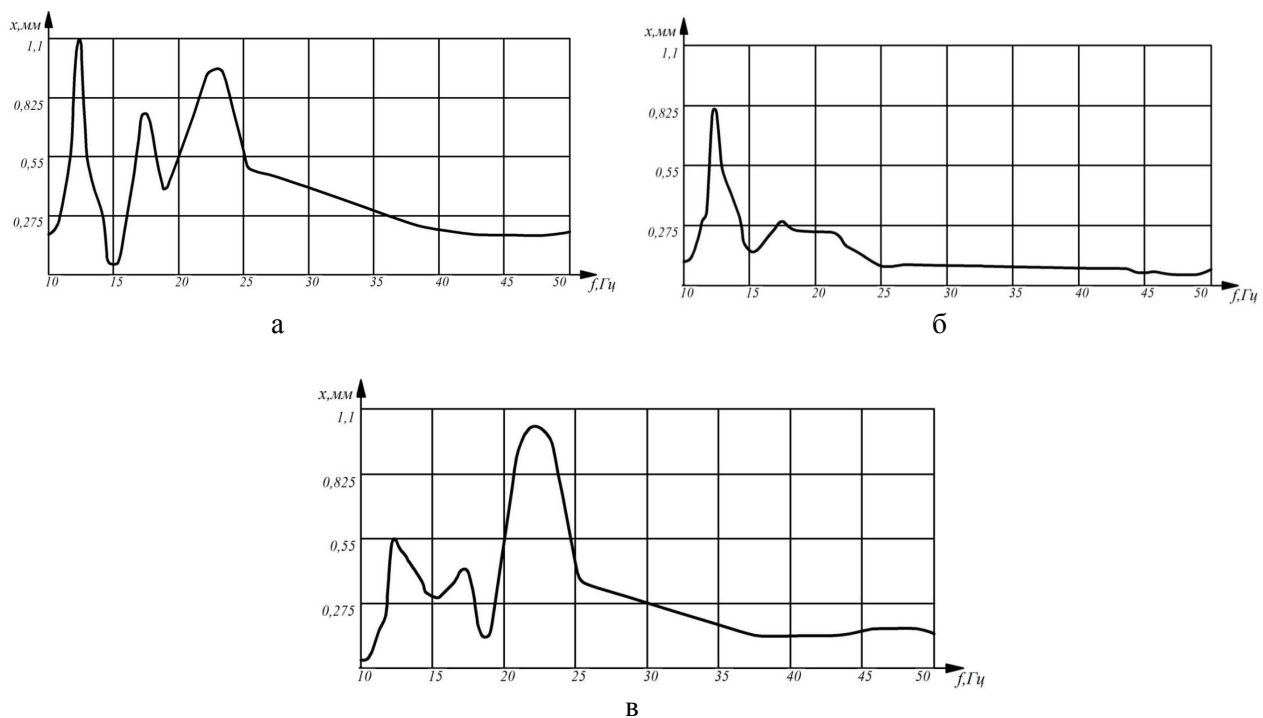


Рис.6. Амплітудно-частотні характеристики для точок: а – Х1; б – Х2; в – Х3.

Fig.6. Amplitude-frequency characteristics for the points: а – Х1; б – Х2; в – Х3.

ВИСНОВКИ

1. Створена лабораторна вібраційна установка, яка забезпечує змінний режим частоти та просторові коливання.
2. Проведені дослідження та результати їх аналізу засвідчили суттєве зменшення матеріаломісткості установки та час ущільнення бетонної суміші.
3. Запропонована конструкція віброустановки є передумовою для створення принципово нового класу ущільнюючих машин із реалізацією змінних режимів та економією енергії на протікання технологічного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Назаренко І.І.** Прикладні задачі теорії вібраційних систем. Навчальний посібник (2-е видання) / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий Дім «Слово», - 2010. – 440 с.
2. **Пановко Я.Г.** Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко. – Л.: Машиностроение, – 1976. – 320 с.
3. **Назаренко І.І.** Вібраційні машини і процеси будівельної індустрії. Навчальний посібник / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА, – 2007. – 230 с.
4. **Лермит Р.** Проблемы технологии бетона: Пер. с фр. / Под ред. и с предисл А.Е. Десова. – М.: Издательство ЛКИ, – 2007. – 296 с.
5. **Иткин А.Ф.** Вибрационные машины для формирования бетонных изделий / А.Ф. Иткин. – К.: «МП Леся», – 2009. – 152 с.
6. **Назаренко І.І., Дєдов О.П.** Огляд і аналіз вібраційного обладнання для формування плоских плит залізобетонних виробів / І.І. Назаренко, О.П. Дєдов, О.С. Дьяченко, А.Т. Свідерський // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – № 90, – 2018. – С. 49-58.
7. **Назаренко І.І., Дєдов О.П.** 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 // Техніка будівництва. – №39 – 2018. – С. 46-55.

