

Машини і обладнання технологічних процесів будівельної індустрії

УДК 666.97

*І.І. Назаренко, д-р техн. наук, професор КНУБА,
Ю.О. Баранов, канд. техн. наук, доцент КНУБА,
В.А. Басараб, інженер КНУБА*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СЕРЕДОВИЩА З РОБОЧИМ ОРГАНОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНОЇ ПЛОЩАДКИ

Експериментальні дослідження взаємодії оброблюваного середовища з робочим органом складної нелінійної вібромашини являються чи не найдійовішим методом визначення параметрів системи "машина-середовище" і дають можливість перевірити як існуючі теоретичні положення так і визначити напрямок для подальших досліджень.

Як було зазначено [1, 2], задача експериментальних досліджень полягає у визначенні взаємодії оброблюваного середовища (бетонної суміші) з робочим органом електромагнітної ударно-вібраційної площадки.

При проведенні досліджень у відповідності з методикою [2, 3, 5] реєструвались наступні параметри:

- амплітуда коливань шарів суміші;
- динамічний тиск в контактній зоні "форма - суміш та в шарах суміші.

Вихідні дані [4]: вантажопідйомність лабораторної віброплощадки-200кг (робочий орган + форма – 120 кг, маса бетону – 80 кг), частота коливань – $\omega = 20$ Гц, амплітуда коливань (напіврозмах) – $x = 0,75$ мм.

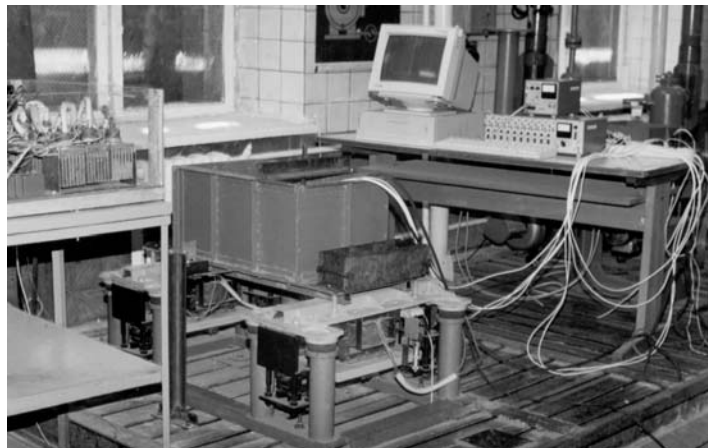


Рис. 1. Дослідно-експериментальний стенд

Для розв'язання задач досліджень був розроблений дослідно-експериментальний стенд (рис. 1). На першому етапі проводилось тарування датчиків тиску та переміщення за вищезгаданою методикою. Результати тарування мездоз, як видно на графіку (рис. 2), показали лінійну залежність між величиною зміни тиску та сигналом (в межах заданого діапазону), а також відсутність гістерезису при навантаженні та розвантаженні. Незначний гістерезис графіків розвантаження спричинений температурним дрейфом нуля тензOMETричної апаратури. Масштаб тарування для мездоз 1 складає $\mu_1 = 3,996$ В/(10 кПа), для мездоз 2 $\mu_2 = 3,146$ В/(10 кПа). Необхідно зазначити, що діапазон сигналу датчиків на

виході тензометричної апаратури складає ± 100 мВ, це необхідно враховувати оскільки тарувальні графіки та осцилограми отримані з коефіцієнтом підсилення $\kappa_n = 200$. Запис переміщення шарів суміші здійснювався за допомогою нестандартних датчиків які представляють собою консольні пластинки розміром $(B \times L \times \delta) = 20 \times 160 \times 2$ мм. Чутливими елементами датчиків є тензорезистори, з'єднані по напівмостовій схемі. Для уникнення потрапляння вологи чутливі елементи датчиків та з'єднання кабелів герметизувалися за допомогою силікону в спеціальному корпусі. Графіки тарування датчиків переміщення (рис. 3) мають лінійну залежність в межах діапазону вимірювань. Масштаб тарування датчиків переміщення складає: датчики 1 і 4 - $\xi_{1,4} = 13$ В/мм, датчики 2 і 3 - $\xi_{2,3} = 8$ В/мм.

