

УСТАНОВКА ІЗ ВІБРАЦІЙНИМ ГІДРОПРИВОДОМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОНУ

О.В. Березюк, С.Б. Сторожук

Розробка та удосконалення способів ущільнення бетонних сумішей є одним із головних напрямків у технології виготовлення бетону, оскільки на цьому етапі виробництва створюється необхідна структура бетону, забезпечуються його необхідні щільність, однорідність та якість виробу [1, 2]. Найбільш поширеним із відомих є вібраційний спосіб формування бетонних виробів.

Особливості вібраційного ущільнення бетону

Від якості укладання бетону багато в чому залежить його міцність, а значить і довговічність споруд. Якість укладання, у свою чергу, залежить від зручності формування бетонної суміші, яка регулюється кількістю води в бетонній суміші і внутрішнім тертям. Щоб не вводити в бетонну суміш надлишок води, треба розрідити суміш у момент укладання. Із багатьох існуючих способів найефективнішим виявився вібраційний, що зменшує внутрішнє тертя бетонної суміші. Це обумовлено тим, що поверхні заповнювачів торкаються одна з одною. При перемішуванні вони труться між собою і чим більше поверхонь тертя, тим більший загальний коефіцієнт внутрішнього тертя. Вібрація ж бетонної суміші дозволяє зменшити або знищити ці контакти і ослабити внутрішнє тертя. Тобто, вібрація розріджуючи бетонну суміш надає їй здатність легко заповнювати форми і видавлювати повітря, що в ній міститься.

Бетон як і більша частина будівельних матеріалів не має границі пропорційності, і для них виконується степеневий закон пружного стиснення:

$$\varepsilon = \frac{\sigma^n}{E},$$

де ε – відносна деформація;
 σ – напруження стиснення;
 E – модуль пружності;
 n – емпіричний коефіцієнт (для бетону $n > 1$).

Тому, на наш погляд, дослідження процесу вібраційного ущільнення бетону є актуальною проблемою.

Дослідження процесів ущільнення бетону на основі установки із вібраційним гідроприводом

Для дослідження ущільнюваності бетону в НДЛ гідродинаміки ВНТУ спроектовано та виготовлено випробувальну установку для їх вібраційного ущільнення з використанням відповідної реєструючої та вимірювальної апаратури. Схема цієї установки наведена на рис. 1.

Випробувальна установка для вібраційного ущільнення бетону складається з гідронасоса 13 типу НШ-10 ГОСТ 8753-80, запобіжного клапана 8 (20-200-2 ГОСТ 21148-75), манометра 3 (ОБМГн1-160 ГОСТ 8625-65), гідророзподільника 11 (346-ЗКССССССС3), гідроліній, маслобака 9. Головними вузлами установки є двокаскадний генератор імпульсів тиску (ГІТ) 10, силовий гідроциліндр 7.

Установка працює так. При витягнутому бункері 5, з піднятою у вихідне положення плитою ущільнення 4, в бункер 5 завантажуються бетон 14, після чого бункер 5 повертається у початкове положення. Через гідроциліндр 7 у рух приводиться плита ущільнення 4, яка здійснює ущільнення бетону 14. При цьому фіксуються покази давача переміщень 2 та давача тиску 6. Подача робочої рідини до виконавчих органів віброустановки здійснюється від насосної станції, у склад якої входять гідронасос 13, маслобак 9, запобіжний клапан 8, фільтр 15.

