

10. Андронов В.А. Эффективность использования вибропоглощающего полимерного покрытия для снижения локальной вибрации / В.А. Андронов, Ю.М. Данченко, А.В. Скрипинец, О.М. Бухман // Научный вестник НГУ. – 2013. - №6(138). – С.85-91.

11. Андронов В.А. Полімерна композиція з комплексним наповнювачем для віброзахисту пневматичного ручного інструменту / В.А. Андронов, Ю.М. Данченко, А.В. Скрипинец, О.М. Бухман // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2015. – Вып.83 – С.12-22.

УДК 666.97.003.16

**Нестеренко М.П.**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛИВАНЬ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТІНОК ФОРМИ НА УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАННЯХ ВІБРАЦІЙНОЇ ПЛОЩАДКИ**

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Досить широкого розповсюдження при формуванні залізобетонних виробів набуло розроблене у ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка вібраційне обладнання з просторовими коливаннями робочого органа [1], удосконалення котрого може проводитися на підставі аналітичних досліджень з урахуванням фізико-механічних характеристик ущільнюваного середовища і визначенням на їхній основі раціональних параметрів вібраційної площадки та її динамічних характеристик.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми.** У розрахунках вібраційного обладнання для формування залізобетонних виробів використовуються різні підходи до складення математичних моделей, про що свідчать публікації різних років. Відомі математичні моделі можна умовно розподілити на дві групи: плоскі динамічні моделі руху робочого органа, що розглядають рух у вертикальній або горизонтальній площині [2 – 7], та просторові, які розглядають рух робочого органа у просторі [8 – 9].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** У «плоских» математичних моделях розглядається вплив бетонної суміші на поглинання енергії з урахуванням її реологічних

властивостей. У математичних моделях вібраційних машин із просторовими коливаннями робочого органа бетонна суміш враховується у вигляді твердого тіла як приєднана маса до коливальної системи. Але у реальних віброплощадках із просторовими коливаннями робочого органа частина енергії витрачається на тертя бетонної суміші по піддону форми, інша частина поглинається бетонною сумішшю при її ущільненні. Раціональні параметри віброплощадки можна встановити шляхом визначення енергетичних витрат на основі вивчення закону руху даної динамічної системи, включаючи рух як рухомої рами віброплощадки, днища форми та її торців, так і рух ущільнюваного середовища у горизонтальному напрямку

**Метою даної роботи** є проведення аналітичних досліджень впливу коливань вертикальних стінок форми на ущільнення бетонної суміші при просторових коливаннях на основі динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище», що дозволить урахувати фізико-механічні характеристики ущільнюваного середовища і визначити раціональні динамічні параметри вібраційної площадки.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для визначення характеру впливу коливань вертикальних стінок форми на ущільнення бетонної суміші при просторових коливаннях досліджуємо динамічну систему «віброплощадка – бе-

тонне середовище», у котрому ущільнювана суміш представлена у вигляді системи з розподіленими параметрами.

Приймаємо розрахункову схему (рис. 1), у котрій рухома рама 1 віброплощадки встановлена на пружні опори 2, закріплені на фундаменті 3 симетрично до вертикальної осі Z. Віброзбуджувач кругових коливань 4 уставлено в центральному вікні рухомої рами таким чином, що вісь обертання його дебалансу 5 нахилена до вертикалі на кут, а площина 11 дії вимушуючої сили  $\Phi$  перпендикулярна до осі обертання дебалансу і проходить через точку O, відповідну положенню ц.м. коливальної системи. Електродвигун 6, установлений на піддвигуневій рамі 7, приводить в обертання дебаланс 5 через клинопасову передачу 8. Форма 9, заповнена ущільнюваною бетонною сумішшю, встановлюється на рухому раму 1 між жорсткими клиновими упорами 10.

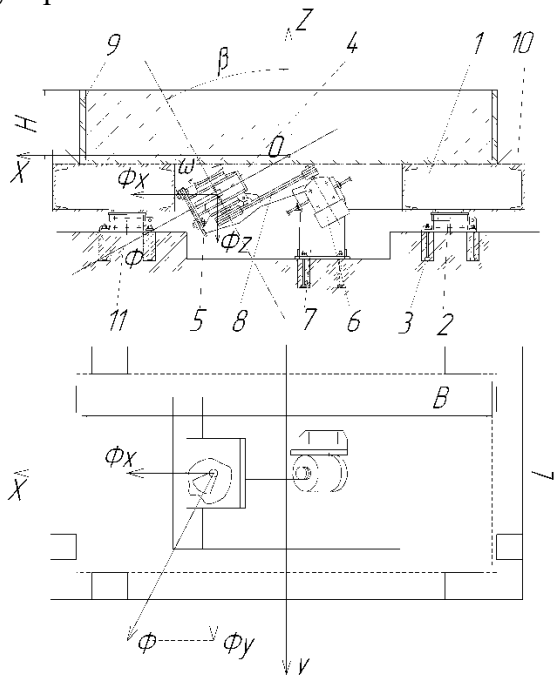


Рис. 1. Розрахункова схема динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище»: 1 – рухома рама віброплощадки; 2 – пружна опора; 3 – фундамент; 4 – віброзбуджувач; 5 – дебаланс; 6 – електродвигун; 7 – піддвигунева рама; 8 – клинопасова передача; 9 – форма із бетонною сумішшю; 10 – клиновий упор; 11 – площина обертання дебалансу

