

Ємельяненко М.Г. Саєнко Л.В.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002; e-mail: nikgrigem@gmail.com; orcid.org/0000-0002-6411-1354;
e-mail: saenko_l@ukr.net; orcid.org/0000-0002-3802-3078)*

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ПРЕСУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ДРІБНОШТУЧНИХ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У статті приведено результати аналітичного дослідження динаміки вібраційного преса для формування дрібноштучних бетонних елементів. Розроблено математичну модель руху робочих органів (матриці та пуансону), одержано залежності для визначення параметрів вібраційної системи. Результати математичного моделювання динаміки двох масної системи вібраційного пресу свідчать про можливість управляти характером руху робочих органів.

Одержані залежності є уточненням методики розрахунку параметрів процесу ущільнення бетонної суміші із змінними у часі режимами вібрації.

Ключові слова: Формування дрібноштучних бетонних елементів, вібропрес, моделювання режимів роботи.

Вступ. Виробництво дрібноштучних бетонних елементів (фігурні елементи, тротуарна плитка, бетонна цегла, блоки тощо) залишається досить актуальним. На світовому ринку широко представлені технологічні комплекси обладнання для їх виготовлення способом вібраційного пресування таких фірм, як «Zenit», «Besser», «HESS», «MASA REPORT», «Rosacometta» та ін. [1-3]. Основним обладнанням цих комплексів є вібраційні преси, конструкції та методи проектування яких постійно удосконалюються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляду, аналізу та популяризації світових досягнень в області проектування, виготовлення та постачання на світовий ринок технологічних комплексів обладнання для виготовлення бетонних елементів способом вібраційного пресування присвячено роботи [1-6].

Про удосконалення конструкцій та дослідження вібраційних пресів йдеться в наукових книгах та статтях [3-14]. В джерелах [3-6, 8-10] наведено варіанти удосконалення конструкцій вузлів вібраційних пресів, у тому числі робочих органів та приводу [6, 8, 9].

В статтях [11-14] мова йде про розширення технологічних можливостей вібраційних пресів (створення машин з регульованими і комбінованими режимами роботи,

розробка та дослідження пресів із двох частотними приводами).

Аналіз джерел показує, що для забезпечення заданої міцності, зносостійкості та морозостійкості бетонних виробів, що виготовляють вібраційним пресуванням, треба використовувати раціональні режими формування, засновані на результатах досліджень. Ці результати досліджень є базою для створення уточнених методик розрахунків параметрів вібраційних систем пресів з урахуванням властивостей оброблюваних матеріалів [8, 9, 11-14].

Мета і задачі. Метою є дослідження динаміки та уточнення методики розрахунку вібраційного пресу для формування дрібно штучних бетонних елементів.

Постановка та рішення задачі. У якості об'єкта дослідження прийнято вібраційний прес, що включає раму, матрицю, траверсу з пуансонами, збудники коливальної дії блоків матриці і пуансону та пружні елементи.

На основі загальних положень [7] розглядаємо основний коливальний рух вібраційної системи преса (після попереднього включення нижнього збудника вібрації на 3...5 с).

Фізична модель вібропресу зображена на рис. 1.

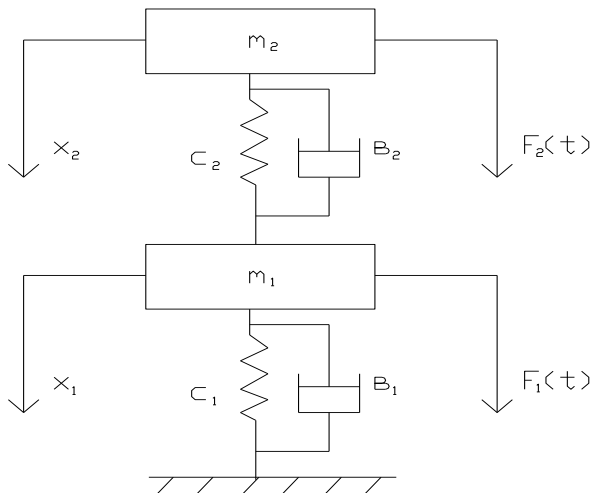


Рис. 1. Фізична модель двомасної вібраційної системи преса

Вводимо позначення:

$m_1 = m_M + m_n + m_{в.н.}$ – маса віброуючих частин блоку матриці (m_M , m_n , $m_{в.н.}$ – маса матриці, площадки, та нижнього збудника вібрації); c_1 – зведений коефіцієнт жорсткості пружних елементів площадки; b_1 – зведений коефіцієнт опору коливанню системи; x_1 – координата переміщення маси m_1 ; $F_1(t)$ – збуджуюча сила нижнього збудника, в комплексній формі:

$$F_1(t) = m_{\partial 1} \cdot r_{\partial 1} \cdot \omega_1^2 \cdot e^{i\omega_1 t} = F_{01} \cdot e^{i\omega_1 t}$$

де $m_{\partial 1}$, $r_{\partial 1}$ – сумарна маса і відстань від центру мас до осі обертання дебалансів; i – уявна одиниця; t – час; $m_2 = m_{тр} + m_{в.в.} + m_{пуанс.}$ – маса системи: траверса ($m_{тр}$) – верхній збудник вібрації ($m_{в.в.}$) – пуансон ($m_{пуанс.}$); c_2 – зведений коефіцієнт жорсткості попередньо ущільненої бетонної суміші; b_2 – зведений коефіцієнт опору коливанню пуансона у бетонній суміші; x_2 – координата переміщення маси m_2 ; $F_2(t)$ – збуджуюча сила вібраторів блоку пуансонів:

$$F_2(t) = m_{\partial 2} \cdot r_{\partial 2} \cdot \omega_2^2 \cdot e^{i\omega_2 t} = F_{02} \cdot e^{i\omega_2 t};$$

$$F_{02} = m_{\partial 2} \cdot r_{\partial 2} \cdot \omega_2^2.$$

Диференціальні рівняння руху двох масної системи преса:

$$m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + b_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1 x_1 + c_2 (x_1 - x_2) = F_{01} \cdot e^{i\omega_1 t};$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_2 (x_2 - x_1) = F_{02} \cdot e^{i\omega_2 t}.$$

У перетвореному виді система рівнянь має вид:

$$\ddot{x}_1 + 2h_1 \dot{x}_1 + 2h_{12} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \omega_{01}^2 x_1 + \omega_{012}^2 (x_1 - x_2) = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot e^{i\omega_1 t};$$

$$\ddot{x}_2 + 2h_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + \omega_{02}^2 (x_2 - x_1) = \frac{F_{02}}{m_2} \cdot e^{i\omega_2 t},$$

$$\text{де } h_1 = \frac{b_1}{2m_1}; \quad h_{12} = \frac{b_2}{2m_1}; \quad \omega_{01}^2 = \frac{c_1}{m_1};$$

$$\omega_{012}^2 = \frac{c_2}{m_1}; \quad h_2 = \frac{b_2}{2m_2}; \quad \omega_{02}^2 = \frac{c_2}{m_2}.$$

Часткове рішення системи рівнянь для усталеного режиму роботи знайдено у вигляді:

$$x_1 = A_1 \cdot e^{i\omega_1 t} + A_2 \cdot e^{i\omega_2 t};$$

$$x_2 = D_1 \cdot e^{i\omega_1 t} + D_2 \cdot e^{i\omega_2 t}$$

де A_1, A_2, D_1, D_2 – комплексні величини.