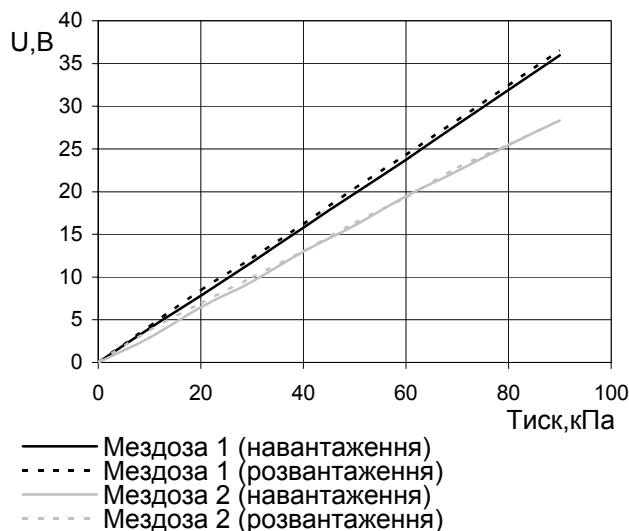


Рис. 2. Графік тарування мездоз

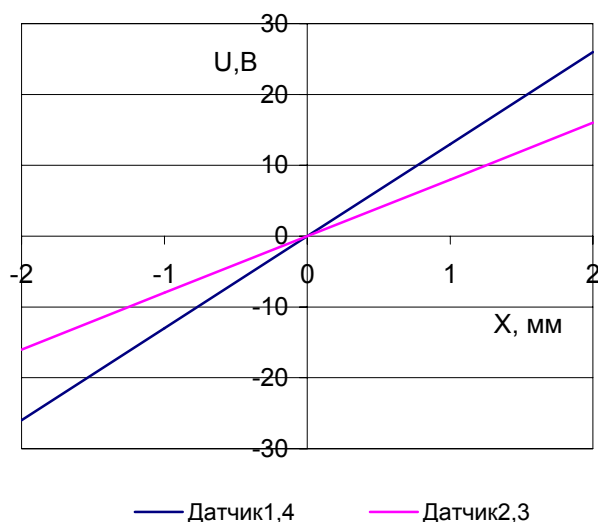


Рис. 3. Графік тарування датчиків переміщення

Встановлення датчиків тиску та переміщення в форму здійснювалось за схемою (рис. 4). Один датчик тиску (мездоза 1) встановлювався на дні форми і закріплювався жорстко, інший датчик (мездоза 2) встановлювався вільно на деякій висоті при завантаженні суміші. Датчики переміщення шарів суміші встановлювалися на спеціальному жорстко закріпленому в формі штативі. Склад бетонних сумішей, які використовуються в дослідженнях приведений в таблиці 1.

Таблиця 1. Склад бетонних сумішей

№	Склад бетонних сумішей	В/Ц	Жорсткість, с
1	1:3:0	0,33	80...100
2	1:1,4:2,6	0,35	100...120
3	1:1,82:3,38	0,41	30...60
4	1:2,55:4,5	0,55	100...120

З осцилограми (рис. 5) видно, що тиск в середовищі змінюється пропорційно прискоренню робочого органу, а також залежить від висоти суміші, тому стає зрозумілим, що інерційна складова суміші є основною складовою процесу ущільнення (створення напружено-деформованого стану середовища). Видно, що характер зміни тиску в залежності від висоти суміші залишається постійним. Як показав запис (рис. 6), переміщення частинок суміші відбувається в протифазі до зміни тиску в середовищі. Запис повного циклу ущільнення ($t = 1,5$ хв.) показав, що тиск в середовищі змінюється як в кількісному, так і в якісному розумінні, тобто на початку процесу ущільнення відбувається чітке чергування ударів різної сили (на нашу думку це явище можна пояснити властивістю автоколивальної системи до самоадаптування, тобто реагувати на зміну зовнішнього навантаження). Із ущільненням суміші відбувається згладжування різниці між ударами (частота коливань при цьому не змінюється), а також збільшується величина та



інтенсивність (частота) вищих гармонік (між ударний спектр). Величина (перепад тиску) вищих гармонік складає третину величини основної гармоніки. Значення тиску при усталеному русі на початку циклу ущільнення складає 40 кПа (максимальне значення) - для мездози, розташованої на дні, та 10 кПа - для мездози в суміші. Тиск в кінці циклу ущільнення складає 60 кПа (на дні форми).

