

УДК 693.542.52-868

**Басараб Володимир Аксенійович**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва, [orcid.org/0000-0003-2888-7398](https://orcid.org/0000-0003-2888-7398)  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**Кравченко Ігор Миколайович**

Асистент кафедри електротехніки та електроприводу, [orcid.org/0000-0003-1336-7680](https://orcid.org/0000-0003-1336-7680)  
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ ВЗАЄМОДІЇ З РОБОЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ**

***Анотація.** Стаття присвячена дослідженню взаємодії робочого середовища (бетонної суміші) з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної установки для віброущільнення будівельних сумішей. Створено дослідно-експериментальний стенд, що включає ударно-вібраційну установку та апаратуру прийому, запису та аналізу даних. Для експериментальних досліджень параметрів середовища використано тензометричне обладнання. Проведено комплекс експериментальних досліджень з використанням методу динамічної петлі гістерезису для висоти суміші до 1 м. Здійснено спектральний аналіз напружень в бетонній суміші та отримано експериментальну закономірність його зміни в процесі ущільнення. Запропоновано нову магнітно-підвішану конструкцію підвіски ударника, що дає змогу реалізовувати полічастотний режим руху.*

***Ключові слова:** ударно-вібраційна установка; динамічна петля гістерезису; тензометричне обладнання; магнітно-підвішана конструкція ударника*

**Постановка проблеми**

Проектування вібраційних машин для виробництва залізобетонних виробів потребує врахування цілого комплексу навантажень, серед яких важливе значення має реакція середовища при виникненні в ньому хвиль. Особливої актуальності ця задача набуває при проектуванні складних нелінійних вібромашин (полігармонічних, ударно-вібраційних, автоколивальних та ін.).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Ефективність роботи ударно-вібраційної установки з електромагнітним приводом доведено в роботі [3]. Проте в цій роботі робоче середовище розглядається як інерційна маса, що не змінює своїх властивостей під час роботи.

Як відомо [7; 10; 11; 15; 20], оброблюване середовище в умовах віброущільнення змінює свої параметри: щільність, об'єм, модуль деформації, коефіцієнт розсіювання енергії, швидкість розповсюдження хвиль та ін.

До останнього часу основна гіпотеза вібраційного ущільнення базувалась на явищі тиксотропного розрідження суміші (бетону) внаслідок дії вібрації [11; 15; 18; 20]. Отже, за умов дії вібрації, бетонна суміш набуває властивостей "важкої рідини". Ця гіпотеза пояснювала складні

фізичні процеси і явища ущільнення значним зниженням сил в'язкого опору. У такому разі обґрунтовувалась необхідність використання в технології віброущільнення високих частот.

Проте, як зазначено в роботі [10], процес вібраційного ущільнення характеризується необхідністю подолання сил в'язкого опору та сухого тертя, які сумісно перешкоджають процесу ущільнення, але їхня фізична сутність різна. Сили в'язкого опору зменшують вплив сил сухого тертя, цементне тісто виконує при цьому роль мастила у процесі ущільнення.

У роботі [10] відмічено, що висока амплітуда у поєднанні з низькою частотою вібровпливу також ефективно впливає на процес ущільнення, за таких умов ефективно долаються сили сухого тертя та взаємного зчеплення часточок. В умовах високих частот найбільш ефективно відбувається тиксотропне розрідження цементного тіста, значно зменшуються сили в'язкого опору. Але, за таких умов, процес ущільнення буде більш тривалим внаслідок незначних відносних переміщень часточок суміші.

У дослідженнях Б.В. Гусева та В.Г. Зазимко [10; 12] процес віброформування характеризується двома фазами. На першій стадії відбувається перекомпоновка крупних частинок, видалення защемленого повітря, зменшення об'єму суміші. На другій стадії продовжується видалення защемленого повітря, а також відбувається інтенсивне тиксотропне розрідження.

Переважну кількість робіт в теорії вібраційного ущільнення присвячено визначенню впливу різних амплітуд, частот та форм коливань на процес ущільнення суміші. Цим дослідженням присвячено ряд робіт [6 – 8; 10; 12; 19; 22]. Аналіз цих робіт свідчить про те, що вплив вібраційних параметрів на процес ущільнення має неоднозначний, а в деяких випадках навіть протирічний, характер.