Після підстановок і громіздких перетворень у кінцевому результаті отримано для модулів комплексних амплітуд і початкових фаз коливань наступні залежності:

$$a_1 = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot \sqrt{G_{11}^2 + G_{12}^2}; \quad a_2 = \frac{F_{02}}{m_2} \cdot \sqrt{G_{21}^2 + G_{22}^2};$$

$$d_1 = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot \sqrt{(G_{11}G_{13} - G_{12}G_{14})^2 + (G_{11}G_{14} - G_{12}G_{13})^2};$$

$$d_2 = \frac{F_{02}}{m_2} \cdot \sqrt{(G_{21}G_{23} - G_{22}G_{24})^2 + (G_{21}G_{24} - G_{22}G_{23})^2};$$

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{G_{12}}{G_{11}}\right); \quad \varphi_2 = \arctg\left(\frac{G_{22}}{G_{21}}\right);$$

$$\theta_1 = \arctg\left(\frac{G_{11}G_{14} + G_{12}G_{13}}{G_{11}G_{13} - G_{12}G_{14}}\right);$$

$$\theta_2 = \arctg\left(\frac{G_{21}G_{24} + G_{22}G_{23}}{G_{21}G_{23} - G_{22}G_{24}}\right),$$

$$\text{де } G_{11} = \frac{E_{11}E_{13} + E_{12}E_{14}}{E_{13}^2 + E_{14}^2};$$

$$G_{12} = \frac{-E_{11}E_{14} + E_{12}E_{13}}{E_{13}^2 + E_{14}^2}; \quad G_{13} = \frac{\omega_{02}^2 E_{11} + E_{12}^2}{E_{11}^2 + E_{12}^2};$$

$$G_{14} = \frac{E_{11}E_{12} - \omega_{02}^2 E_{12}}{E_{11}^2 + E_{12}^2}; \quad G_{21} = \frac{E_{21}E_{23} + E_{22}E_{24}}{E_{23}^2 + E_{24}^2};$$

$$G_{22} = \frac{-E_{21}E_{24} + E_{22}E_{23}}{E_{23}^2 + E_{24}^2}; \quad G_{23} = \frac{\omega_{02}^2 E_{21} + E_{22}^2}{E_{21}^2 + E_{22}^2};$$

$$G_{24} = \frac{E_{21}E_{22} - \omega_{02}^2 E_{22}}{E_{21}^2 + E_{22}^2}.$$

$$E_{11} = \omega_{02}^2 - \omega_1^2; \quad E_{12} = 2h_2\omega_1;$$

$$E_{13} = \omega_1^4 - \omega_1^2\omega_{02}^2 - 4h_1h_2\omega_1^2 - \omega_{01}^2\omega_1^2 + \omega_{01}^2\omega_{02}^2 - \omega_{012}^2\omega_1^2;$$

$$E_{14} = 2(-h_2\omega_1^3 - h_1\omega_1^3 + h_1\omega_1\omega_{02}^2 - h_2\omega_1^3 + h_2\omega_1\omega_{01}^2);$$

$$E_{21} = \omega_{02}^2 - \omega_2^2; \quad E_{22} = 2h_2\omega_2;$$

$$E_{23} = \omega_2^4 - \omega_2^2\omega_{02}^2 - 4h_1h_2\omega_2^2 - \omega_{01}^2\omega_2^2 + \omega_{01}^2\omega_{02}^2 - \omega_{012}^2\omega_2^2;$$

$$E_{24} = 2(-h_2\omega_2^3 - h_1\omega_2^3 + h_1\omega_2\omega_{02}^2 - h_2\omega_2^3 + h_2\omega_2\omega_{01}^2).$$

Рішення системи диференціальних рівнянь приймають вид:

$$x_1 = a_1 \cdot e^{i(\omega_1 t - \varphi_1)} + a_2 \cdot e^{i(\omega_2 t - \varphi_2)};$$

$$x_2 = d_1 \cdot e^{i(\omega_1 t - \theta_1)} + d_2 \cdot e^{i(\omega_2 t - \theta_2)};$$

для випадку:

якщо $F_1(t) = F_{01} \sin \omega_1 t$; $F_2(t) = F_{02} \sin \omega_2 t$ то

$$x_1 = a_1 \sin(\omega_1 t - \varphi_1) + a_2 \sin(\omega_2 t - \varphi_2);$$

$$x_2 = d_1 \sin(\omega_1 t - \theta_1) + d_2 \sin(\omega_2 t - \theta_2),$$

Одержані залежності дозволяють визначати закономірності руху двох масної системи вібраційного преса, оцінювати амплітуди коливань пуансонів і матриці.

