

УДК 666.97.003.16

Нестеренко М.П., Нестеренко Т.М., Педь Д.С., Скляренко Т.О.
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛИВАНЬ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТІНОК ФОРМИ НА УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ КОЛИВАННЯХ ВІБРОПЛОЩАДКИ

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 якого може проводитися на підставі аналітичних досліджень з урахуванням фізико-механічних характеристик середовища, що ущільнюється і визначенням на їхній основі раціональних параметрів вібраційної площадки та режимів вібрації.

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 [8-9].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У «плоских» математичних моделях [2-7] розглядається вплив бетонної суміші на поглинання енергії з урахуванням її реологічних властивостей. У математичних моделях вібраційних машин із просторовими коливаннями робочого органа [8-9] бетонна суміш враховується у вигляді твердого тіла як приєднана маса до коливальної системи. Але у реальних віброплощадок 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 [10] на основі вивчення закону руху даної динамічної системи, включаючи рух як рухомої рами віброплощадки, днища форми та її торців, так і рух середовища, що ущільнюється у горизонтальному напрямку.

Метою даної роботи є проведення аналітичних досліджень характеру взаємодії вертикальних стінок форми з бетонною сумішшю при дії просторових коливань на основі динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище», які дозволять урахувати фізико-механічні характеристики ущільнюваного середовища і визначити раціональні параметри вібраційної площадки та режими вібраційної дії, при яких забезпечується ефективно ущільнення бетонних сумішей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення характеру взаємодії вертикальних стінок форми з бетонною сумішшю при дії просторових коливань досліджуємо динамічну систему «віброплощадка – бетонне середовище», у котрому бетонна 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 усталено в центральному вікні рухомої рами таким чином, що вісь обертання його дебалансу 5 нахилена до вертикалі на кут β , а площина 11 дії вимушуючої сили Φ 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.

При обертанні дебаланса виникає вимушуюча відцентрова сила кругової дії Φ , вектор якої обертається у площині 11 із кутовою швидкістю ω .

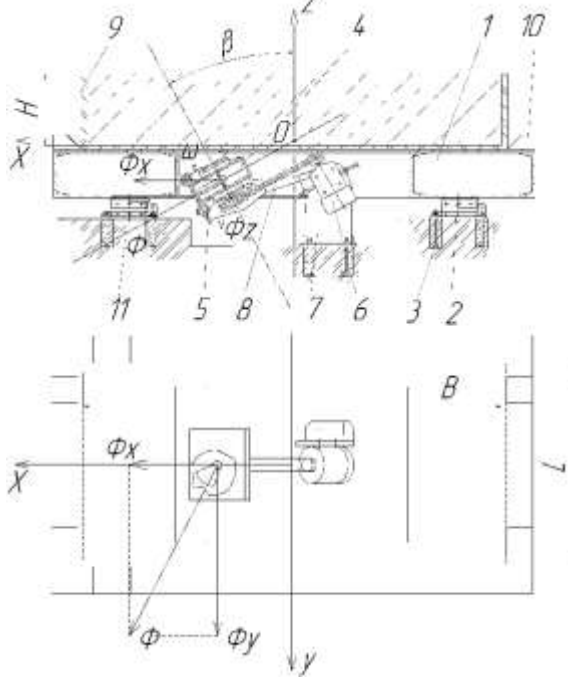


Рис. 1. Розрахункова схема динамічної системи «віброплощадка – бетонне середовище»: 1 – рухома рама віброплощадки; 2 – пружна опора; 3 – фундамент; 4 – віброзбуджувач; 5 – дебаланс; 6 – електродвигун; 7 – піддвигунова рама; 8 – клинопасова передача; 9 – форма із бетонною сумішшю; 10 – клиновий упор;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

Складові сили Φ по осях прямокутної системи координат $OXYZ$ з початком в ц. м. O , рівні $\Phi_x = \Phi \cos \beta \cos \omega t$; $\Phi_y = \Phi \sin \omega t$; $\Phi_z = \Phi \sin \beta \cos \omega t$, 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 умовно не враховуватимемо дію сил тертя бетонної суміші по днищу форми. Тоді рівняння її руху у напрямі координати Y за час t матиме вигляд

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

де u і y – Ейлерова й Лагранжева координати; E – динамічний модуль пружної деформації бетонної суміші; ξ – 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 суміші при густині ρ_0 , значення E_0 для різних консистенцій бетонних сумішей наведені в роботі [4]; S – коефіцієнт відносної пластичної деформації $S = \varepsilon / \varepsilon_k$; ε – величина відносної пластичної деформації при поточному значенні густини ρ , $\varepsilon = (\rho - \rho_0) / \rho$; ε_k – максимальна величина відносної пластичної деформації при остаточному значенні густини ρ_k , $\varepsilon_k = (\rho - \rho_0) / \rho_k$; ρ_0 – густина шару суміші в не ущільненому стані; k і n – коефіцієнти, що визначаються дослідним шляхом.

Розв'язок 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 (ширина оброблюваного шару); c_2 – жорсткість пружних опор у горизонтальному напрямку.