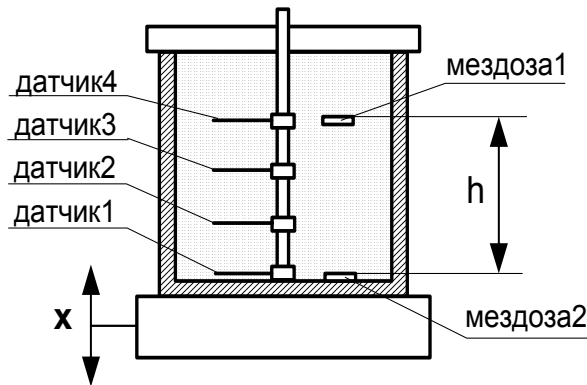


Рис. 4. Схема встановлення датчиків

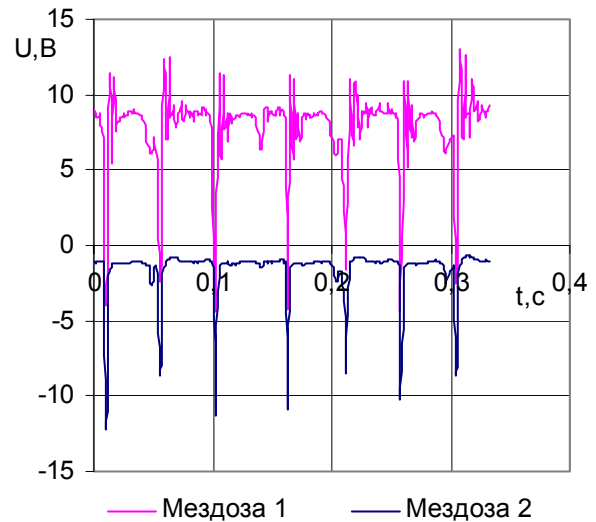


Рис. 5. Графік зміни тиску в середовищі

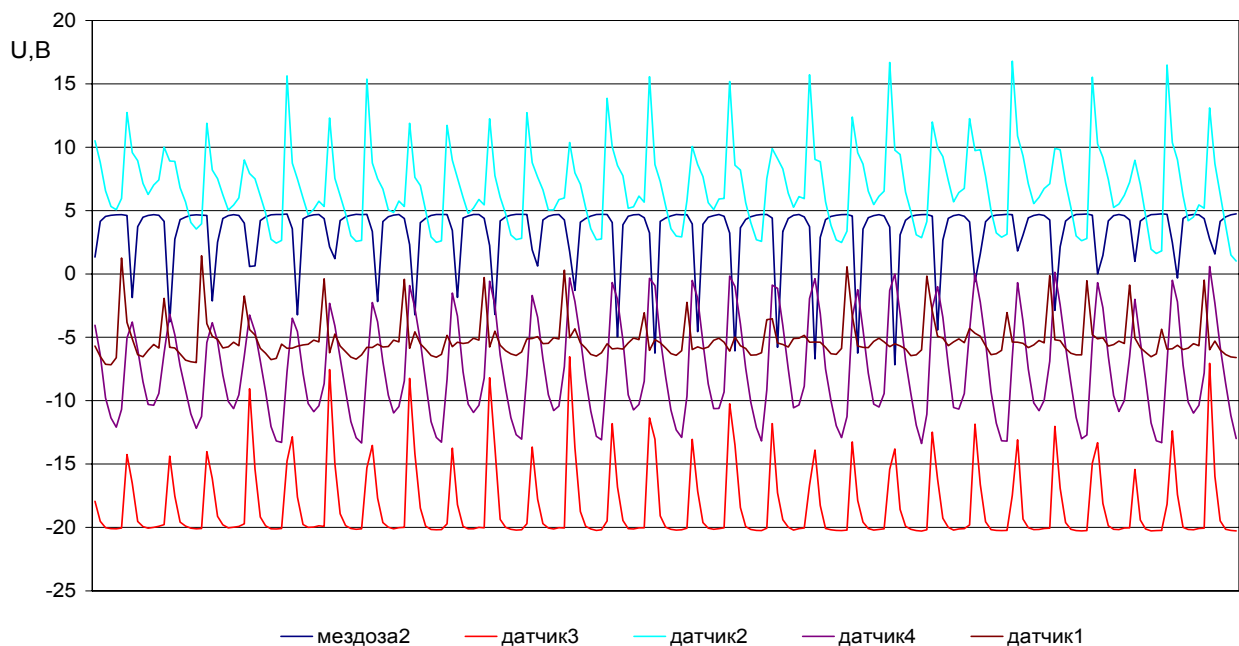


Рис. 6. Запис тиску та переміщення шарів суміші

Аналіз осцилограм повного циклу ущільнення за умов жорсткого та вільного закріплення мездоз свідчить про те, що характер зміни тиску в обох випадках аналогічний, але вплив вищих гармонік поступово збільшується (амплітуда вищих гармонік до завершення циклу складає приблизно половину значення амплітуди основної гармоніки). На нашу думку це можна пояснити збільшенням ступеня ущільнення суміші і, як наслідок, збільшенням частоти власних коливань системи "робочий орган-середовище", а також накладанням високочастотних коливань дна форми та штативу, іншими словами датчик, встановлений в суміш, на початку процесу ущільнення контактує з деякою локальною ділянкою середовища, а до завершення циклу, коли формується

структура виробу, в зоні контакту датчика та середовища (робочого органу та суміші) відбувається накладання зусиль кількох складових (тиск середовища контактної зони, перерозподілений тиск вище розташованих шарів, боковий тиск, високочастотна складова тиску за рахунок накладання коливань форми з сумішшю, а також коливань підвіски ударника та ін.).

Як відомо [2], ударний характер взаємодії має досить складну фізичну природу і супроводжується виникненням великої кількості вищих гармонік. Це є ще одним поясненням реакції взаємодії робочого органу та середовища. В окремих випадках амплітуда вищих гармонік майже досягає амплітуди основної гармоніки, тобто, можна сказати, що характер взаємодії робочого органу та середовища наближається до характеру взаємодії твердих тіл. На підставі вищевказаного можна припустити, що суцільний високочастотний спектр є одним з критеріїв якості ущільнення. Період коливань віброплощини складає 0,05с ($f = 20\text{Гц}$).

Дослід проведений з формою висотою $h = 1$ м виявляє аналогічний характер зміни тиску, але тиск на дні форми та в шарах суміші характеризується більш різкою зміною амплітудних значень та високою інтенсивністю вищих гармонік (очевидно має місце вплив жорсткості стінок та днища форми – так званий пристінний ефект). Повторні досліді вказують на одне і те ж явище – відбувається, як відмічено раніше, чергування ударів більшої та меншої сили, потім іде період стабілізації і далі – поступове плавне наростання тиску в зоні контакту та згладжування спектру взаємодії. На нашу думку, пояснити цей ефект можна само