При обертанні дебалансу виникає вимушуюча відцентрова сила кругової дії  $\Phi$ , вектор якої обертається у площині 11 із кутовою швидкістю  $\omega$ . Складові сили  $\Phi$  по осях прямокутної системи координат OXYZ початком в ц. м. O, рівні

$$\Phi_x = \Phi \cos \beta \cos \omega t; \quad \Phi_y = \Phi \sin \omega t;$$

$$\Phi_z = \Phi \sin \beta \cos \omega t,$$

збуджують трикомпонентні просторові коливання рухомої рами 1 і встановленої на ній форми 9, які її днищем та бортами передаються бетонній суміші, забезпечуючи її ущільнення.

Оскільки на ущільнення бетонної суміші від вертикальних стінок суттєво не впливають вертикальні складові коливань, то коливальну систему спростимо й умовно розглянемо процес ущільнення бетонної суміші від нормальних горизонтально направлених коливань  $\Phi_y = \Phi \sin \omega t$ .

При вивченні взаємодії бетонної суміші з вертикальними стінками форми у радіальному напрямі умовно не враховуватимемо дію сил тертя бетонної суміші по днищу форми. Тоді диференціальне рівняння руху ущільнюваної суміші у напрямі координати Y за час t матиме вигляд

$$E \frac{\partial^2 u}{\partial u^2} + \xi \frac{\partial u(y, t)}{\partial y} = \rho \frac{\partial^2 u(y, t)}{\partial t^2}, \quad (1)$$

де  $u$  і  $y$  – Ейлерова й Лагранжева координати;  $E$  – динамічний модуль пружної деформації ущільнюваної бетонної суміші;  $\xi$  – коефіцієнт опору, що враховує зчеплення і внутрішнє тертя бетонної суміші, а також витрати енергії на переорієнтацію частинок та інші явища в бетонній суміші, що супроводжують вібраційне ущільнення.

Значення динамічного модуля пружної деформації ущільнюваної бетонної суміші  $E$  залежно від її консистенції, густини і відносної пластичної деформації можуть бути представлені у вигляді показникової функції

$$E = E_0 \exp(kS^n),$$

де  $E_0$  – динамічний модуль пружної деформації неущільненого бетонного шару су-

міші при густині  $\rho_0$ , значення  $E_0$  для різних консистенцій бетонних сумішей наведені в роботі [4];  $S$  – коефіцієнт відносної пластичної деформації  $S = \varepsilon / \varepsilon_k$ ;  $\varepsilon$  – величина відносної пластичної деформації при поточному значенні густини  $\rho$ ,  $\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho}$ ;  $\varepsilon_k$  – максимальна величина відносної пластичної деформації при остаточному значенні густини  $\rho_k$ ,  $\varepsilon_k = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_k}$ ;

$\rho_0$  – густина шару суміші в неущільненому стані;  $k$  і  $n$  – коефіцієнти, визначувані дослідним шляхом, для важких бетонних сумішей різної консистенції з водоцементним відношенням В/Ц = 0,4 – 0,48 і В/Ц = 0,57 – 0,69:  $k = 1,61$  та  $n = 1,4$ .

Рішення хвильового рівняння коливань (1) відшукуватимемо за таких граничних умов:

$$-m \frac{\partial^2 u(0,t)}{\partial t^2} - c_2 u(0,t) + EF_1 \frac{\partial u(0,t)}{\partial y} + \xi F_1 u(0,t) = -\Phi_y \sin(\omega t); \quad (2)$$

$$u(0,t) = u(L,t), \quad (3)$$

де  $F_1$  – площа поверхні однієї вертикальної стінки, що контактує із бетонною сумішшю;  $L$  – відстань між вертикальними стінками форми (ширина оброблюваного шару);  $c_2$  – жорсткість пружних опор у горизонтальному напрямку.