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

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

де $U(y)$ – комплексна амплітуда коливань.

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).

$$u(y, t) = \frac{\Phi e^{-\delta_1 y} \{e^{\delta_1 L} \sin k_1 y + \sin[k_1(L - y)]\}}{(c_2 - m\omega^2 - 0,5\xi F_1) \sin k_1 L - EF_1 k_1 (e^{\delta_1} - \cos k_1 L)_1} \sin \omega t. \quad (10)$$

Знайдений розв’язок (10) рівняння (1) описує закон руху даної динамічної системи «віброплощадка – ущільнюване середовище».

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

$$\sigma_x(y, t) = \frac{\Phi}{(c_2 - m\omega^2 - 0,5\xi F_1) \sin k_1 L - EF_1 k_1 (e^{\delta_1 L} - \cos k_1 L)} \times \{k_1 E \{e^{\delta_1(L-y)} \cos k_1 y - e^{-\delta_1 y} \cos[k_1(L-y)]\} + 0,5\xi \{e^{\delta_1(L-y)} \sin k_1 y - e^{-\delta_1 y} \sin[k_1(L-y)]\}\} \sin \omega t. \quad (11)$$

Отримана залежність (11) дозволяє визначити напруження в суміші залежно від координати у по всій довжині шару бетонної суміші.

Висновки

1. Отримані теоретичні залежності дозволяють достатньо точно врахувати фізико-механічні характеристики середовища, що ущільнюється і визначити раціональні параметри вібраційної площадки

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 N у вираз (8), отримаємо шуканий розв’язок рівняння (1), що задовольняє граничні умови (2) і (3),

та режими вібрації, при яких забезпечується ефективно ущільнення бетонних сумішей.

2. Вирази (10) – (11) дозволяють визначити закон руху динамічної системи і фізико-механічні характеристики бетонної суміші, котрі можуть бути використані при дослідженні складних динамічних систем із просторовими коливаннями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Нестеренко М.П. Прогресивний розвиток вібраційних установок з просторовими коливаннями для формування залізобетонних виробів // М.П. Нестеренко // Academic Journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – 2017. – № 44, т. 2. – С. 16–23.
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. Нестеренко М.П. Дослідження математичної моделі коливань вібраційної установки для формування залізобетонних виробів у режимі холостого ходу / М.П. Нестеренко, Д.С. Педь, Т.М. Нестеренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА-ХОТВ АБУ, 2016. – № 86 (4). – С. 181–185.
9. Молчанов П.О. Вивчення коливань активного робочого органа вібраційної касетної установки та їх динамічних характеристик / П.О. Молчанов, М.П. Нестеренко, В.М. Чередніков // Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава: ПолтНТУ, 2013. – № 36 (1), т. 2. – С. 27–38.
10. Назаренко І.І. Методика досліджень загальної динамічної моделі «технологічна машина для будівельної індустрії – оброблюване середовище» / І.І. Назаренко, М.П. Нестеренко // Техніка будівництва. К.: КНУБА-АБУ, 2015. – № 34. – С. 4–11.

Рецензент: д-р техн. наук І.А. Смельянова

УДК 666.97.033

Нестеренко М.М., Нестеренко Т.М., Магас Н.М.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ УДАРНО-ВІБРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ В УКРАЇНІ

Вступ. Наведені у працях [1–2] данні свідчать про потребу енергоефективної реконструкції житлових будинків в Україні. Дві третини житлового фонду України побудовано до 70-х років минулого століття, огорожувальні конструкції якого спроектовані і побудовані без урахування енергоефективності, що призводить до надмірних втрат тепла та порушення температурно-вологісного режиму в приміщеннях і викликають прискорене руйнування несучих конструкцій. Підвищення рівня енергоефективності будівель, відповідно до європейських норм, в останні роки стало одним із основних напрямків розвитку будівельної індустрії.

Сучасний ринок утеплювачів насичений штучними матеріалами, які широко розрекламовані як найкращі рішення. Але основна перевага штучних матеріалів – простота їх встановлення. Нажаль, дуже часто вони є небезпечними для здоров'я і довкілля. Головною перевагою природних матеріалів перед штучними, звісно, є їх

безпека для здоров'я та природи. Але крім неї є і практична вигода: більшість природних матеріалів, на відміну від штучних, стійкі до багаторазового намокання/висихання. Наприклад, змокла мінеральна вата назавжди зменшується в об'ємі. Природні утеплювачі здатні добре виводити вологу з приміщення, тому не доведеться думати про додаткову вентиляцію [3].

Серед можливих варіантів теплоізоляційних матеріалів, на нашу думку, які найкращим чином підходять для нових стінових конструкцій та утеплення існуючих є полістиролбетон, керамзитобетон і арболіт. Утеплення стін може здійснюватися як шляхом облаштування зовнішньої сайдинг-опалубки та монолічення, так і теплоізоляційними панелями з зовнішнім облицюванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для створення теплоізоляційних панелей із полістиролбетону, керамзитобетону та арболіту потрібно підібрати або