



УДК 666.97

*Ю.О. Баранов, к.т.н., доцент КНУБА,**М.О. Клименко, асистент КНУБА,**В.А. Басараб, інженер*

## **МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЗАЄМОДІЇ СЕРЕДОВИЩА З РОБОЧИМ ОРГАНОМ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОЇ ПЛОЩАДКИ**

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 вібротомашин (полігармонічних, ударно-вібраційних автоколивальних та ін.).

На сьогоднішній день існує багато праць присвячених дослідженню впливу середовища на вібраційну машину. В основному ці роботи присвячені дослідженню вібротомашин з гармонічним режимом руху. Вплив середовища на динаміку автоколивальної ударно-вібраційної системи з електромагнітним приводом не вивчався. При спробі теоретичного описання динаміки вищезгаданої системи з урахуванням хвильових явищ виникли значні труднощі.

Виходячи з цього задачею експериментальних досліджень є:

1. створення дослідно-експериментального комплексу, який би давав можливість отримувати та обробляти результати з максимально можливою швидкістю та точністю;
2. дослідження наявності хвиль в середовищі, що ущільнюється;
3. дослідження зміни динамічних параметрів машини (переміщення, швидкість, прискорення, частота та ін.).

Експериментальне обладнання, що використовувалось до теперішнього часу для виконання подібного типу досліджень, має ряд недоліків:

1. ступінь точності обладнання (потенційна можливість отримання та передачі даних) набагато нижча необхідної точності та дискретності фізичних процесів, що досліджуються;
2. неможливість отримання чіткої картини явищ при слабкому сигналі датчика;
3. недостатня ступінь захищеності від шумів різного роду;
4. неможливість отримання незалежних результатів по кожному каналу.

Вищевказані недоліки є можливим ліквідувати лише при використанні сучасної аналого-цифрової апаратури.

Дослідження виконувалися на дослідно-експериментальному комплексі (рис. 1), який складається з ударно-вібраційної установки з електромагнітним приводом 11 та апаратури прийому і обробки сигналу.

Для дослідження хвильових явищ (вимірювання тиску) в бетонній суміші використовуються датчики тиску (мездози), які повинні задовольняти наступним вимогам [2, 3]:

1. модуль деформації датчика повинен перевищувати максимальне значення модуля деформації середовища (дана вимога має особливе значення при вимірюванні динамічної складової тиску, коли недостатня жорсткість мездози може бути причиною викривлення не лише значення амплітуди, але й форми коливань вимірюваного тиску);
2. власна частота мездози повинна перевищувати найвищу гармонічну складову динамічної дії;
3. об'ємна вага мездози повинна відповідати об'ємній вазі бетонної суміші;
4. присутність датчика не повинна суттєво впливати на розподіл напружень в місці встановлення;

5. засоби закріплення датчика не повинні викликати ефект армування та концентрації напружень;

