



Машина і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

УДК 693.542.52-868

Ю. О. Баранов, к.т.н., доцент КНУБА

ДИНАМІКА УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

АНОТАЦІЯ. Стаття присвячена дослідженню динаміки електромагнітної ударно – вібраційної установки для віброущільнення будівельних сумішей. Розглянуто фізичну та математичну моделі системи. Досліджено поведінку системи за умов зміни часу затримки на вмикання живлення електромагнітів. Для розв'язання диференціальних рівнянь руху застосовано чисельну методику розрахунку. Наведено впровадження результатів досліджень у виробництво та навчальний процес.

Ключові слова: ударно – вібраційна установка, математична модель, чисельний розрахунок.

ANNOTATION. The article presents an investigation of electromagnetic shock – vibration setting dynamics under conditions of construction mixtures vibro-compacting. The physical and mathematical models of the system were considered. The system behavior under condition of electromagnets switching power time delay was researched. Numeral method of calculation to solve the differential equations of motion was applied. Implementation of research results into manufacturing and the educational process was presented.

Key word: shock vibration setting, mathematical model, numeral calculation.

Актуальність роботи. Електромагнітні вібратори, які працюють в гармонічному (вібраційному) режимі, застосовуються досить широко в багатьох галузях промисловості завдяки високій надійності та нескладному керуванню режимом роботи. Головним чином вони використовуються у вібротранспортуючих машинах, робочі органи яких дозволяють розміщення декількох вібраторів без забезпечення синхронізації режиму роботи, що досить важко виконати при використанні змінного або напіввипрямленого струму. Використання таких вібраторів в ударно-вібраційних машинах обмежується відносно невеликою амплітудою коливань. Одним із шляхів усунення зазначених вище недоліків електромагнітних вібраторів є використання електромагніта, який працює на постійному або випрямленому струмі, і який може забезпечити ударно-вібраційні коливання з необхідним розмахом та асиметрією прискорень [2,4,5,6]. При цьому вібратор не є автономним агрегатом у машині, що, в даному випадку, зменшує металоємкість та собівартість виготовлення обладнання.

Викладення основного матеріалу. Для ущільнення будівельних сумішей пропонується багатоблокова ударно-вібраційна площадка з електромагнітним приводом на випрямленому струмі [1,3]. Кількість віброблоків визначається вантажопідйомністю та габаритами виробу в плані.

Віброблок являє собою двомасову автоколивальну систему (рис.1). Верхня маса включає масу робочого органу 3 на яку встановлена форма 1 з сумішшю, що ущільнюється, та масу статора 4 електромагніта з котушкою 5. Верхня маса віброізолюється від фундаменту опорними амортизаторами 2. Нижня маса включає масу ударника 7 з якорем 8 електромагніта. Ударник з'єднаний з робочим органом пружними елементами 6. Маса співударяються через буферні елементи 9, зазор в яких менший зазору в магнітопроводі електромагніта. Котушки електромагнітів всіх віброблоків підключено паралельно до виходу блока живлення 13. Між робочим органом та ударником встановлено переривач живлення 10, який є елементом зворотного зв'язку в схемі керування блоком живлення.

Віброблок працює наступним чином. Під час проходження струму в котушці, під дією електромагнітної сили маси зближуються і стискають пружні елементи підвіски ударника. При заданому положенні мас (в початковий момент удару, або дещо раніше),

переривник знеструмлює котушку. Далі, під дією сили тяги електромагніту, що породжується залишковим струмом, маси продовжують зближуватись і частково стискають буфери. Потім, під дією потенційної енергії стиснення буферів і підвіски ударника, а також за рахунок відновлення швидкості після удару, маси віддаляються. Через заданий проміжок часу (в початковий момент зближення мас, або дещо пізніше) реле часу, яке включене в схему керування, подає живлення на котушку, і цикл повторюється.