Вплив амплітуди коливань на процес ущільнення має протирічний характер. На першій стадії процесу ущільнення рекомендується використовувати високу амплітуду руху робочого органу, хоча високе значення амплітуди може спричинити розшарування суміші [7]. З іншого боку, для якісного ущільнення необхідно забезпечити режим руху робочого органу з мінімальною амплітудою. Оптимальне значення амплітуди пов'язано з частотою, величиною заповнювача, жорсткістю суміші.

Певний науковий інтерес викликає питання розповсюдження коливань в стовпі суміші. Цьому питанню присвячено ряд робіт [1; 5; 10; 11; 13; 15; 22], в яких встановлюється зв'язок між деформаціями та напруженнями, що виникають у процесі проходження хвиль, розкриваються особливості хвильового характеру розповсюдження коливань, враховуючи умови взаємодії суміші з віброплощадкою. Теоретичні та експериментальні дослідження визначають основні характеристики хвильового процесу: швидкість розповсюдження та довжину хвилі, коефіцієнт затухання, швидкість деформації, розподіл переміщення по висоті суміші, динамічний тиск та ін.

Розв'язання задач подібного типу пов'язано з представленням бетонної суміші у вигляді різного типу реологічних моделей. До найбільш розповсюджених належать моделі Ньютона, Кельвіна, Бінгама, Максвелла, Кельвіна-Фойгта, Бінгама-Шведова та ін. [1; 2; 8 – 12; 20]. На кінцевій стадії ущільнення бетонна суміш характеризується пружно-в'язкими властивостями, тому багато дослідників [15] для описання властивостей середовища використовували модель Кельвіна-Фойгта з розподіленими параметрами.

Питання вибору оптимальної форми коливань в роботі [10] розв'язується з позиції максимального поглинання енергії бетонною сумішшю.

Доцільність та ефективність використання складних режимів взаємодії середовища та робочого органу доведена в роботі [16]. Зокрема, використання складних (полічастотних, автоколивальних та ін.) режимів в машинах вібраційної дії є одним з пріоритетних напрямів розвитку вібротехніки. Також відмічається, що вклад вищих гармонічних складових в загальну енергетику процесу сягає до 60%.

## Виокремлення раніше невирішених задач

На сьогодні є багато праць, присвячених дослідженню впливу середовища на вібраційну машину. Переважно ці роботи присвячені дослідженню вібромашин з гармонічним режимом руху. Вплив середовища на динаміку ударно-вібраційної системи з електромагнітним приводом не вивчався. При спробі теоретичного описання динаміки вищезазначеної системи з урахуванням хвильових явищ виникли значні труднощі, тому задача урахування впливу бетонної суміші на рух ударно-вібраційної установки є актуальною.

## Мета статті

Мета роботи полягає в дослідженні закономірностей взаємодії середовища з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної установки і визначення параметрів роботи машини згідно з технологічними вимогами.

## Виклад основного матеріалу

Для проведення експериментальних досліджень було створено дослідно-експериментальний стенд, що складається з двомасової ударно-вібраційної установки з електромагнітним приводом та аналогово-цифрової апаратури запису та обробки даних (рис. 1) [3; 14].

Визначення параметрів взаємодії середовища з робочим органом установки здійснювалось за допомогою тензометричного обладнання [4]. Для дослідження хвильових явищ в бетонній суміші використовувались мембранні датчики тиску (мездози). Тарування датчиків тиску здійснювалось за допомогою тарувального пристрою, в якому створювався тиск і вихідний сигнал датчика оброблявся за спеціальною комп'ютерною програмою. Запис переміщення шарів суміші здійснювався за допомогою датчиків, які являють собою консольні пластинки розміром  $(B \times L \times H) = 20 \times 160 \times 1,2$  мм. Чутливими елементами датчиків є тензорезистори, з'єднані за мостовою схемою.

Під час роботи установки сигнали від тензодатчиків підсилювались за допомогою тензостанції, далі сигнал надходив на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП за спеціальною програмою здійснював зчитування аналогового сигналу, перетворення сигналу в числовий код і побудову графіків на екрані комп'ютера (ЕОМ). Побудова графіків та їх аналіз проводились за допомогою пакета стандартних програм MS Office та Mathcad.