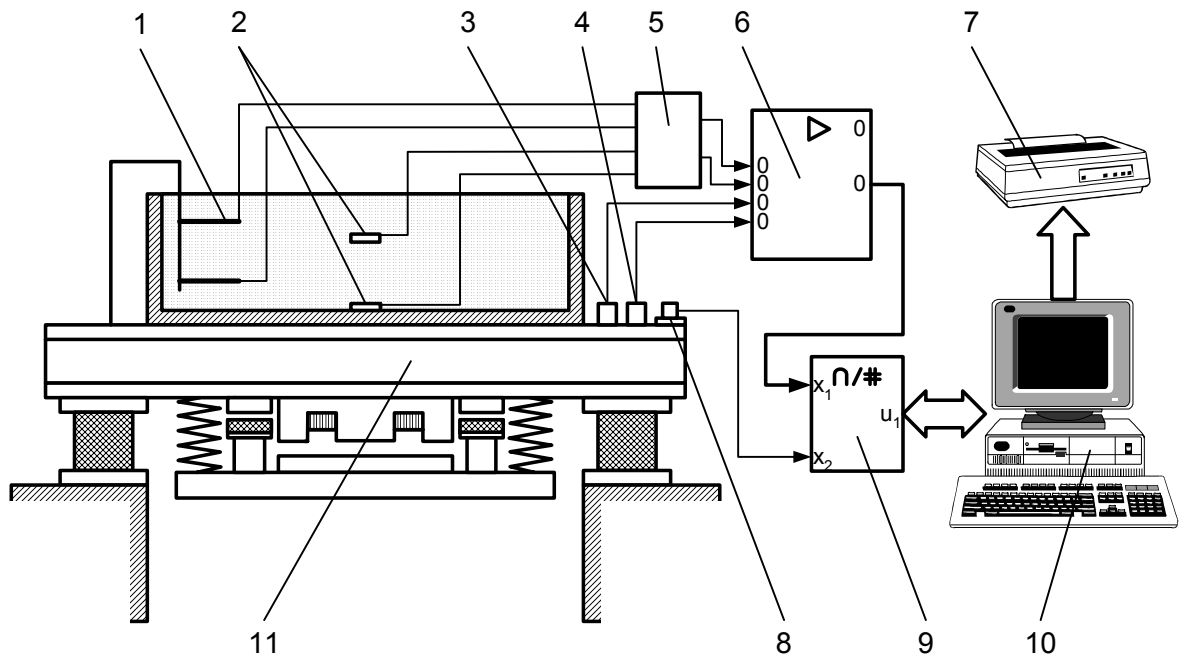


Рис. 1. Схема дослідно-експериментального комплексу:

1 – датчик переміщення шарів суміші; 2 – датчик тиску (мездоза); 3 – датчик переміщення; 4 – датчик прискорення; 5 – додаткові опори (для мостової схеми); 6 – тензостанція Топаз 3-01 (10 каналів вимірювання); 7 – принтер; 8 - датчик швидкості; 9 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП), (SD1-ADS16-16); 10 – ЕОМ; 11 – автоколивальна ударно-вібраційна площадка з електромагнітним приводом

Як показали дослідження, найбільш ефективними є датчики тиску (мезدوزи) конструкції ЦНДІБК (рис. 2) [2]. В роботі [3] відмічено, що мездоза ЦНДІБК з гідроперетворювачем може бути використана як для статичних так і для динамічних випробувань. Мездоза ЦНДІБК, як відмічається в роботах [2, 3, 4], має високу чутливість в порівнянні зі звичайними мембранними мездозами, гістерезис в показаннях при навантаженні та розвантаженні складає не більше 2%. Для проведення досліджень були використані мезدوزи ЦНДІБК з діапазоном вимірюваних тисків 0...50 кгс/см<sup>2</sup>. Отриманий сигнал підсилювався за рахунок підсилюючої апаратури.

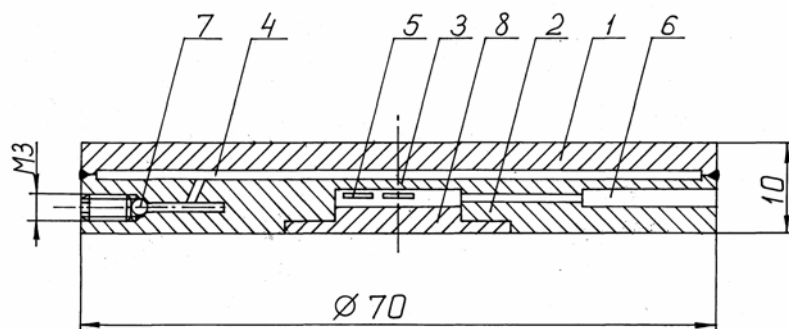


Рис. 2. Конструкція мезدوزи ЦНДІБК з гідроперетворювачем:

1 – приймальний поршень; 2 – корпус; 3 – вимірювальна мембрана; 4 – камера гідроперетворювача; 5 – тензорезистори; 6 – отвір для введення кабелю; 7 - отвір для нагнітання гідравлічної рідини; 8 – кришка;

Слід також вказати, що в мездозах конструкції ЦНДІБК як гідравлічна рідина в камері гідроперетворювача використовується ртуть. На сьогоднішній день є практичні результати по використанню силікону в камері гідро перетворювача. В Україні подібні

датчики (грунтові мездоз) були розроблені в секторі натурних випробувань Київенергопроекту на чолі з Лазебником Г.Є.