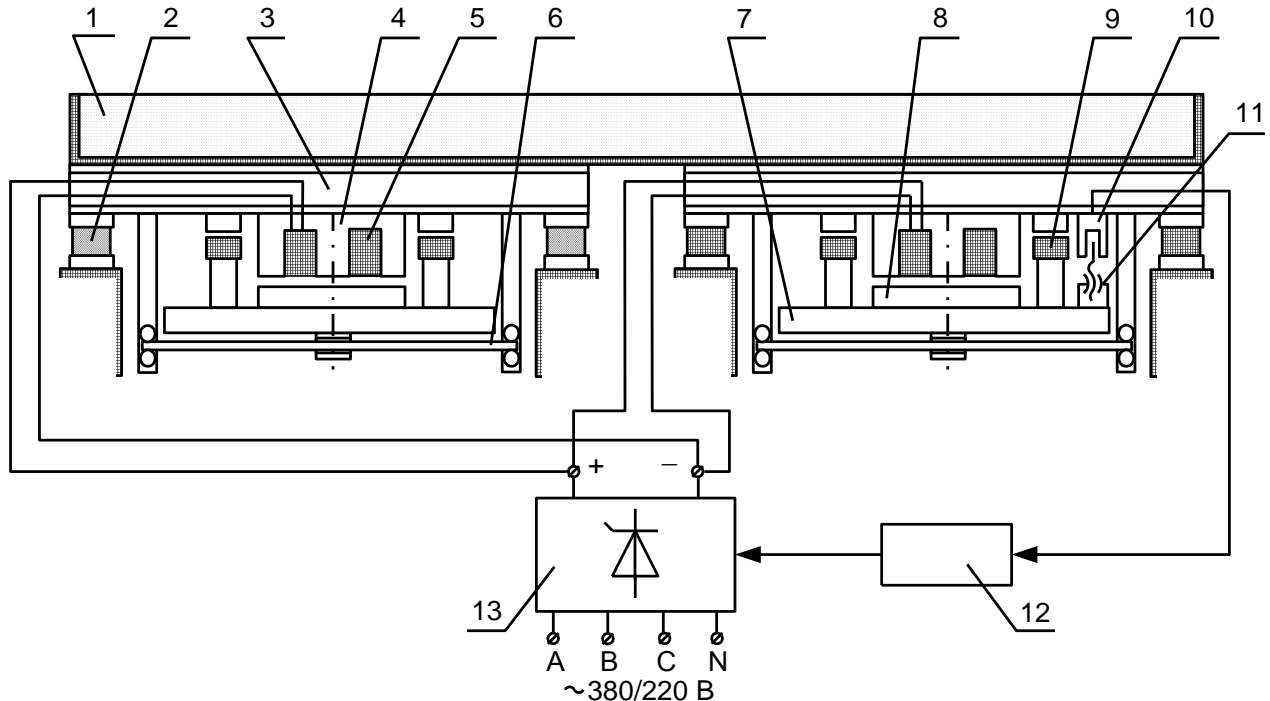


Рисунок 1. Схема ударно-вібраційної площадки з електромагнітним приводом на випрямленому струмі.

1-форма з бетонною сумішшю. 2-опорні амортизатори. 3-верхня маса(робочий орган). 4-осердя електромагніта. 5-котушка електромагніта. 6-ресора. 7-нижня маса(ударник). 8-якір електромагніта. 9-буфер. 10-індукційний датчик. 11-регулювальний гвинт. 12-схема керування. 13-тиристорний випрямляч.

Розрахункова модель і описання динаміки досліджуваної системи.

Динамічна модель віброблока приведена на рисунку 2.

Досліджувана система складається з маси m_1 - робочого органу і частини маси форми з сумішшю, яка припадає на один віброблок а також маси m_2 - ударника. Коливання мас збуджуються електромагнітом з силою тяги F_e . Співударяння мас відбувається через пружні елементи (буфера) жорсткістю c_2 з коефіцієнтом опору b_2 . Взаємне переміщення мас забезпечується за рахунок пружних елементів (підвіски ударника) жорсткістю c_1 з коефіцієнтом опору b_1 .