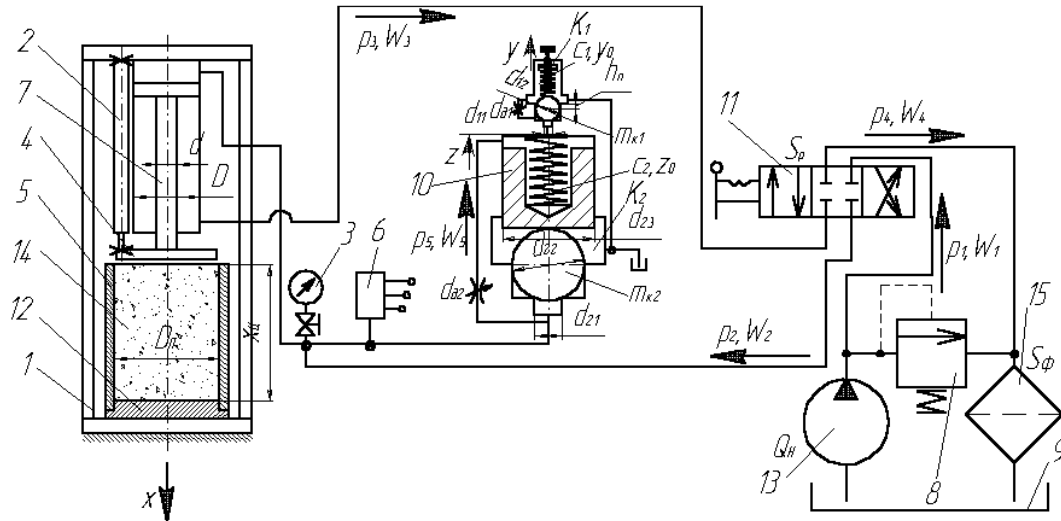


Рис. 1. Розрахункова схема випробувальної установки для ущільнення бетону

Запис зміни тиску в напірній магістралі гідроциліндра та величини переміщення плити ущільнення проводиться за допомогою давачів тиску 6 та переміщення 2 з подальшою реєстрацією на шлейфовому осцилографі та комп'ютері через звуковий адаптер.

Установка дозволяє проводити запис режимів роботи при зміні основних параметрів вібрації:

1. Частоти коливань – зміною подачі насоса шляхом зміни числа обертів асинхронного електродвигуна за допомогою перетворювача частоти струму Altivar 28 (№ ATV28HV29N4).

2. Амплітуди коливань – зміною тиску відкриття клапана ГТТ шляхом зміни сили затяжки пружини ГТТ.

Теоретично описати процес вібраційного ущільнення бетону можна за допомогою математичної моделі, яка складається із системи диференціальних рівнянь (1-8) з відповідними граничними умовами (9):

$$Q_H = \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{PP}}} + \sigma(p_1 - p_2) + KW_1 \dot{p}_1; \quad (1)$$

$$\mu S_P \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{PP}}} = \dot{x} \frac{\pi D^2}{4} + \sigma(p_2 - p_3) + KW_2 \dot{p}_2 + \dot{z} \pi \frac{d_{23}^2}{4} + \mu \pi \frac{d_{12}^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_5)}{\rho_{PP}}} + \mu \pi d_{22} z \sqrt{\frac{2p_2}{\rho_{PP}}}; \quad (2)$$

$$\dot{x} \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \mu S_P \sqrt{\frac{2(p_3 - p_4)}{\rho_{PP}}} + \sigma(p_3 - p_4) + KW_3 \dot{p}_3; \quad (3)$$

$$\mu S_P \sqrt{\frac{2(p_3 - p_4)}{\rho_{PP}}} = k_\phi \frac{p_4}{\mu_\Delta} S_\phi + \sigma p_4 + KW_4 \dot{p}_4; \quad (4)$$

$$\dot{z} \pi \frac{d_{23}^2}{4} + \mu \pi \frac{d_{12}^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_5)}{\rho_{PP}}} = \dot{y} \pi \frac{d_{13}^2}{4} + \sigma p_5 + KW_5 \dot{p}_5 + \mathbf{1}(y - h_n) \mu \pi d_{12} (y - h_n) \sqrt{\frac{2p_5}{\rho_{PP}}} + \mathbf{1}(y) \mu \pi \frac{d_{11}^2}{4} \sqrt{\frac{2p_5}{\rho_{PP}}}; \quad (5)$$

$$p_2 \frac{\pi D^2}{4} - p_3 \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = m_p \ddot{x} + \pi DL \frac{\nu \rho}{\Delta} \dot{x} + \sqrt{\frac{x}{x_{II}}} E \frac{\pi D_{II}^2}{4}; \quad (6)$$

$$p_2 \left[\mathbf{1}(y) \frac{\pi(d_{12}^2 - d_{11}^2)}{4} + \frac{\pi d_{11}^2}{4} \right] = m_{\kappa 1} \ddot{y} + \frac{8\pi d_{12}^2 \nu \rho}{8\Delta_1 + (4 - \pi)d_{12}} (\dot{y})^2 + c_1 (y + y_0); \quad (7)$$

$$p_2 \left[\mathbf{1}(z) \frac{\pi(d_{23}^2 - d_{21}^2)}{4} + \frac{\pi d_{21}^2}{4} \right] - p_5 \frac{\pi d_{23}^2}{4} = m_{\kappa 2} (\ddot{z} + g) + \pi d_{23} L_2 \frac{\nu \rho}{\Delta_2} (\dot{z})^2 + c_2 (z + z_0); \quad (8)$$

$$0 \leq \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\} \leq p_{3к}; \quad 0 \leq x \leq x_{max}; \quad 0 \leq y \leq y_{max}; \quad 0 \leq z \leq z_{max}; \quad (9)$$

При розробці математичної моделі процес вібраційного ущільнення бетону з використанням двокаскадного ГПТ були прийняті такі припущення [3-6]: тиск ущільнення бетону залежить від їх відносної деформації й описується степеневою функцією; рухомі частини робочих органів для ущільнення бетону прийнято за одномасову систему; робоча рідина прийнята стисливою і характеризується коефіцієнтом стисливості K ; коефіцієнт стисливості робочої рідини змінюється несуттєво зі зміною тиску і тому вважається постійним; витрати робочої рідини на перетікання з області високого тиску в область низького тиску прямопропорційно залежать від перепаду тисків на межі цих областей характеризується коефіцієнтом перетікання робочої рідини σ , величина тиску в магістралі між фільтром і маслобаком є незначною і до уваги не приймається; сухе тертя в рухомих елементах гідроциліндра та ГПТ не враховуються через відсутність нормальних зусиль в парах тертя, в яких використано ущільнення зазором.