Для розв’язання рівняння (1) представимо функцію  $u(y,t)$  у вигляді

$$u(y,t) = \frac{\Phi e^{-\delta_1 y} \{e^{\delta_1 L} \sin k_1 y + \sin[k_1(L-y)]\}}{(c_2 - m\omega^2 - 0,5\xi F_1) \sin k_1 L - EF_1 k_1 (e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L)} \sin \omega t. \quad (10)$$

Знайдене рішення (10) рівняння (1) описує закон руху даної динамічної системи «віброустановка – ущільнюване середовище». При значеннях координати  $y$ ,

$$u(0,t) = u(L,t) = \frac{\Phi}{(c_2 - m\omega^2) - F_1 \left( 0,5\xi + Ek_1 \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L} \right)} \sin \omega t. \quad (11)$$

$$u(y,t) = U(y) \sin \omega t, \quad (4)$$

де  $U(y)$  – комплексна амплітуда коливань, яка визначається з граничних умов (2) і (3).

Підставляючи вираз (4) у рівняння (1), отримаємо

$$\frac{\partial^2 u(y)}{\partial y^2} + 2\delta_1 \frac{\partial U(y)}{\partial y} + k^2 U(y) = 0. \quad (5)$$

Підставляючи розв’язок рівняння (5) у вираз (4), одержимо залежність для визначення функції  $u(y,t)$  у такому вигляді:

$$U(y,t) = e^{-\delta_1 y} (M \sin k_1 y + N \cos k_1 y) \sin \omega t, \quad (6)$$

де  $M$  і  $N$  – постійні інтегрування, які визначаються з граничних умов (2) та (3).

Підставляючи отриманий вираз (6) у граничну умову (3), знайдемо співвідношення між постійними інтегрування  $M$  і  $N$

$$M = N \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L}. \quad (7)$$

Підставляючи залежність (7) у вираз (6), одержимо розв’язок рівняння (1) у такому вигляді:

$$u(y,t) = N e^{-\delta_1 y} \frac{\sin k_1 y + \sin[k_1(L-y)]}{\sin k_1 L} \sin \omega t. \quad (8)$$

Для визначення постійної інтегрування  $N$  підставимо вираз (8) у граничну умову (3). Отримаємо

$$N = \frac{\Phi \sin k_1 L}{(c_2 - m\omega^2 - 0,5\xi F_1) \sin k_1 L - EF_1 k_1 (e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L)}. \quad (9)$$

Підставляючи одержане значення постійної інтегрування  $N$  у вираз (8), отримаємо шуканий розв’язок рівняння (1), що задовольняє граничні умови (2) і (3),

що знаходяться в діапазоні  $0 \leq y \leq L$ , вираз (10) описує закон руху ущільнюваного середовища, а при  $y = 0$  і  $y = L$  цей вираз описує рух внутрішньої та зовнішньої опалубки віброустановки, тобто

З аналізу отриманого частинного розв'язку (11) рівняння (1) виходить, що вираз  $F_1 \left( 0,5\xi + Ek_1 \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L} \right)$  можна

подати у вигляді сили інерції бетонної суміші, що взаємодіє з вертикальними стінками форми при горизонтально направлених коливаннях. Звідси витікає, що бетонну суміш, яка взаємодіє з вертикальними стінками форми при горизонтально направлених коливаннях, можна представити у вигляді приведенної маси  $m_{np2}$ , тобто

$$m_{np2} = F_1 \left( 0,5\xi + Ek_1 \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L} \right) \frac{1}{\omega^2}. \quad (12)$$

Величина питомої приведенної маси бетонної суміші, що взаємодіє з вертикальними стінками форми при горизонтально направлених коливаннях, визначається з виразу (12)

$$m_{y2} = m_{np} / F_1 = \left( \begin{matrix} 0,5\xi + \\ + Ek_1 \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L} \end{matrix} \right) \frac{1}{\omega^2}. \quad (13)$$

$$\sigma_2(y,t) = \frac{\Phi}{(c_2 - m\omega^2 - 0,5\xi F_1) \sin k_1 L - EF_1 k_1 (e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L)} \times \langle k_1 E \{ e^{\delta_1(L-y)} \cos k_1 y - e^{-\delta_1 y} \cos [k_1(L-y)] \} + 0,5\xi \{ e^{\delta_1(L-y)} \sin k_1 y - e^{-\delta_1 y} \sin [k_1(L-y)] \} \rangle \sin \omega t. \quad (15)$$

Отримана залежність (15) дозволяє визначити напруження в суміші залежно від координати  $y$  по всій довжині ущільнюваного шару.