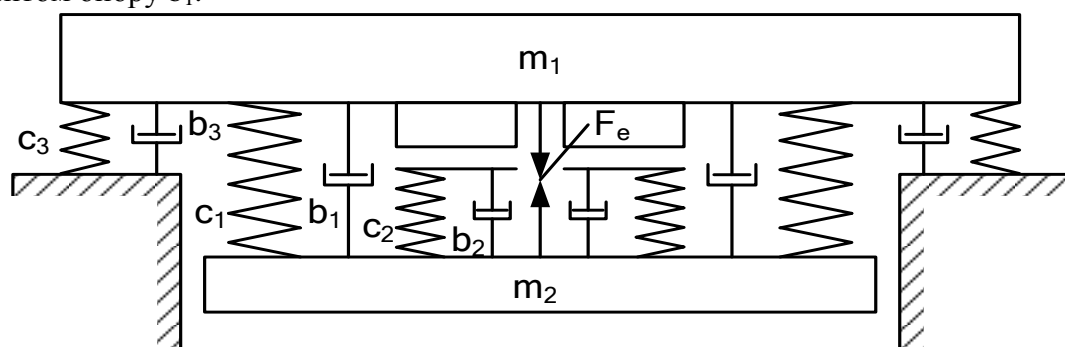


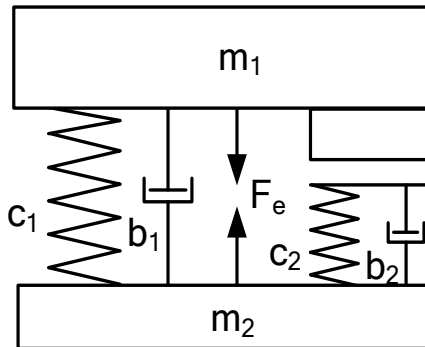
Рисунок 2. Динамічна модель віброблока.

Маса m_1 віброізолюється від фундаменту опорними пружними елементами (амортизаторами) жорсткістю c_3 з коефіцієнтом опору b_3 . При забезпеченні умови віброізоляції, опорні пружні елементи не виявляють суттєвого впливу на рух системи, тому, можна прийняти, $c_3=0$ і $b_3=0$. Розрахункова схема такої моделі і розгортка коливань приведені на рис. 3.

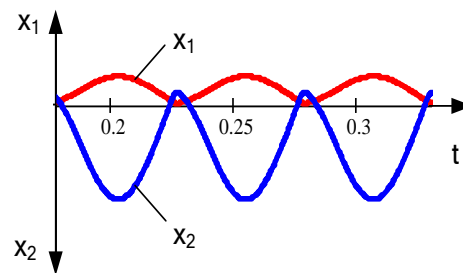
Динаміка системи описується рівняннями руху мас та рівняннями електромагнітного ланцюга.

Рівняння руху верхньої маси:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + b_3 \dot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) + c_2(x_1 - x_2 + x_k) + c_3 x_1 = -F_e, \quad (1)$$



а)



б)

Рисунок 3. Зведений рух системи.

а) - розрахункова схема. б) - розгортка коливань.

Рівняння руху ударника:

$$m_2 \ddot{x}_2 - (b_1 + b_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - c_1(x_1 - x_2) - c_2(x_1 - x_2 + x_k) = F_e, \quad (2)$$

Рівняння електромагнітного ланцюга:

$$\frac{d(Li)}{dt} + iR = U. \quad (3)$$

В нашому випадку, для спрощення процедури розрахунку, спрямувавши координатні осі як вказано на рисунку 3, б будемо мати:

Рівняння руху робочого органу (маси m_1):

$$m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_2)\dot{x} + (c_1 + c_2)x = F_e, \quad (4)$$

де: $x=x_1+x_2$, м – відносне переміщення мас m_1 і m_2 ;

$\dot{x} = \dot{x}_1 + \dot{x}_2$, м/с – відносна швидкість мас m_1 і m_2 ;

\ddot{x}_1 , м/с² – прискорення маси m_1 .