Оцінка реакції середовища на рух робочого органу віброустановки зводилась до визначення

параметрів напружено-деформованого стану середовища. Для розв'язання задач досліджень було застосовано метод динамічної петлі гістерезису (ДПГ) [4; 21].

Під час проведення досліджень використовувались основна форма  $b \times h \times l = 0,4 \times 0,3 \times 0,6$  м та метрова форма-вставка  $b \times h \times l = 0,2 \times 0,4 \times 1$  м. Основні етапи проведення експериментальних досліджень наведено на рис. 2.

Одним з методів оцінки якісної характеристики взаємодії системи "машина – середовище" є спектральний аналіз сигналу [17; 23]. Метою спектрального аналізу згідно з принципом суперпозиції є подання (апроксимація) періодичних коливань середовища (напруження в бетонній суміші) сумою гармонік згідно з характером руху робочого органу вібромашини.

Для знаходження коефіцієнтів ряду Фур'є скористаємось чисельним методом. Коефіцієнти ряду:

$$a_0 = \frac{2}{\tau} \sum_{i=0}^m \sigma_i \Delta t,$$

$$a_n = \frac{2}{\tau} \sum_{i=0}^m \sigma_i \cos(n\omega t) \Delta t, \quad (1)$$

$$b_n = \frac{2}{\tau} \sum_{i=0}^m \sigma_i \sin(n\omega t) \Delta t,$$

де  $\tau = 0,05$  с – період коливань;  $\omega = 20\pi$  рад/с – кутова швидкість коливань робочого органу;  $\sigma(m, t)$  – масив числових даних зміни напруження в середовищі (за результатами експерименту).

За отриманими коефіцієнтами запишемо тригонометричний ряд Фур'є:

$$\sigma(t) = \sum_{n=1}^N (a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)). \quad (2)$$

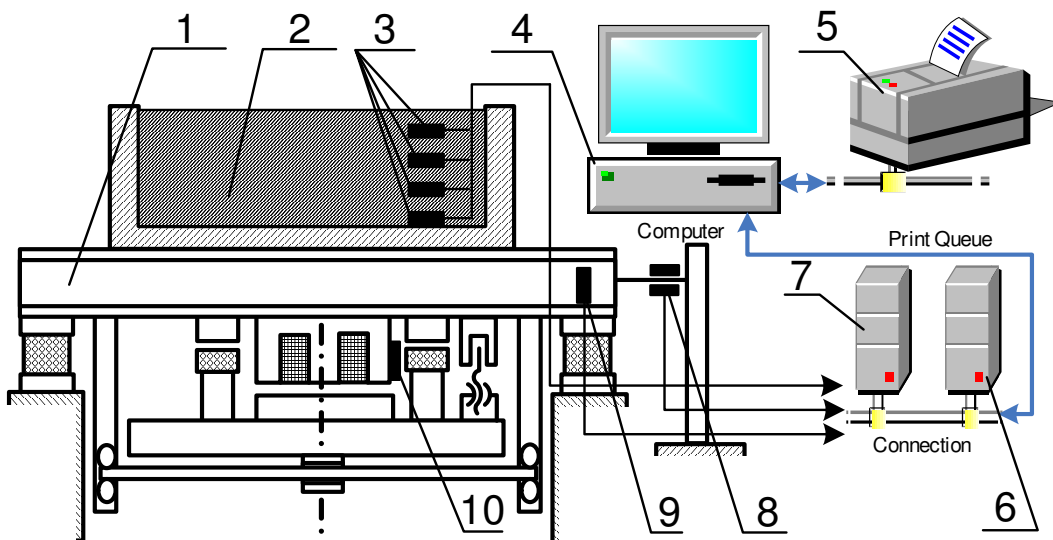
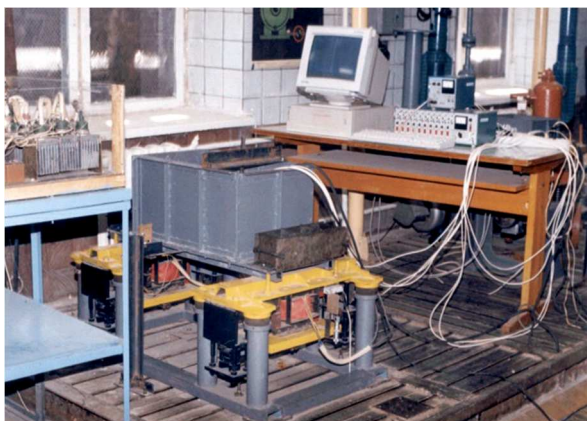