Основні геометричні, кінематичні та силові параметри математичної моделі представлені на розрахунковій схемі, зображеній на рис. 1: p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 - тиски відповідно на виході насоса, на вході гідроциліндра, на виході гідроциліндра, на вході фільтра та в надклапанній порожнині; W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 - об'єми трубопроводів між насосом та гідророзподільником, гідророзподільником та входом гідроциліндра, виходом гідроциліндра та гідророзподільником, гідророзподільником та фільтром, дроселем 2 та надклапанною порожниною; Q_H - фактична подача насоса; S_F - площа умовного проходу отвору розподільника; S_ϕ - площа поверхні фільтрувального елемента; k_ϕ - питома пропускна спроможність фільтра (на схемі не вказана); μ_0 - коефіцієнт динамічної в'язкості (на схемі не вказаний); D, d - діаметри поршня та штока; L - ширина поршня (на схемі не вказаний); Δ - зазор між поршнем та гільзою гідроциліндра (на схемі не вказаний); x - переміщення плити ущільнення; y - переміщення запірнього елемента 1-го каскаду ГПТ; d_{11} - діаметр прохідного каналу 1-го каскаду ГПТ; d_{12} - діаметр запірнього елемента 1-го каскаду ГПТ; $m_{\kappa 1}$ - маса запірнього елемента 1-го каскаду ГПТ; Δ_1 - зазор між запірнім елементом та корпусом 1-го каскаду ГПТ (на схемі не вказаний); c_1 - жорсткість пружини 1-го каскаду ГПТ; y_0 - попередня деформація пружини 1-го каскаду ГПТ; h_n - додатне перекриття запірнього елемента 1-го каскаду ГПТ, d_{01} - діаметр прохідного вікна дроселя 1-го каскаду ГПТ; z - переміщення запірнього елемента 2-го каскаду ГПТ; d_{21} - діаметр прохідного каналу 2-го каскаду ГПТ; d_{22} - діаметр запірнього елемента 2-го каскаду ГПТ; d_{23} - діаметр плунжера-штовхача 2-го каскаду ГПТ; $m_{\kappa 2}$ - маса запірнього елемента 2-го каскаду ГПТ; Δ_2 - зазор між запірнім елементом та корпусом 2-го каскаду ГПТ (на схемі не вказаний); c_2 - жорсткість пружини 2-го каскаду ГПТ; z_0 - попередня деформація пружини 2-го каскаду ГПТ; d_{02} - діаметр прохідного вікна дроселя 2-го каскаду ГПТ; L_2 - висота запірнього елемента 2-го каскаду ГПТ (на схемі не вказана).

Використання в математичній моделі одиничних функцій $\mathbf{1}()$ дозволяє уникнути розбиття процесу вібраційного ущільнення бетону з використанням двокаскадного ГПТ на окремі фази, що не призводить до її громіздкості.

Система диференціальних рівнянь (1-8) з відповідними граничними умовами (9) є системою нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, яку на наш погляд неможливо розв'язати аналітично. Нелінійність вказаної системи диференціальних рівнянь полягає в тому, що шукані функції $p_1, p_2, p_3, p_4, x, y, z$ та їх похідні, мають цілий ряд нелінійних складових, наприклад, дробових степенів цих функцій. Наявність в вищезгаданих рівняннях логічних функцій, зокрема одиничних функцій, суттєво ускладнює аналітичне їх розв'язання. Ці нелінійні залежності неможливо лінеаризувати відомими класичними математичними методами. Таким чином, нерозв'язність розглядуваних диференціальних рівнянь відносно старших похідних та суттєві нелінійності дозволяють зробити висновок щодо необхідності застосування чисельних методів розв'язання цієї системи диференціальних рівнянь. Для розв'язання цієї системи застосовано чисельний метод Рунге-Кутта-Фельберга з автоматичною зміною кроку інтегрування, який реалізовано на ЕОМ в середовищі програмування Delphi.