Рівняння руху ударника (маси m_2):

$$m_2 \ddot{x}_2 + (b_1 + b_2)\dot{x} + (c_1 + c_2)x = F_e, \quad (5)$$

де: \ddot{x}_2 , м/с² - прискорення маси m_2 .

Рівняння електромагнітного ланцюга:

$$U = ir + \frac{d\psi}{dt}, \quad (6)$$

де: i , А – сила струму в ланцюгу котушки електромагніта;

r , Ом – опір в ланцюгу котушки;

$\psi = Li$, Вб – повне потокозчеплення;

L , Гн – повна індуктивність.

За результатами досліджень встановлено, що цілеспрямованою зміною жорсткості підвіски ударника - C_1 та часом затримки на вмикання живлення електромагнітів - t_z можна керувати параметрами роботи машини для забезпечення необхідного за технологією змінного режиму ущільнення.

В результаті аналізу залежності основних параметрів роботи машини від t_z встановлено, що частота ударів змінюється в середньому на 15%, напіврозмах коливань на 30%, потужність – більш ніж на 100%.

Залежність кінематичних параметрів системи від t_z наведено на графіках (рис. 4).

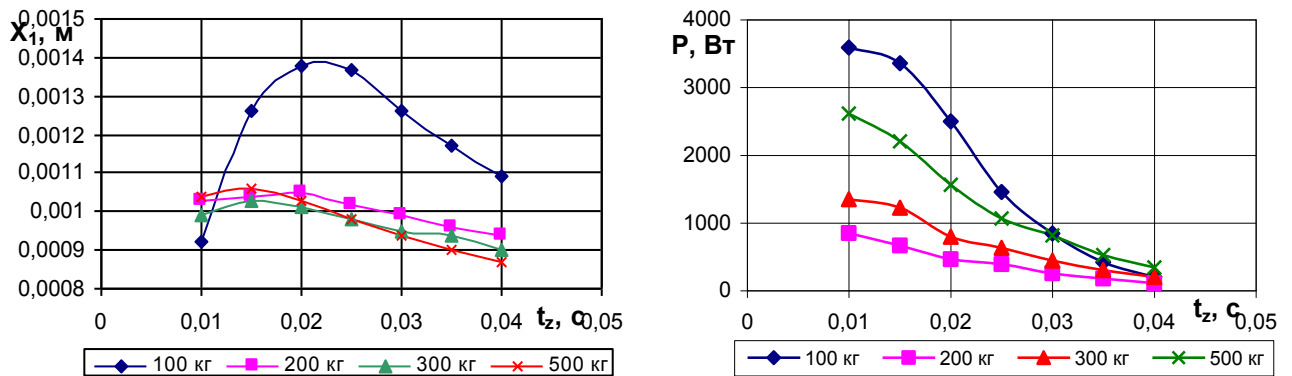


Рисунок 4. Залежність кінематичних параметрів системи від t_z .

Одним із завдань дослідження є впровадження результатів розробок в учбовий процес, що передбачає створення учбово-лабораторних стендів, лабораторних робіт, впровадження методики досліджень в науково-педагогічний процес.

За результатами досліджень було створено лабораторний учбовий стенд (рис. 5), який включає: зменшену модель електромагнітної ударно-вібраційної площадки (вантажопідйомність $P=10$ кг, частота $\omega=25$ Гц, напіврозмах коливань $X_1/2=1$ мм), прилад живлення (ЛАТР $U=0\dots 250$ В, $I=0\dots 9$ А), вимірювальні прилади (амперметр $I=0\dots 5$ А, вольтметр $U=0\dots 300$ В) та з'єднувальні провідники. Лабораторний стенд підключається за схемою що приведена на рисунку 6.