Для перетворення механічного сигналу в електричний в мездозі ЦНДІБК використовується мембранний тензорезистор [5], виконаний по півмостовій схемі. Проте, як показали дослідження, півмостова схема не дає достатньої чутливості для даного типу вимірювань, тому була використана мостова схема (міст Уїтстона). Таким чином, половина моста знаходилася в мездозі (тензорезистори мездоз  $R_1, R_3$ , рис. 3), а інша половина (додаткові компенсуючі резистори  $R_2, R_4$ ) – в екранованому та заземленому корпусі. Номінальні значення опорів додаткових резисторів підбиралися за величинами опорів тензорезисторів.

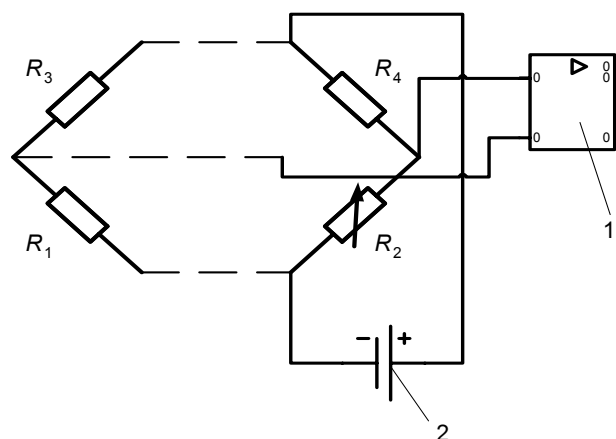


Рис. 3. Схема підключення мездоз:  
1 – підсилюючий пристрій; 2 – блок живлення;  $R_1, R_3$  – тензорезистори мездоз;  $R_2, R_4$  – додаткові (компенсуючі) резистори.

Слід зазначити, що вибір типу резисторів має суттєве значення. Як показав досвід, використання звичайних резисторів типу МЛТ дає негативний результат, оскільки наявність паразитної індуктивності та ємності призводить до появи шумів в каналі вимірювання. Тому, як рекомендація, слід використовувати високостабільні вугільні резистори типу УЛМ. Для даного типу вимірювань були використані резистори УЛМ ( $R=110...120$  Ом,  $P=0,15$  Вт). Також слід зазначити, що використання резисторів змінного опору для регулювання мостової схеми небажано (в цілях зменшення рівня шумів).

В процесі виконання вимірювань з'ясувався суттєвий недолік мостової схеми, який обов'язково слід враховувати, – температурний дрейф нуля. Тому тарування датчиків бажано проводити безпосередньо перед експериментом. Кабелі датчиків повинні мати подвійну ізоляцію, бути екранованими та заземленими.

Тарування датчиків тиску (мездоз) здійснюється за допомогою тарувального пристрою (рис. 4), який включає в себе компресійний бак 5, плунжерний насос 3, манометр 2 ( $0...4$  кгс/см<sup>2</sup>), масляний бак 1 та трубопроводи з'єднання.