Рисунок 1 – Дослідницький комплекс:

1 – віброустановка; 2 – бетонна суміш; 3 – датчики тиску шарів бетонної суміші; 4 – ЕОМ; 5 – принтер; 6 – АЦП; 7 – блок первинної обробки сигналу; 8 – датчик переміщення робочого органу; 9 – датчик частоти; 10 – шунт



Віброустановка з формою заввишки 0,3 м



Завантаження бетонної суміші



Суміш після віброуцільнення

Рисунок 2 – Основні етапи проведення експериментальних досліджень

Відшукування коефіцієнтів ряду (1) здійснювалось чисельним методом за допомогою створеної програми в середовищі Mathcad.

За результатами аналізу експериментальних осцилограм встановлено, що спектр взаємодії системи “робочий орган – середовище” змінюється за цикл ущільнення, тому дані для спектрального аналізу будемо відбирати для трьох характерних періодів руху системи у вигляді вибірок масиву даних. Аналогічно визначаються коефіцієнти ряду Фур’є для графіка переміщення шару суміші.

Аналізуючи графіки (рис. 3-5), що отримані в результаті експериментальних досліджень, можна зробити висновок, що домінуючими гармоніками спектру для першої стадії ущільнення є відповідно 1-ша, 4-та та 8-ма. Це підтверджує тезу про те, що початковий етап характеризується процесом формоутворення і суміш ще не має достатньої жорсткості. На другому та третьому етапах

ущільнення відбувається плавне зміщення спектру в бік 2-ї, 5-ї та 7-ї гармонік. Це можна пояснити зміною властивостей бетонної суміші за час ущільнення. Цей факт є підтвердженням, що кінцевий етап ущільнення характеризується суттєвим збільшенням впливу вищих гармонік.

Логічно припустити, що якісну зміну спектру взаємодії можна розглядати як критерій якості процесу ущільнення суміші.

Синтез тригонометричного ряду (2) для кількості коефіцієнтів  $n = 3$ ,  $n = 25$ , а також експериментальний графік ( $\sigma_3$ ,  $\sigma_{25}$ ,  $\sigma_e$ ) представлено на рис. 6, 7. Для  $n = 25$  на початковій стадії ущільнення розходження в значеннях теоретичного та експериментального графіків становлять до 10%. Такі розходження значень пов’язані з перехідними процесами, що відбуваються в бетонній суміші в умовах складного характеру динамічного навантаження.

### 1. Початкова стадія ущільнення

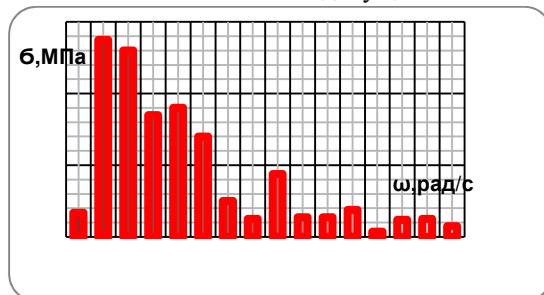


Рисунок 3 – Спектр напруження в зоні контакту “форма – суміш”

### 2. Середина циклу

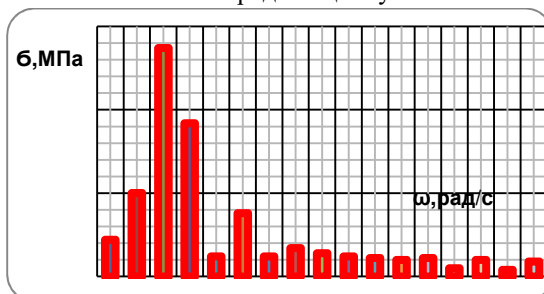


Рисунок 4 – Спектр напруження в зоні контакту “форма – суміш”

