

УДК 693.546.5

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ БЕТОННОЇ СУМІШІ З ПРЕС-ФОРМОЮ ПІД ЧАС УЩІЛЬНЕННЯ

Г. С. Ратушняк, І. В. Коц, Ю. С. Бікс

Наведено модель для визначення фізико-механічних властивостей бетонних сумішей, що ущільнюються, а саме коефіцієнт бокового тиску при ущільненні бетонної суміші $\xi_{бок}$ та коефіцієнт тертя суміші по боковій поверхні прес-форми $\mu_{мп}$. Отримані аналітичні значення коефіцієнта тертя $\mu_{мп}$ для квадратної, прямокутної та циліндричної прес-форм. Запропонована дослідна прес-форма для визначення експериментальних значень наведеного параметра.

Приведена модель для определения физико-механических свойств бетонных смесей, которые уплотняются, а именно коэффициент бокового давления при уплотнении бетонной смеси $\xi_{бок}$ и коэффициент трения смеси по боковой поверхности пресс-формы $\mu_{мп}$. Получены аналитические значения коэффициента трения $\mu_{мп}$ для квадратной, прямоугольной и цилиндрической пресс-форм. Предложена опытная пресс-форма для определения экспериментальных значений приведенного параметра.

A model for determining the physic-mechanical properties of compressed concrete mixtures, namely the coefficient of lateral pressure during concrete mix compression $\xi_{бок}$ and the mixture friction coefficient on the lateral surface of the mold $\mu_{мп}$ has been shown. The analytical values of the friction coefficient $\mu_{мп}$ for a square, rectangular and cylindrical molds has been obtained. The pilot mold for experimental values' determination of the abovementioned parameter has been proposed.

Вступ

Знання дійсних фізико-механічних властивостей заготовки і матеріалу в процесі вібропресування необхідне з таких причин. По-перше, при проектуванні конструктивні параметри вібропресування для ущільнення матеріалу бетонного виробу розраховують з необхідності досягнення заданого діапазону режимів вібронавантаження. Оскільки матеріал пресованої бетонної суміші при виготовленні бетонних виробів є однією із ланок у ланцюзі динамічної вібропресування, то його властивості (твердість, втрати енергії на тертя між частками матеріалу бетонного виробу та ін.) визначають характер імпульсу тиску і деформації заготовки.

По-друге, дійсні характеристики матеріалу в процесі вібропресування необхідно знати для вибору оптимальних режимів і схеми вібронавантаження з технологічної точки зору, а також для ідентифікації певної моделі пресованого матеріалу і параметрів вібропресування з метою прогнозування результатів вібраційного впливу для будівельних виробів різної форми і розмірів.

Механізм впливу вібрації на бетонну суміш, що ущільнюється, завжди пов'язаний з ефектом зниження сил внутрішнього тертя між частинками матеріалу бетонного виробу і сил тертя матеріалу відносно стінок прес-форми. У результаті цього поліпшується пропресовка бетонного виробу, полегшується можливість переукладання частинок заповнювачів бетону і виходу повітря.

При ущільненні бетонної суміші в процесі виготовлення будівельних виробів досягається максимальна щільність завдяки компактному розташуванню заповнювачів, витісненні повітря та надлишкової води, а також якісному зчепленню заповнювачів цементним тістом [1, 2]. Процес ущільнення складний, а тому не повною мірою піддається точному аналітичному опису та потребує суттєвих затрат енергії, особливо при вібросилової технології формування бетонних виробів [3].

Одним із напрямків для підвищення енергоефективності виготовлення бетонних виробів є вдосконалення технологічного процесу ущільнення суміші шляхом зниження витрат енергії на ущільнення, яка виражається величиною сил тертя відносно прес-форми.

Метою роботи є розроблення математичної моделі взаємодії матеріалу бетонної суміші, що ущільнюється з прес-формою, для визначення сил тертя.