Працює апаратура наступним чином: після ввімкнення живлення змінний струм через вимірювальні прилади та діод, що включений до схеми, потрапляє на котушки електромагнітів; ударники притягуючись до верхньої маси ударяють по ній буферними елементами, за наступний на півперіод діод відсікає живлення і маси розходяться, далі цикл повторюється.

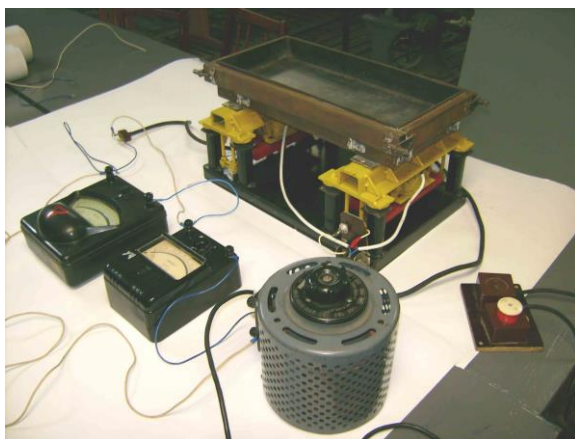


Рисунок 5. Учбово-лабораторний стенд.

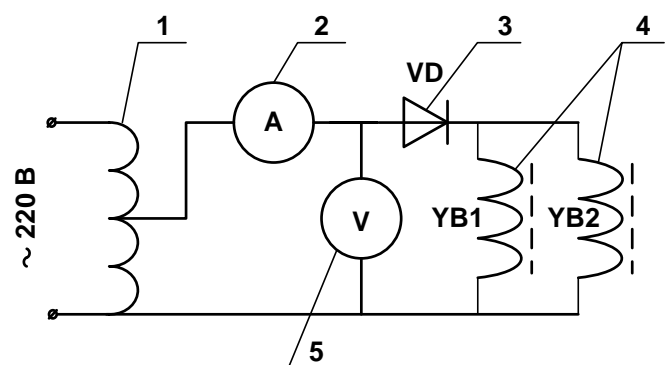


Рисунок 6. Електрична схема стенда.
1-ЛАТР; 2-амперметр; 3-діод Д241; 4-котушки електромагнітів; 5-вольтметр.



Сутність лабораторної роботи полягає в наступному: в умовах незавантаженої форми, після ввімкнення живлення ручкою ЛАТРа поступово збільшуємо напругу живлення до отримання стійкої роботи машини, при цьому фіксуємо показання приладів; далі збільшуємо навантаження за допомогою імітатора бетонної суміші.

Для кожного навантаження встановлюємо стійкий режим роботи і фіксуємо показання приладів, результати при цьому заносимо до таблиці. За отриманими даними будуємо графіки $X_1/2=f(m_6)$, $f=f(m_6)$, $P=f(m_6)$. Проводимо теоретичні розрахунки основних параметрів роботи машини, будуємо графіки і порівнюємо з експериментальними результатами, робимо основні висновки.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику інженерного розрахунку двомасової ударно-вібраційної системи з електромагнітним приводом на випрямленому струмі. Спроектовано ряд уніфікованих віброблоків вантажопідйомністю від 500 до 2500 кг. Оптимальні динамічні параметри системи мають такі числові значення:

- вантажопідйомність віброблока – 2000 кг
- частота ударів – 20 Гц
- середнє прискорення робочого органа – 35 м/с^2
- асиметрія верхнього та нижнього прискорень – 5
- напіврозмах коливань – 0,7...0,8 мм

За результатами досліджень спроектовано триблокову ударно-вібраційну площадку для формування залізобетонних виробів. Дослідно-промисловий зразок установки вантажопідйомністю 6 т виготовлено та випробувано на Броварському заводі будівельних конструкцій (рис.7). Проведені випробування підтвердили високу ефективність такого класу машин.