З використанням ПЕОМ отримано графіки переміщень x_1, x_2 мас m_1, m_2 (рис. 2). В прикладі розрахунку прийнято: $m_1 = 150$ кг; $m_2 = 100$ кг; $\omega = 300 \text{ c}^{-1}$; $\Omega = 475 \text{ c}^{-1}$; $C_1 = 1000000 \text{ Н/м}$; $C_2 = 1900000 \text{ Н/м}$; $b_1 = 200 \text{ Нм/с}$; $b_2 = 70 \text{ Нм/с}$; $F_{01} = 12000 \text{ Н}$; $F_{02} = 10000 \text{ Н}$.

Аналіз віброграм, які побудовані на основі одержаних залежностей, свідчить, що у випадках А, В (рис. 2) спостерігаються биття, у яких амплітуда змінюється у часі з періодом $T = 2\pi/(\omega_2 - \omega_1)$. На віброграмі Б спостерігаються полігармонічні коливання.

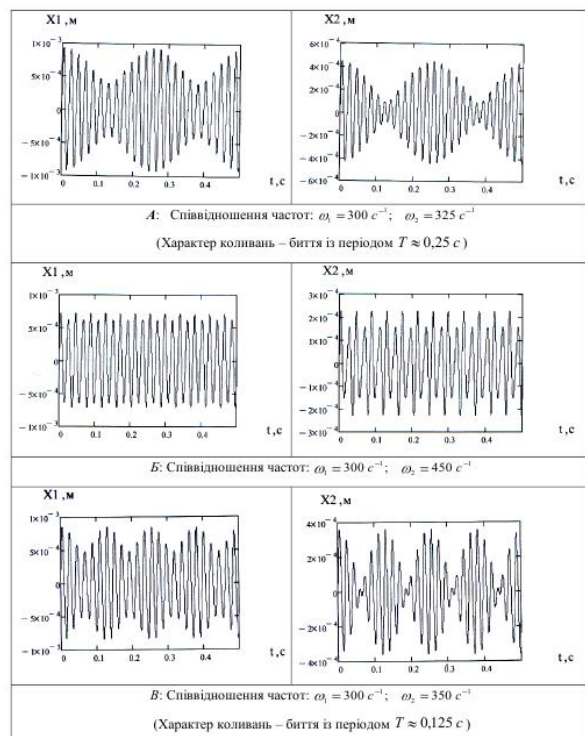


Рис. 2. Теоретичні віброграми переміщень рухомих частин блоку матриці X_1 та пуансону X_2

Таким чином, є можливість управляти зміною у часі розмаху коливань, що в деяких випадках інтенсифікує процес ущільнення бетонної суміші під час формування виробів.

Висновки. Результати математичного моделювання динаміки двох масної системи вібраційного преса свідчать про можливість управляти характером руху робочих органів.

Дослідження показало, що є можливість застосовувати змінність у часі розмахів коливань робочих органів преса у формі биття з метою інтенсифікації процесу ущільнення бетонної суміші під час формування виробів.