Результати досліджень

Пружні властивості матеріалу характеризуються модулем пружності E , сили внутрішнього тертя – коефіцієнтом бокового тиску $\xi_{бок}$ [4, 5], характер тертя між матеріалом і стінкою прес-форми – коефіцієнтом тертя $\mu_{пр}$.

Відсутність комплексного визначення властивостей матеріалу не дозволяє враховувати вплив окремих факторів. Наприклад, механічна жорсткість бетонної суміші, що ущільнюється, виміряна за умовною лінією розвантаження [4, 5], значною мірою залежить від сил тертя між бетонною заготовкою та прес-формою і тому не може дати точного уявлення про модуль пружності матеріалу.

Схема навантаження бетонної суміші, що ущільнюється, зображена на рис. 1. Суміш розташована в прес-формі і навантажена: зверху зусиллям статичного привантаження P і інерційним привантаженням у вигляді рухомої траверси з тарованим вантажами загальною масою M ; знизу – віброударним впливом з боку вібростола. Показання сенсорів реєструються будь-яким записуючим пристроєм.

Модуль пружності матеріалу E в процесі вібропресування визначається так. Різниця поточних значень переміщень вібростола $z_{cm}(t)$ і поперечини $z_{np}(t)$, що обчислена за показаннями сенсорів переміщення бетонної суміші СБ1 і СБ2, фактично є деформацією заготовки бетонного виробу $\Delta z(t)$

$$\Delta z(t) = z_{cm}(t) - z_{np}(t). \tag{1}$$

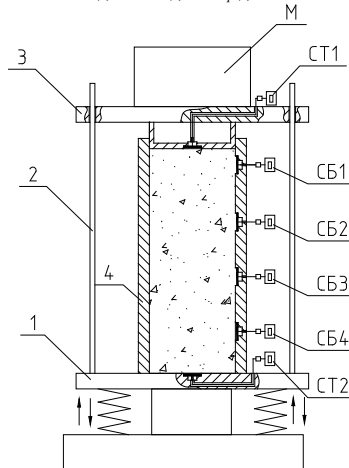


Рис. 1. Схема навантаження при ущільненні бетонної суміші будівельного виробу на віброплощадці, де 1 – віброплощадка, 2 – направляючі гвинти, 3 – поперечина з привантаженням масою M , 4 – корпус прес-форми, СТ1, СТ2 – сенсори торцеві, СБ1...СБ4 – сенсори бокового тиску

З іншого боку, залежність $\Delta z(t)$ є реакцією системи заготовки матеріалу бетонного виробу – поперечина на імпульсний вплив з боку вібростола і носить коливальний характер. Тому жорсткість заготовки $C_{зак}$ в першому наближенні може бути визначена безпосередньо із залежності $\Delta z(t)$, якщо вважати її перехідним процесом в одномасовій системі, згідно з [7].

$$C_{зак} = (\omega^2 + 0,25 \eta^2)M, \tag{2}$$

де ω – частота коливань за залежністю $\Delta z(t)$;

η – коефіцієнт демпфірування;

M – маса рухомої поперечини з тарованими привантаженнями.

Беручи до уваги вираз згідно із законом Гука для стиснення матеріалу в абсолютно жорсткій формі

$$\frac{dP}{dl} = \frac{(1 + \xi_{ai} \epsilon)}{(1 + \xi_{ai} \epsilon - 2\xi_{ai}^2 \epsilon)A}, \tag{3}$$

і враховуючи, що зміна зусилля при вантаженні по висоті прес-форми $dP/dl = C_{за2}$, знаходимо вираз для визначення модуля пружності бетонної суміші в процесі ущільнення [1]

$$\hat{A} = \frac{(1 + \xi_{ai\epsilon})}{(1 + \xi_{ai\epsilon} - 2\xi_{ai\epsilon}^2)\tilde{N}_{\zeta\delta a}}, \quad (4)$$