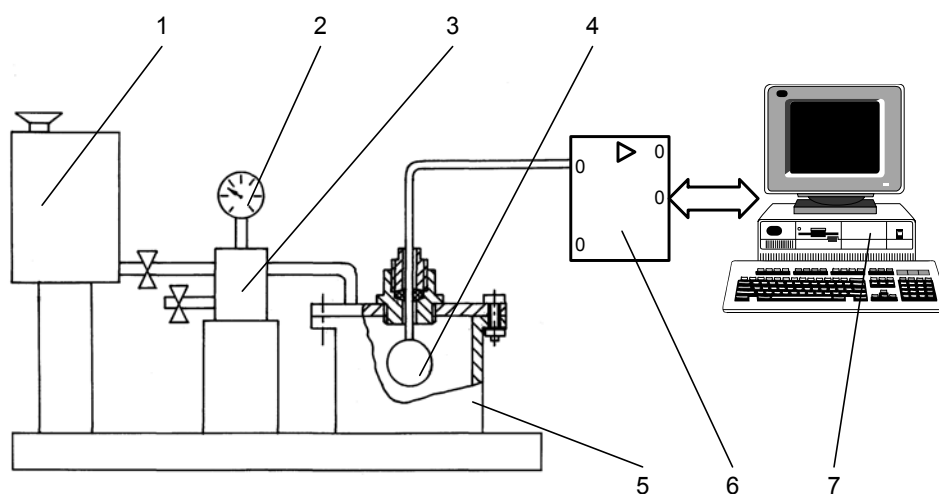


Рис. 4. Схема тарування датчиків тиску (мездоз):  
1 – масляний бак; 2 – манометр; 3 – масляний насос; 4 – мездоза; 5 – компресійний бак;  
6 – тензостанція; 7 – система аналого-цифрової обробки та запису показань.

Тарування здійснюється наступним чином. Датчик розміщується в компресійному бакові, герметизується, манометр та нуль-індикатор тензостанції виставляється в нульове положення. Після чого за допомогою насоса з збільшують тиск і через кожні  $0,1 \text{ кгс/см}^2$  фіксують числове значення зміни показань ЕОМ. За отриманими даними будують графік, що відповідає навантаженню датчика. Аналогічно будують графік при розвантаженні. Для виконання тарування, в тарувальному пристрої використовується індустриальне масло марок И-20, И-40.

Вимірювання амплітуди робочого органу та ударника здійснюється тензометричним способом [6]. За допомогою штативу 1 (рис. 5) консольна пластинка 3 з наклеєними тензорезисторами 2 закріплюється на робочому органі або ударникові. Для компенсації півмостової схеми використовуються резистори типу УЛМ ( $R=200 \text{ Ом}$ ,  $P=0,15 \text{ Вт}$ ).

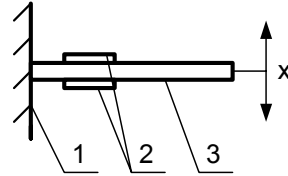


Рис. 5. Схема запису амплітуди коливань робочого органу.

Тарування датчика переміщення здійснюється таким чином: датчик переміщення закріплюється в штативі, лінійне переміщення фіксується за допомогою індикатора годинникового типу, рівень сигналу при цьому фіксується в ЕОМ. Потім будують графік. Слід зазначити, що консольно закріплена пластинка є нелінійною системою, але для малих переміщень ( $X = 0,7 \text{ мм}$ ) закон зміни сигналу від прогину незакріпленого кінця можна вважати лінійним.

Швидкість руху робочого органу фіксують за допомогою магнітоелектричного датчика швидкості який дає можливість підключення безпосередньо до аналого-цифрового перетворювача (рис. 1).

При роботі віброплощадки сигнали від тензодатчиків підсилюються за допомогою тензостанції (тензостанція має гальванічно-розв'язану схему підключення каналів), далі сигнал поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП за спеціальною програмою проводить зчитування аналогового сигналу, перетворення сигналу в числовий код і побудову графіків на екрані ЕОМ. Паралельно відбувається запис даних на жорсткий диск ЕОМ для їх подальшої обробки. Модуль АЦП дозволяє змінювати коефіцієнт підсилення сигналу як апаратно ( $K_n=10; 200; 1000$ ), так і програмно. Також в залежності від швидкості (частоти) процесів, що досліджуються, ми можемо програмно змінювати швидкість запису даних. Програмне забезпечення розроблене асистентом Клименком М.О на мові програмування TURBO PASCAL версії 7.0.

Експериментальні дослідження впливу середовища на динаміку руху віброплощадки проводились в наступній послідовності:

- тарувались датчики, що використовувались для проведення дослідів;
- реєструвались параметри не завантаженої віброплощадки та заносились в таблицю;
- проводився розрахунок складу бетонної суміші визначеної жорсткості;
- встановлювались датчики, завантажувалась форма згідно схеми дослідів;
- проводився синхронний запис показань всіх приладів і датчиків для кожної серії дослідів;
- по отриманим осцилограмам визначались числові значення параметрів, які характеризують сили опору віброплощадки та бетонної суміші.