При дослідженні чисельні розрахунки проводились з кроком інтегрування $h=10^{-4}$ с і відносною похибкою $\varepsilon=10^{-16}$. Стійкість розв'язку систем диференціальних рівнянь забезпечувалась перевіркою на ідентичність результатів, отриманих при значеннях кроків інтегрування h та половинних кроків інтегрування $h/2$. Результати чисельного дослідження, проведеного для бетону з модулем пружності $E=3 \cdot 10^{10}$ Па, показані на рис. 2.

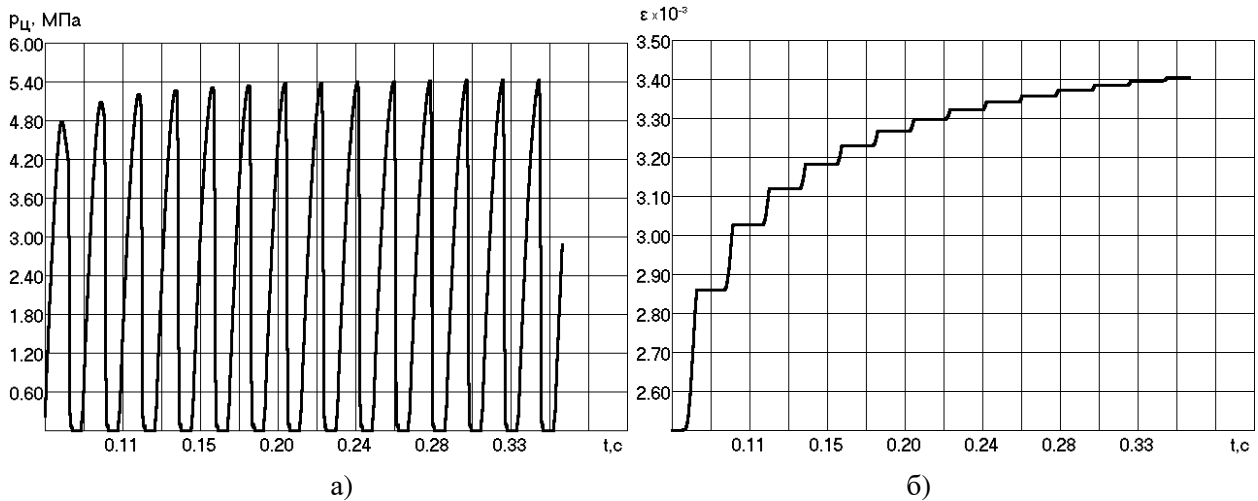


Рис. 2. Результати чисельного дослідження ущільнення бетону:
а) зміна тиску гідроциліндра; б) зміна відносної деформації

Аналіз графіків, представлених на рис. 2, показав, що при вібраційному ущільненні бетону амплітуда коливань робочого органу затухає в процесі ущільнення, що дає змогу визначити необхідну ефективну тривалість ущільнення.

Висновки

- Спроековано та виготовлено випробувальну установку на основі вібраційного гідроприводу з використанням відповідної реєструючої та вимірювальної апаратури, яка дозволяє проводити дослідження вібраційної ущільнюваності бетону.
- Запропоновано та досліджено математичну модель, яка, із врахуванням відповідних припущень, дозволяє теоретично описати процес вібраційного ущільнення бетону.
- Встановлено, що при вібраційному ущільненні бетону амплітуда коливань робочого органу затухає в процесі ущільнення, що дає змогу визначити необхідну ефективну тривалість ущільнення.

Використана література

1. Дудар І.Н., Очеретний В.П., Швець В.В. Залежність міцності бетону від складу і величини тиску пресування // Вісник ВПІ. – Вінниця: ВНТУ, 2003. - №2. – С. 15-18.
2. Стефанов Б.В., Русанова Н.Г., Волянський А.А. Технологія бетонних і железобетонних izdeliy: Учеб. пособ. – К.: Вища школа, 1982. – 406 с.
3. Машиностроительный гидропривод/ Под ред. В.Н. Прокофьева. - М.: Машиностроение, 1978 - 495 с.
4. Коц І.В. Разработка и исследование клапанов-пульсаторов для гидравлических приводов вибрационных горных машин. - Дис... канд. техн. наук: 05.02.03. - Винница, 1994. - 227 с.
5. Березюк О.В. Вібраційний гідропривод плити пресування твердих побутових відходів у сміттєвозах: Дис... канд. техн. наук: 05.02.03. - Вінниця, 2005. - 217 с.
6. Березюк О.В., Сторожук С.Б., Коц І.В. Математичне моделювання вібраційного гідроприводу плити пресування твердих побутових відходів // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2006. - №40 - С. 20-25.

Березюк Олег Володимирович – к.т.н., старший викладач кафедри менеджменту у будівництві, охорони праці та безпеки життєдіяльності, Вінницький технічний національний університет
Сторожук Сергій Болеславович – пошукач кафедри теплогазопостачання, Вінницький технічний національний університет