Одержані залежності є уточненням методики розрахунку параметрів процесу ущільнення бетонної суміші із змінними у часі режимами вібрації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона/ Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. – 160с.
2. Уткин В.Л. Новые технологии строительной индустрии / В.Л. Уткин. – М.: ЗАО «Русский издательский дом», 2004. – 116 с.
3. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібно штучних стінових виробів: Навчальний посібник / О.Г. Савченко.– Х.: Тимченко, 2006.– 416 с.
4. Дворкін Л.Й. Бетони на основі наджорстких сумішей/ Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський, В.О. Каганов. – Рівне: Вид-во РДЦНТЕІ, 2006. – 179 с.
5. Дворкин Л.И. Технологические особенности вибропрессованных бетонов. / Л.Й. Дворкін, В.В. Житковський // Строительные материалы и изделия. – Киев, 2007. – № 4. – С. 11-14.
6. Іскович-Лотоцький Р.Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування: моногр. / Р.Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця: Універсум – Вінниця, 2006. – 338 с.
7. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
8. Ємельяненко М.Г., Саєнко Л.В. Дослідження динаміки двохмасної системи вібропреса з урахуванням параметрів формованого матеріалу / М.Г. Ємельяненко,

- Л.В. Саєнко// Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2004. Вип.29. – С.106-111.
9. Емельяненко Н.Г., Саєнко Л.В. Экспериментальные исследования параметров двухмассного вибропресса для формования бетонных изделий / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саєнко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – №25. – С. 129–132..
 10. Емельяненко Н.Г., Саєнко Л.В. Энергетические соотношения в динамической системе вибропресса с двухчастотным приводом. / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саєнко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – №13. – С. 38 – 41.
 11. Емельяненко М.Г., Саєнко Л.В. Разработка методики расчета вибропресса для формования бетонных элементов мощения / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саєнко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. Вип.3 (81). – С.166-169.
 12. Емельяненко М.Г., Саєнко Л.В. Дослідження параметрів двочастотного планетарного приводу вібраційного преса / М.Г. Емельяненко, Л.В. Саєнко// Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. Вип.3 (85). – С.265-267.
 13. Емельяненко М.Г., Гордієнко А.Т., Саєнко Л.В. Удосконалення конструкції та уточнення методики розрахунку двочастотного пресу для формування бетонних елементів мощення / М.Г. Емельяненко, А.Т. Гордієнко, Л.В. Саєнко// Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. Вип.4 (86). – С.185-188.
 14. Емельяненко М.Г., Саєнко Л.В. Моделирование динамики та уточнення методики розрахунку двочастотного пресу для формування бетонних елементів / М.Г. Емелья-

ненко, Л.В. Саєнко// Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. Вип.4 (90). – С.285-289.

Емельяненко Н.Г., Саєнко Л.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПРЕССА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ МЕЛКОШТУЧНЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. В статье приведены результаты аналитического исследования динамики вибрационного пресса для формования мелкоштучных бетонных элементов. Разработана математическая модель движения рабочих органов (матрицы и пуансона), получены зависимости для определения параметров вибрационной системы. Результаты математического моделирования динамики двухмассной системы вибрационного пресса свидетельствуют о возможности управлять характером движения рабочих органов. Полученные зависимости уточняют методику расчета параметров вибрационного прессования бетонных изделий со сменными во времени режимами вибрации.

Ключевые слова: Формование мелкоштучных бетонных элементов, вибропресс, моделирование режимов работы.

Emelianenko N.G., Saenko L.V. RESULTS OF THE RESEARCH OF VIBRATION PRESS FOR THE FORMING OF SMALL CONCRETE ELEMENTS. The article presents the results of an analytical study of the dynamics of a vibration press for the formation of small concrete elements. A mathematical model of the movement of the working bodies (matrix and punch) has been developed, the dependences for determining the parameters of the vibration system have been obtained. The results of mathematical modeling of the dynamics of a two-mass system of a vibratory press indicate that it is possible to control the nature of the movement of the working bodies.

The dependences obtained are a refinement of the method for calculating the parameters of the process of compacting concrete with interchangeable vibration modes in time.

Key words: Molding of small concrete elements, vibratory press, modeling of operating modes.