де коефіцієнт бокового тиску $\xi_{бок}$ визначається як відношення тиску на бокову стінку прес-форми $p_{бок}$ і тиску на торці пуансона p_{mn}

$$\xi_{ai\epsilon} = \frac{\delta_{ai\epsilon}^i}{\delta_{oi}^i}. \quad (5)$$

Для визначення $\xi_{бок}$ можна використати показники сенсорів СБ4 і СТ2. Із умови рівності сил, що діють на заготовку бетонного виробу при ущільненні суміші у вертикальному напрямку при її стисненні, отримуємо

$$p_{oi}^a S_i - \delta_{oi}^i S_i - F_{o\delta} = 0, \quad (6)$$

де p_{oi}^a, δ_{oi}^i – тиск на торцях пуансонів відповідно верхнього і нижнього; $S_i = a^2$, – площа пуансона, де a – бокова сторона квадратної прес-форми, $F_{o\delta}$ – сила тертя між матеріалом бетонного виробу і стінкою прес-форми.

Силу тертя можна подати таким чином:

$$F_{o\delta} = 4\mu_{o\delta} al \int_0^L p_{ai\epsilon}(l) dl, \quad (7)$$

де μ_{mp} – коефіцієнт тертя між матеріалом і стінкою прес-форми; $4al$ – площа розгортки бокової поверхні експериментальної прес-форми; $p_{бок}(l)$ – функція розподілу тиску на стінку по висоті прес-форми; l – проміжне миттєве значення висоти заготовки бетонного виробу.

Закон розподілу тиску $p_{бок}(l)$ може бути отримано апроксимацією показань сенсорів СБ1... СБ4.

Якщо прийняти у першому наближенні випадок лінійного розподілу тиску по висоті прес-форми $p_{ai\epsilon}(h) = p_{oi}^i + Kl$, то вираз (7) набуде вигляду

$$F_{o\delta} = 4\mu_{o\delta} al \frac{(p_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i)}{2} = 2\mu_{o\delta} al (p_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i). \quad (8)$$

Розв'язуючи разом вирази (6) і (7) та враховуючи, що $p_{ai\epsilon}^a = \xi_{ai\epsilon}^a \delta_{oi}^a$ і $p_{ai\epsilon}^i = \xi_{ai\epsilon}^i \delta_{oi}^i$, отримуємо вирази для визначення коефіцієнта тертя між матеріалом і стінкою прес-форми:

$$\begin{aligned} \xi_{ai\epsilon}^a &= \frac{a}{2l\xi_{ai\epsilon}^a} \frac{(\delta_{ai\epsilon}^a - \delta_{ai\epsilon}^i)}{(\delta_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i)}, \\ \xi_{ai\epsilon}^i &= \frac{ab}{(a+b)l\xi_{ai\epsilon}^i} \frac{(\delta_{ai\epsilon}^a - \delta_{ai\epsilon}^i)}{(\delta_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i)}, \\ \xi_{ai\epsilon}^d &= \frac{d}{2l\xi_{ai\epsilon}^d} \frac{(\delta_{ai\epsilon}^a - \delta_{ai\epsilon}^i)}{(\delta_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Позначивши $\zeta = \frac{(p_{ai\epsilon}^a - \delta_{ai\epsilon}^i)}{l\xi_{ai\epsilon}^a (p_{ai\epsilon}^a + \delta_{ai\epsilon}^i)}$ як коефіцієнт втрати тиску по висоті форми, то (9) переписеться як:

$$\begin{aligned} \xi_{ai\epsilon}^a &= \frac{a}{2}\zeta, \\ \xi_{ai\epsilon}^i &= \frac{ab}{(a+b)}\zeta, \\ \xi_{ai\epsilon}^d &= \frac{d}{2}\zeta. \end{aligned} \quad (10)$$

Наведена модель визначення фізико-механічних властивостей бетонних сумішей буде застосована на експериментальному стенді для різних складів бетонної суміші з різними значеннями В/Ц, фракції заповнювача, типу пластифікатора та ін., що дозволить визначити

експериментальні значення коефіцієнта тертя суміші $\mu_{\sigma\phi}$ по стінках прес-форми та коефіцієнт бокового тиску $\xi_{ai\epsilon}$.