### 3. Кінцевий етап ущільнення

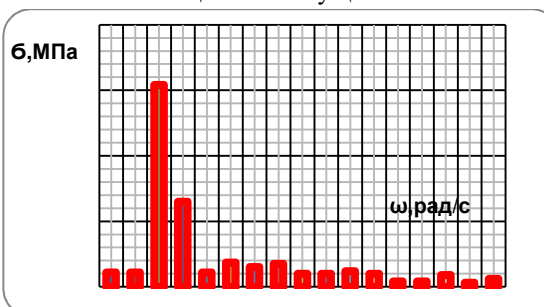


Рисунок 5 – Спектр напруження в зоні контакту “форма – суміш”

Максимальний вклад у спектр зміни тиску вносить 1-ша гармоніка ( $\omega_1=20\pi$  рад/с), другий пік відповідає 4-й гармоніці ( $\omega_4=251.33$  рад/с), третій максимум встановлює 8-ма гармоніка ( $\omega_8=502.65$  рад/с).

Максимальний вклад в спектр зміни тиску вносить 2-га гармоніка ( $\omega_2=125.66$  рад/с), другий пік відповідає 5-й гармоніці ( $\omega_5=314.16$  рад/с), третій максимум встановлює 7-ма гармоніка ( $\omega_7=439.82$  рад/с).

Максимальний вклад в спектр зміни тиску вносить 2-га гармоніка ( $\omega_2=125.66$  рад/с), другий пік відповідає 5-й гармоніці ( $\omega_5=314.16$  рад/с)

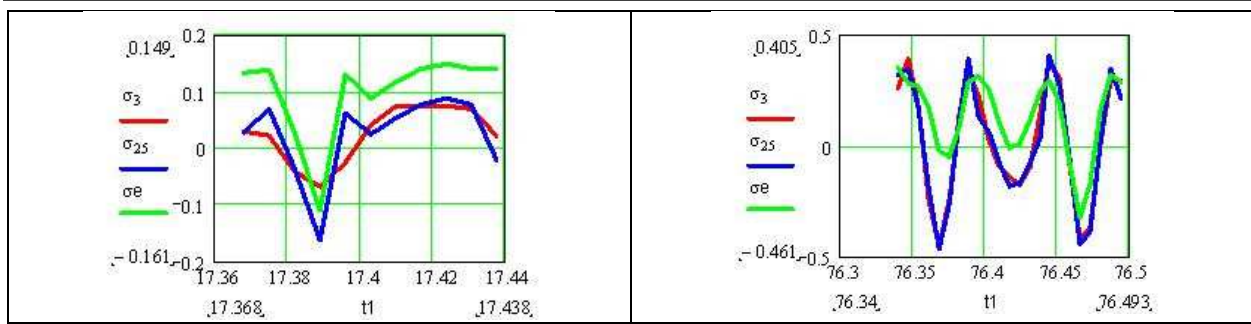


Рисунок 6 – Період коливань напруження в середовищі на початку циклу ущільнення

Рисунок 7 – Період коливань напруження в середовищі в кінці циклу ущільнення

Як свідчить спектральний аналіз напружень в бетонній суміші інтенсивна генерація вищих складових відбувається під час різкої зміни графіка прискорення робочого органу. На підставі аналізу літературних джерел [6 – 8; 10 – 12; 19; 22], рекомендацій дослідників [1; 3; 11; 12; 16], а також результатів експериментальних досліджень логічним є припущення про доцільність використання складного полічастотного руху робочого органу з метою створення більш ефективних конструкцій вібротамашин.

Для перевірки можливості створення складних режимів ущільнення бетонної суміші створено установку, що складається з робочого органу, ударника, що підвішений на постійних магнітах, опорної рами, гумових опор, електромагніта приводу та апаратури управління [5].

Нове конструктивне рішення підвіски ударника підтвердило свою працездатність – установка ефективно працювала в стійкому режимі з частотою 25 Гц [5]. Проведений дослід засвідчив ефективну передачу ударно-вібраційної форми коливань до робочого середовища.