адаптивною властивістю автоколивальної системи (як зазначено раніше), а також зміною коефіцієнта відновлення швидкості при ударі, оскільки, під час удару відбувається поглинання енергії середовищем, тому логічно можна заключити, що цей коефіцієнт буде меншим на початку ущільнення (коли енергія удару максимально поглинається середовищем) і тому машина реалізує більш ударний режим руху, і далі відбувається згладжування спектру – реалізується ударно-вібраційний режим. Аналіз запису повного циклу ущільнення не дає підстав вважати процес передачі напружено-деформованого стану між частинками суміші хвильовим. Незначний зсув фаз показань датчиків на початку процесу ущільнення спричинений нерівномірною реакцією датчиків при інтенсивній осадці суміші. Результати аналізу показань датчиків переміщення розташованих на різній висоті вказують на неоднозначний характер динамічної податливості середовища.

Очевидно, нерівномірність показань спричинена різним ступенем впливу робочого органу (переміщення в контактній зоні), а також висотою та жорсткістю форми.

На наступному етапі проводилось дослідження напружено-деформованого стану середовища за допомогою динамічної петлі гістерезису (Д.П.Г.) [2]. Графіки (рис. 7, 8), побудовані для верхнього шару суміші (мездоза 2, датчики 3, 4), відповідають початковій та кінцевій стадії ущільнення суміші. На початку ущільнення (рис. 7) відбувається плавне наростання тиску майже за лінійним законом (пружна деформація), далі характер кривої відповідає пластичній деформації. При розвантаженні-напруженні падає до мінімального значення, відносна деформація наближається при цьому до максимуму. Відносна деформація, як видно з графіка, відстає по фазі від напруження. На кінцевій стадії ущільнення (рис. 8) відбувається зменшення площі Д.П.Г. Оскільки площа петлі гістерезису є робота, що витрачається на ущільнення елементарного об'єму суміші, стає зрозумілим, що на початку циклу відбувається активне поглинання віброенергії середовищем і, як наслідок, зміна площі Д.П.Г. Необхідно також зазначити, що кінцева стадія ущільнення за характером зміни кривої має деякі відмінності у відношенні до початкової стадії. Згідно запису відбувається чергування зсуву фаз між напруженням та деформацією (випередження наростання напруження в порівнянні з наростанням деформації і навпаки) і, як наслідок, зміна форми та площі Д.П.Г. На нашу думку, цей факт можна пояснити релаксацийними коливаннями тиску та відносною деформації з частотою відмінною від частоти коливань установки, а також накладанням коливань форми.