Для реалізації експериментального визначення вищезазначених параметрів моделі буде використовуватися спеціальна прес-форма із сенсорним оснащенням, яка представляє собою квадратну прес-форму закритого типу з нерухомим нижнім і рухомим верхнім пуансонами [11]. Встановлені на прес-формі датчики тиску надають можливість вимірювати усереднений за площею боковий тиск матеріалу на стінку прес-форми в чотирьох точках на різній висоті. Корпус прес-форми і нижній пуансон жорстко закріплюються на робочому вібростолі, а верхній пуансон – на рухомій поперечині. Переміщення вібростола і рухомої поперечини реєструються відповідними сенсорами [12].

Висновки

- Запропонована модель дозволяє визначати коефіцієнт бокового тиску $\xi_{ai\epsilon}$, коефіцієнт тертя суміші по стінках прес-форми $\mu_{\sigma\phi}$ циліндричного прямокутного та квадратного перерізу в процесі вібропресування.

Використана література

1. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / Ахвердов И. Н. – М. : Стойиздат, 1981. – 464 с.
2. Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., В. Б. Барановський та ін.]; за ред. П. В. Кривенко. – К. : ТОВ УВПК “Ексоб”, 2004. – 702 с.
3. Дудар І. Н. Теоретичні основи технології виробів із пресованих бетонів / І. Н. Дудар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 89 с.
4. Штерн М. Б. Феноменологическая теория прессования порошков / М. Б. Штерн, Г. Г. Сердюк, Л. А. Максименко и др. – Киев : Наукова думка, 1982. – 142 с.
5. Искович-Лотоцкий Р. Д. Машины вибратинного и виброударного действия / Искович-Лотоцкий Р. Д., Матвеев И. Б., Крат В. А. . – Киев : Техника, 1982. – 208 с.
6. Загребя В. П. Формування бетонних і залізобетонних виробів методом пульсуючого пресування бетонних сумішей / В. П. Загребя, І. Н. Дудар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 104 с.
7. Вібратійна установка для формування трубчастих виробів із бетонних сумішей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.05.02 / О. В. Орисенко; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава, 2002. – 19 с.
8. Орисенко О. В. Реакція середовища, що ущільнюється, на ударно-струшуючий рух робочого органа формувальної установки / О. В. Орисенко, М. М. Нестеренко // Тези 62-ої наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників та студентів університету (Полтава, 23 квітня - 13 травня 2010 р.). – Том 3. – Полтава : ПолтНТУ, 2010. – С. 27-28.
9. Крауфорд Ф. Волны: Берклеевский курс физики / Ф. Крауфорд. – Том 3. – М. : Наука, 1976. – 528 с.
10. Богданов В. С. Процессы при производстве строительных материалов и изделий / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. – Белгород : Везелица, 2007. – 98 с.
11. Пат. 53612 Україна, МПК G01N 3/10 Установка для вимірювання тиску в масиві бетонної суміші / І. Н. Дудар, Ю. С. Бікс; заявник та власник Вінницький нац. техн. уні-т. – №201004690; заявл.20.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19/2010.
12. Бікс Ю. Закономірності розподілення тиску по висоті бетонної суміші, що ущільнюється / Юрій Бікс, Ігор Дудар // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 2. – С.134-138. [_ISBN 5-256-00380-1_](#)

Ратушняк Георгій Сергійович – завідувач кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Коц Іван Васильович – професор кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Бікс Юрій Семенович – аспірант кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

Отформат
подчеркива
Отформат
Авто