Оцінка реакції середовища на рух робочого органу віброплощадки зводиться до визначення параметрів напружено-деформованого стану середовища. В нашому випадку для розв'язку задач дослідження був застосований метод динамічної петлі гістерезису та метод згасаючих коливань [3]. Як показано на схемі (рис. 1), переміщення шарів суміші вимірюється за допомогою нестандартних датчиків переміщення (рис. 5), які розміщуються безпосередньо в середовищі. При роботі віброплощадки в усталеному режимі за допомогою датчиків переміщення фіксується відносна деформація шару суміші і одночасно записується показання датчика тиску, потім по отриманим осцилограмам



будуємо динамічну петлю гістерезису, яка дає можливість визначити наступні параметри середовища:

1. енергію  $\Delta W$ , що розсіюється одиницею об'єму середовища за один період коливань (визначається на підставі вимірювань площ петель гістерезису);
2. динамічний модуль пружності  $E = \sigma/\varepsilon$ , [Н/м<sup>2</sup>];
3. швидкість розповсюдження коливань  $C = \sqrt{E/\rho}$ , [м/с];

де  $\rho$  - щільність суміші.

4. потенціальну енергію пружної деформації  $W = \frac{\sigma^2}{2E}$ , [Н/м<sup>2</sup>];

5. коефіцієнт поглинання енергії  $\Psi = \frac{\Delta W}{W}$ ;

6. коефіцієнт не пружного опору бетонної суміші коливанням  $\gamma = \frac{\Psi}{2\pi}$ .

В режимі затухаючих коливань сили опору визначались по осцилограмам, які записувались після вимкнення живлення віброплощадки до повної зупинки. Далі розраховували коефіцієнт не пружного опору коливанням за формулою

$$\gamma = \frac{\delta}{\pi} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_i}{A_{i+1}},$$

де  $\delta$  - декремент коливань,  $A_i$  - амплітуда коливань на початку циклу.

Коефіцієнт пружності середовища можна визначити за відомою залежністю  $K = ES/h$ , де  $S, h$  - переріз стовпа бетону та його висота.

Отримані параметри дають можливість побудови фізичної та математичної моделі середовища для оцінки його впливу на динаміку руху віброплощадки.

Попередні дослід з сумішшю вологістю 10% показали високу ефективність дослідної апаратури. Висока швидкість запису даних дає можливість не лише фіксувати характер зміни параметрів процесу ущільнення (переміщення, швидкість, тиск) але й фіксувати характер розвитку напружень та деформацій за період руху робочого органу або за час удару (що має суттєве значення для ударно-вібраційної технології).

З отриманих даних можна зробити висновок про правомірність використання апаратури даного типу для дослідження високошвидкісних динамічних процесів обробки середовища.

### Література

1. Баранов Ю.А. Создание строительных ударно-вибрационных машин с электромагнитным приводом: Дис. канд. техн. наук. К., 1994. - 150 с.
2. Баранов Д.С, Карамзин В.Е. О методике измерения давления бетонной смеси на элементы форм//Сб. НИИЖБ Стальные формы для сборного железобетона. – М., Стройиздат, 1966.
3. Назаренко И.И. Теория и принципы создания виброуплотняющих машин на основе синтеза гибридных динамических систем: Дис. докт.техн.наук. К.: КИСИ, 1987. - 383с.
4. Карамзин В.Е, Митник Г.С Давление вибрируемой бетонной смеси на поддон и борта формы// Сб. НИИЖБ Расчет и конструирование стальных форм для сборного железобетона. М.: Стройиздат, 1970.
5. Баранов Д.С. Тензометрические приборы для исследования строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1971. - 166с.
6. Иориш Ю.И Измерение вибрации. Общая теория, методы и приборы. – М.: Машгиз, 1956. - 403с.