## Висновки

1. Огляд наявних методик визначення основних параметрів взаємодії робочого органу вібраційної машини та середовища виявив доцільність дослідження поведінки системи з метою встановлення зв'язку властивостей середовища з параметрами руху ударно-вібраційної установки.

2. Визначено, що зміна спектру механічних гармонік, які виникають в умовах взаємодії робочого органу та середовища під час ущільнення, відбувається в умовах перехідних процесів – під час різкої зміни графіка прискорення робочого органу.

3. За результатами експериментальних досліджень зміни спектру механічних гармонік, що виникають в умовах взаємодії бетонної суміші з робочим органом вібротамашини у процесі ущільнення встановлено, що домінуючими гармоніками на початковому етапі ущільнення є 1-ша, 4-та ( $\omega_1=20\pi$  рад/с,  $\omega_4=251.33$  рад/с,) на кінцевому етапі відповідно 2-га, 5-та ( $\omega_2=125.66$  рад/с,  $\omega_5=314.16$  рад/с).

## Список літератури

1. Афанасьев А.А. Технология импульсного уплотнения бетонных смесей / А.А. Афанасьев. – М.: Стройиздат, 1987. – 166 с.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Баранов Ю.А. Особенности проектирования ударно-вибрационных площадок с электромагнитным приводом / Ю. А. Баранов // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины. Респуб. межвед. науч.-технич. сборник. К.: Техника, 1990, вып.43. – С. 69 – 72.
4. Баранов Ю.О. Методика экспериментальных исследований взаимодействия среды с рабочим органом ударно-вибрационной площадки / Ю.О. Баранов, М.О. Клименко, В.А. Басараб // Техніка будівництва №11.К.: КНУБА, 2002. – С. 24–28.
5. Басараб В.А. Дослідження полічастотного режиму коливань електромагнітної ударно-вібраційної системи / В.А. Басараб // Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК, – К.: НУБіПУ, вип. 241, 2016. – С. 101-110.
6. Бриедис И.П. Вертикальное вибрирование и влияние порядка загрузки бетонной смеси на распределение амплитуд колебаний по высоте формируемого изделия. В кн.: Исследования по бетону и железобетону / И.П. Бриедис. – Рига: Зинатне, 1965. – Вып.VIII. – С. 5–33.
7. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники / И.И. Быховский. – М.: Машиностроение, 1968. – 362 с.
8. Гиришель Г.Б. Некоторые вопросы разрушения внутренних связей в смесях при вибрировании. В кн.: Теория формирования бетона / Г.Б. Гиришель. – М.: НИИЖБ, 1969. – С. 102–108.
9. Грушко И.М. Математическое моделирование и оптимизация процесса уплотнения бетонных смесей при симметричных и асимметричных колебаниях. В кн.: Технологическая механика бетона / И.М. Грушко, Б.А. Лишанский. – Рига, 1984. – С. 88–102.