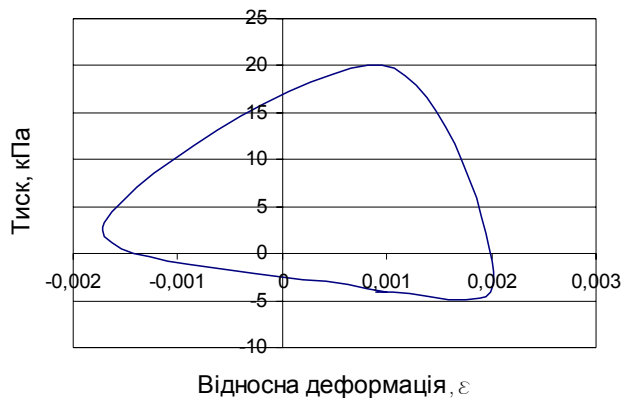


Рис. 7. Динамічна петля гістерезису на початку циклу ущільнення

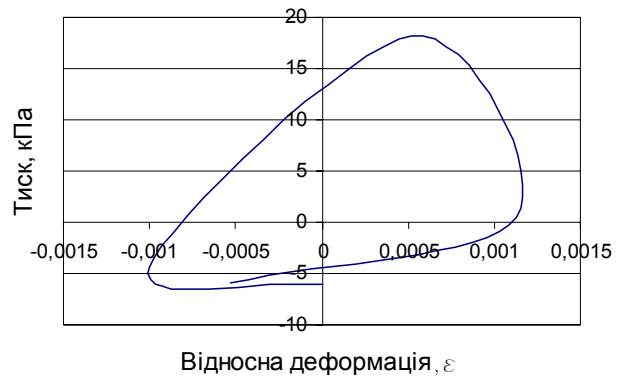


Рис. 8. Динамічна петля гістерезису в кінці циклу ущільнення

Основні параметри середовища розраховані згідно методики [2, 5]. Результати розрахунків занесені до таблиці 2.

Таблиця 2. Основні параметри середовища

Стадія ущільнення	Параметри				
	ΔW , Дж/м ³	E, МПа	c, м/с	W, Дж/м ³	C, Н/м
Початкова	58,1	21,1	91,8	9,1	$1,66 \cdot 10^6$
Кінцева	29,2	32	113,2	4,9	$2,52 \cdot 10^6$

На даному етапі експериментальних досліджень був встановлений характер взаємодії робочого органу ударно-вібраційної машини з оброблюваним середовищем. Результати досліджень дають підстави стверджувати, що інерційні сили є основною складовою у створенні напружено-деформованого стану середовища. Повний цикл ущільнення за характером та величиною зміни тиску умовно можна розділити на дві стадії: значним наростанням величини тиску в початковий момент, що складає приблизно четверту частину циклу, та стабілізацію режиму з поступовим розширенням спектру коливань середовища. Характер зміни напружено-деформованого стану дозволяє апроксимувати бетонну суміш в процесі формування пружно-в'язко-пластичним тілом. Знайдені величини зміни тиску та переміщення при віброущільненні. Отримані параметри дають можливість побудови фізичної та математичної моделі середовища для оцінки його впливу на динаміку руху віброплощинки.

Література

1. 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.
2. Назаренко И.И Теория и принципы создания виброуплотняющих машин на основе синтеза гибридных динамических систем. – Дис. докт. техн. наук. – М., 1989.
3. 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.
4. Баранов Ю.О Создание строительных ударно-вибрационных машин с электромагнитным приводом. – Дис. канд. техн. наук. – К., 1994. – 150 с.
5. Баранов Ю.О, Клименко М.О, Басараб В.А Методика експериментальних досліджень взаємодії середовища з робочим органом ударно-вібраційної площадки// Техніка будівництва. – 2003. – №11. – С. 24-28.