Напруження  $\sigma(0,t)$ , що виникають в ущільнюваному шарі бетонної суміші біля стінок форми, визначаються з виразу (15)

$$\sigma_2(0,t) = \Phi \frac{0,5\xi + Ek_1 \frac{e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L}{\sin k_1 L}}{c_2 - (m + m_{2np})\omega^2} \sin \omega t. \quad (16)$$

Коефіцієнт опору  $\xi$ , який використовується у рівнянні (11) і далі по тексту, для випадку взаємодії бетонної суміші з протилежними вертикальними стінками можна визначити з формули (3) з урахуванням поправкового коефіцієнта  $K_p = 0,5$ , тобто

$$\xi = K_p a p \omega. \quad (17)$$

З урахуванням виразу (12) розв'язок (11) можна подати у такому вигляді:

$$u(0,t) = u(L,t) = \frac{Q}{c_2 - (m + m_{2np})\omega^2} \sin \omega t. \quad (14)$$

Значення приведенної маси ущільнюваного середовища, що взаємодіє з горизонтальними стінками форми при горизонтально направлених коливаннях  $m_{np2}$ , істотно залежать від динамічного модуля пружної деформації  $E$  і коефіцієнта опору  $\xi$  ущільнюваної бетонної суміші, її густини  $\rho$ , фазової швидкості розповсюдження вимушуючої сили в ущільнюваному шарі  $a$ , кутової частоти коливань  $\omega$ , відстані між стінками форми  $L$  і площі поверхні однієї з вертикальних стінок  $F_1$ .

Підставляючи залежність (10) у вираз (1), знайдемо величину напружень, що виникають в ущільнюваному шарі бетонної суміші при її взаємодії з вертикальними стінками форми при горизонтально направлених коливаннях,

Виведена залежність (10) описує закон руху даної динамічної системи, включаючи рух як опалубки віброустановки, днища форми, так і рух ущільнюваного середовища в горизонтальному напрямку. При значеннях  $y = 0$  і  $y = L$  ця залежність перетвориться у вираз (14), який описує рух форми залежно від параметрів віброустановки, фізико-механічних характеристик ущільнюваного шару бетонної суміші й відстані між стінками форми  $L$ .

#### Висновки:

1. Отримані теоретичні залежності дозволяють врахувати фізико-механічні характеристики ущільнюваного середовища і визначити раціональні параметри та динамічні характеристики вібраційної установки, при яких забезпечується ефективне ущільнення бетонних сумішей.

2. Вирази (10) – (16) дозволяють визначити закон руху динамічної системи і фізико-механічні характеристики бетонної суміші, котрі можуть бути використані при дослідженні складних динамічних систем із просторовими коливаннями і при ущільненні залізобетонних виробів зі.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Нестеренко М. П. Вібраційні площадки з просторовими коливаннями для виготовлення залізобетонних виробів широкої номенклатури / М.П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 16. – С. 177–181.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона / Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. – 160 с.
4. Десов А.Е. Вибрированный бетон. – М.: Госстройиздат, 1956. – 230 с.
5. Гольдштейн Б.Г. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона / Б.Г. Гольдштейн, Л.П. Петрунькин. – М.: Машиностроение, 1966. – 169 с.
6. Овчинников П. Ф. Виброреология. / П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка, 1983. – 272 с.
7. Сивко В. И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси / В. И. Сивко. – К.: Высш. шк., 1987. – 168 с.
8. Олехнович К.А. Исследования характера многокомпонентных колебаний малочисленных виброплощадок / К.А. Олехнович, Ю.И. Виноградов. – Полтава: ПИСИ, 1980. – 13 с.
9. Орисенко О.В. Дослідження просторового руху робочого органа вібраційної машини для формування трубчастих залізобетонних виробів / О.В. Орисенко, М.П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2000. – Вип. 6, частина 1. – С.172–175.

УДК 69.003

**Гольтерова Т.А., Обухова Н.В.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

### ВИЗНАЧЕННЯ ВАРТОСТІ БУДІВНИЦТВА ЗА УКРУПНЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Враховуючи обраний Україною курс на інтеграцію в європейське співтовариство потрібно коригування чинних національних і підготовка нових нормативних правових документів, що регламентують порядок формування цін у будівництві, укрупнених нормативів вартості будівельної продукції, формування банку даних щодо вартості об'єктів-аналогів на міжнародному рівні, розроблення підприємними організаціями своїх власних норм витрат матеріальних, трудових та інших видів ресурсів при виконанні одиниці будівельних робіт.

Основним напрямком інтегрування національних систем ціноутворення у будівництві буде удосконалювання механізму формування договірної (контрактної) ціни за результатами підприємних торгів з

використанням інноваційних методів визначення вартості будівництва на різних стадіях інвестиційно-будівельного процесу з урахуванням інтересів як замовника, так і підприємця [2].

На передінвестиційній стадії передбачається здійснення попередньої оцінки вартості інвестиційного проекту. З огляду на відсутність проектно-кошторисної документації, на цьому етапі вартість будівництва можна визначати за допомогою укрупнених показників.

Крім того, у випадку проведення підприємних торгів за відсутності проектно-кошторисної документації, методи укрупнених показників є єдино можливими при формуванні ринкової вартості будівельної продукції як замовником, так і підприємцем.