10. Гусев Б.В. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей / Б.В. Гусев, А.Д. Демидов, Б.И. Крюков и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 150 с.
11. Десов А.Е. Экспериментальные данные о распространении колебаний различных частот в бетонных смесях при станковом вибрировании. В кн.: Технология и свойства тяжелых бетонов / А.Е. Десов, В.Н. Шмигальский. – М.: Госстройиздат, 1961. – Вып. 19. – С. 34–58.
12. Зазимко В.Г. Исследование процессов формирования с переменными параметрами вибрирования. В кн.: Исследование и практика заводского производства железобетона / В.Г. Зазимко, М.И. Нетеса, М. Болтрык. – М.: НИИЖБ, 1982. – С. 49–59.
13. Карамзин В.Е. Определение давления бетонной смеси на элементы формы и вопросы вибрирования. В кн.: Теория формирования бетона / В.Е. Карамзин, Г.С. Митник, Д.С. Баранов. – М.: НИИЖБ, 1969. – С. 119–125.
14. Кравченко І.М. Керування динамічними параметрами електромагнітної ударно-вібраційної системи / І.М. Кравченко, В.А. Басараб // Техніка будівництва №19.К.: КНУБА, 2006. – С.56-63.
15. Куннос Г.Я. Вибрационная технология бетона / Г.Я. Куннос. – Л.: Стройиздат, 1967. – 168 с.
16. Маслов А.Г. Определение параметров поличастотной виброплощадки для формирования железобетонных изделий / А.Г. Маслов // Горные, строительные и дорожные машины. – Киев: Техника, 1984. – № 37. – С. 107–113.
17. Радиотехника: Энциклопедический навчальний довідник: Навч. посіб. / За ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуського, В.І. Правди. – К.: Вища школа, 1999. – 838 с.
18. Ребиндер П.А. Физико-механическая механика дисперсных структур / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 400 с.
19. Ребю П. Вибрирование бетона / П. Ребю. – М.: Стройиздат, 1970. – 256 с.
20. Руденко И.Ф. Упругие и неупругие силы сопротивления бетонной смеси колебаниям. – В кн.: Теория формирования железобетонных изделий / И.Ф. Руденко. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 19–32.
21. Рузга Зденек. Электрические тензометры сопротивления / Зденек Рузга. – М.: Мир, 1964. – 356 с.
22. Савинов О.А. Теория и методы вибрационного формирования железобетонных изделий / О.А. Савинов, Е.В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1972. – 153 с.
23. Харкевич А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич. – М.: Физматгиз, 1962. – 236 с.

Стаття надійшла до редколегії 06.09.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.І. Мазуренко, Інститут електродинаміки НАН України, Київ.

#### **Басараб Владимир Аксениевич**

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, [orcid.org/0000-0003-2888-7398](https://orcid.org/0000-0003-2888-7398)  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

#### **Кравченко Игорь Николаевич**

Ассистент кафедры электротехники и электропривода, [orcid.org/0000-0003-1336-7680](https://orcid.org/0000-0003-1336-7680)  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ УДАРНО-ВИБРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РАБОЧЕЙ СРЕДОЙ**

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию взаимодействия рабочей среды (бетонной смеси) с рабочим органом электромагнитной ударно-вибрационной установки для виброуплотнения строительных смесей. Создан опытно-экспериментальный стенд, включающий ударно-вибрационную установку и аппаратуру приема, записи и анализа данных. Для экспериментальных исследований параметров среды было использовано тензометрическое оборудование. Проведен комплекс экспериментальных исследований с использованием метода динамической петли гистерезиса для высоты смеси до 1 м. Осуществлен спектральный анализ напряжений в бетонной смеси и получена экспериментальная закономерность его изменения в процессе уплотнения. Предложена новая магнитно-подвешенная конструкция подвески ударника, что позволяет реализовывать поличастотные режимы движения.

**Ключевые слова:** ударно-вибрационная установка; динамическая петля гистерезиса; тензометрическое оборудование; магнитно-подвешенная конструкция ударника

#### **Basarab Volodymyr**

PhD (Eng.), associate Professor of Department of technology of building production, [orcid.org/0000-0003-2888-7398](https://orcid.org/0000-0003-2888-7398)  
Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv

#### **Kravchenko Igor**

Assistant of the Department of electrical engineering and electric drive, [orcid.org/0000-0003-1336-7680](https://orcid.org/0000-0003-1336-7680)  
Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv

### **RESEARCH OF BEHAVIOR OF THE ELECTROMAGNETIC SHOCK – VIBRATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF INTERACTION WITH WORKING ENVIRONMENT**



**Abstract.** The article presents a modern investigation of the problem of interaction between concrete mix and working platform electromagnetic shock – vibration setting under conditions of vibro-compacting. The laboratory test equipment which includes vibroimpact set and PC – based data acquisition system was created. For the realization of laboratory researches a dynamic loop of hysteresis was applied for the height of the mixture to 1 m. Tensometric equipment was used for experimental researches of work-environmental parameters. The strain spectral analysis of concrete mix was carried out and its experimental change regularity in the process of compacting was obtained. The new magnetically suspended impactor design which gives a possibility to realize poliharmonic vibration conditions was proposed.