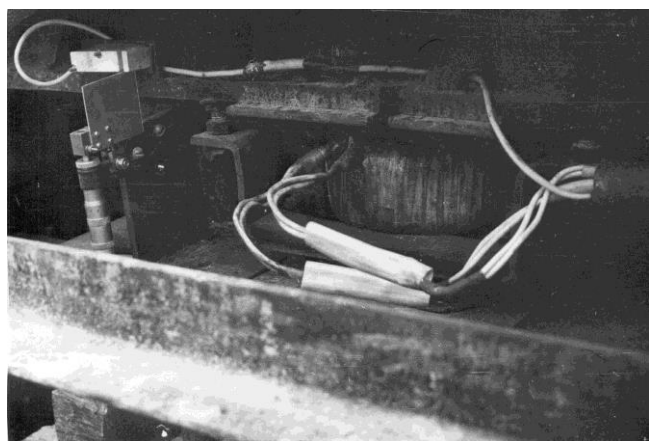
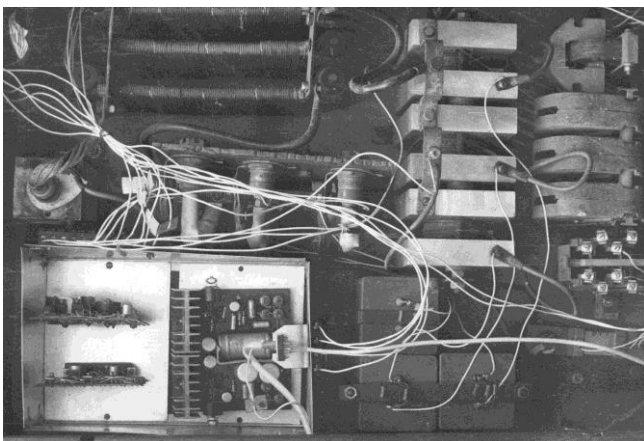
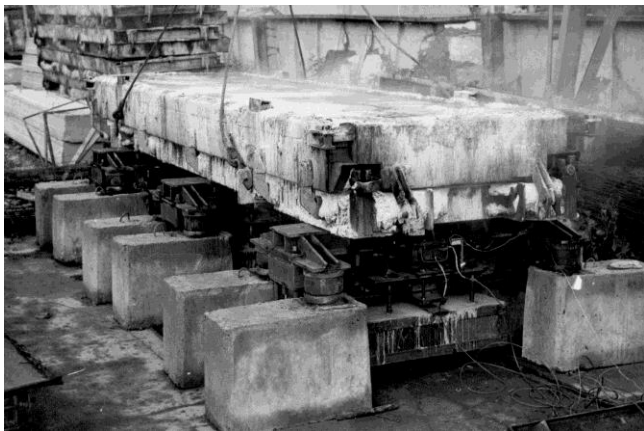


Рисунок 7. Загальний вид ударно-вібраційної площадки, електромагнітного приводу та системи керування електромагнітним віброзбуджувачем.

Література

1. 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, вип.43. – С.69 – 72.
2. 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.
3. Иносов В.Л., Назаренко И.И., Хо Тхи Ха. Новая электромагнитная низкочастотная виброплощадка ударного действия / В.Л. Иносов, И.И. Назаренко, Хо Тхи Ха // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура, 1982. – № 7. С. 118-122.
4. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий дім “Слово”, 2010. – 440 с.
5. Овчинников П.Ф. Уплотнение строительных смесей на переменных во времени параметрах вибрации и удара / П.Ф. Овчинников, В.С. Бабий. – Кишинев: Штиинца, 1976. – 134 с.
6. Чубук Ю.Ф. Вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей / Ю.Ф. Чубук, И.И. Назаренко, В.Н. Гарнец. – К.: Вища школа, 1985. – 167 с.