8. **Сукач М.** Обоснование принципов усовершенствования упругих устройств / М. Сукач // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, – Вип. 91. – 2018. – С. 28-35

REFERENCES

1. **Nazarenko, I.I., 2010.** Prikladni zadachi teorii vibracijnih system [Applied problems of the theory of vibration systems (2nd ed.)], Kyiv, Slovo Publ., 440.
2. **Panovko Ja.G., 1976.** Osnovy prikladnoj teorii kolebanij i udara. [Fundamentals of Applied Theory of Oscillations and Shock], Leningrad, Mashynostroenie Publ., 320.
3. **Nazarenko I.I., 2007.** Vibracijni mashyny i procesy budivelnoi industrii. [Vibration machines and processes of the construction industry], Kyiv, KNUCA Publ., 230.
4. **Lermit R., 2007.** Problemy tehnologii betona [Problems of concrete technology], Moscow, LKI Publ., 296.
5. **Itkin A.F., 2009.** Vibracionnye mashyny dlja formovanija betonnyh izdelij [Vibration machines for forming concrete products], Kyiv, MP Lesya, 152.
6. **Nazarenko I.I., Dedov O.P., Diachenko O.S., Svidersky A.T., 2018.** Ogljad i analiz vibracijnogo obladnannja dlja formuvannja ploskih плит zalizobetonnih virobiv. [Review and analysis of vibrating equipment for the formation of flat reinforced concrete products]. Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines], Nr.90, 49-58.
7. **Nazarenko I.I., Dedov O.P., Diachenko O.S., 2018.** Ogljad konstrukcij isnujuchyh navisnyh zbudnykiv kolyvan ta doslidzhennja efektyvnosti ih vykorystannja dlja pokrashennja ushhilnennja zalizobetonnyh vyrobiv na vibracijnyh ustanovkah. [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]. Tehnika budivnytva, Nr.39, 46-55.
8. **Sukach M., 2018.** Justification of the principles of improvement elastic devices. Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny [Mining, construction, road and melioration machines], Nr.91, 28-35.

Experimental research of the working process of the vibration installation for compaction of concrete mixes with variable mode of oscillations

Ivan Nazarenko, Oleksandr Diachenko

Abstract. During the forming of reinforced concrete products at the factories of the construction industry vibration platforms (vibration installations) occupy a leading place.

Existing designs of vibroplatforms do not fully meet the requirements for ensuring high quality of products that are formed and characterized by significant energy expenditure. In addition, it is possible to note the uneven distribution of amplitudes by area of the form, the presence of zones of reduced efficiency of vibration action on the product or its complete absence (zero points), low reliability of components and structures, and high metal capacity of structures.

One of the directions of increasing the effectiveness of the volume compaction of a concrete mixture is the creation of a vibration installation with hinged vibrators and a variable mode of oscillations. This idea is proposed using a vibration installation in which the frame with a welded top plate is a pallet, on which there is a process of compaction. Dimensions of the future product are limited to installing on the pallet sides and partitions, which are fixed to the pallet with the help of

magnetic fasteners. In this way there is no frame and form, and the forming surface is a working body. It is this solution that allows to increase the efficiency of the compaction process by directly transferring the maximum energy from the working organ to the treated environment.

The use of hinged vibrators allows to reduce the overall mass, increase the uniform distribution of amplitudes due to the uniform installation of them along the contour of the frame. Due to its design vibrators have the ability to change the frequency of oscillations in the required range, and as a consequence, significantly intensify the process of vibration compaction of concrete mix at different stages of the process.

In order to verify these allegations and processes, in practice, a design of a laboratory vibration installation with hinged vibrators was created. Were done investigations of the motion of the vibration installation at various oscillation frequencies, the estimation of the distribution of amplitudes of oscillations in the area of the forming surface and the substantiation of its basic parameters were carried out, which in the future can be a prerequisite to create a fundamentally new class of compaction machines.

Key words: vibration installation, hinged vibrators, compaction, variable mode of oscillations, forming surface.