**Key words:** shock-vibration machine; dynamic loop of hysteresis; tensometric equipment; magnetically suspended construction of impactor

#### References

1. Afanasev, A.A. (1987). *Technology of impact compaction of concrete mixtures*. Construction publishing house, 166.
2. Akhverdov, I.N. (1981). *Basics of concrete physics*. Construction publishing house, 454.
3. Baranov, Iu.A. (1990). Particular qualities of designing shock-vibration sets with electromagnetic drive. *Mountain, construction, road and reclamation machines*, (43), 69 – 72.
4. Baranov, Iu.O., Klymenko, M.O. & Basarab, V.A. (2002). The methodology of experimental researches interaction between concrete mix and working shock – vibration platform. *Construction engineering*, (11), 24 – 28.
5. Basarab, V.A. (2016). Investigation of the polyfrequency mode of oscillation of the electromagnetic shock-vibration system. *Scientific journal of the National university of life and environmental*, (241), 101 – 110.
6. Briedis, I.P. (1965). Vertical vibration and influence concrete mix degree of filling on the distribution of the amplitude of oscillations on the height of molded product. *Research on concrete and reinforced concrete*, (VIII), 5 – 33.
7. Bykhovskiy, I.I. (1968). *Fundamentals of the theory of vibration technology*. Mechanical engineering, 362.
8. Girshel, G.B. (1969). Some questions of the destruction of internal connections in the mixtures during vibration. *Theory of molding concrete*, 102 – 108.
9. Grushko, I.M. & Lishansky, B.A. (1984). Mathematical modeling and optimization of the compacting process of concrete mixtures for symmetrical and asymmetric vibrations. *Technological mechanics of concrete*, 88–102.
10. Husev, B.V., Demynov, A.D., Kriukov, B.Y. and others. (1982). *Shock-vibration technology for compacting concrete mixes*. Construction publishing, 150.
11. Desov, A.E. & Shmigalsky, V.N. (1961). Experimental data on the distribution of oscillations of different frequencies in concrete mixtures during machine vibrating. *Construction publishing*, (19), 34 – 58.
12. Zazimko, V.G., Netesa, M.I. & Boltryk, M. (1982). Investigation of forming processes with variable parameters of vibration. *Research and practice of factory production of reinforced concrete*, 49 – 59.
13. Karamzin, V.E., Mitnick, G.S. & Baranov, D.S. (1969). Determination a pressure of concrete mixture on the elements of mold and vibration issues. *Theory of molding concrete*, 119 – 125.
14. Kravchenko, I.M. & Basarab, V.A. (2006). Control of dynamic parameters of the electromagnetic shock-vibration system, *Construction engineering*, (19), 56 – 63.
15. Kunnos, G.Ya. (1967). *Vibration technology of concrete*. Construction publishing, 168.
16. Maslov, A.H. (1984). Determination of the parameters of a polyfrequency vibratory platform for forming reinforced concrete products. *Mountain, construction, road and reclamation machines*, (37), 107 – 113.
17. Mazor, Iu.L., Machuskij, Ie.A. & Pravda, V.I. (1999). *Radio engineering: an encyclopedic study guide*. High school, 838.
18. Rebinder, P.A. (1966). *Physical mechanics of disperse structures*. 400.
19. Reby, P. (1970). *Vibration of concrete*. Construction publishing, 256.
20. Rudenko, I.F. (1970). Elastic and inelastic forces of resistance to oscillations of a concrete mix. *Construction publishing*, 19 – 32.
21. Ruzga, Zdenek. (1964). *Electrical strain gauges of resistance*. 356.
22. Savinov, O.A. & Lavrynovych, E.V. (1972). *Theory and methods of vibrational molding of reinforced concrete products*. Construction publishing, 153.
23. Kharkevich, A.A. (1962). *Spectrum and analysis*. 236.

#### Посилання на публікацію

- APA Basarab, Vladimir & Kravchenko, Igor. (2018). Research of behavior of the electromagnetic shock – vibration system in the conditions of interaction with working environment. *Management of Development of Complex Systems*, 35, 155 – 161.
- ДСТУ Басараб В.А. Дослідження поведінки електромагнітної ударно-вібраційної системи в умовах взаємодії з робочим середовищем / В.А. Басараб, І.М. Кравченко // *Управління розвитком складних систем*. – 2018. – № 35. – С. 155 – 161.