

Н.Г. Емельяненко, к.т.н., проф.
Харьковский государственный технический университет строительства и
архитектуры

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК РАСЧЁТА ВИБРОПРЕССОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОШТУЧНЫХ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Розкриті актуальність та переваги виготовлення бетонних виробів методом вібраційного пресування, розглянуті варіанти фізичного та математичного моделювання процесу. Наведені елементи уточненої методики розрахунків параметрів вібраційної системи преса з урахуванням статичного тиску та характеристик бетонної суміші.

Ключові слова: вібропрес, формування, моделювання, статичний тиск.

Раскрыты актуальность и преимущества изготовления бетонных изделий методом вибрационного прессования, рассмотрены варианты физического и математического моделирования процесса. Приведенные элементы уточненной методики расчетов параметров вибрационной системы преса с учетом статического давления и характеристик бетонной смеси.

Ключевые слова: вибропресс, формование, моделирование, статическое давление.

The author shows the importance and advantage of the concrete products manufacture with the help of the method of vibratory pressing and considers the variants of physical and mathematical modelling of the process. The author names the elements of the improved methods for calculating parameters of the press vibration system taking into account the static pressure and concrete mix properties.

Revealed urgency fabrication by, Broughted calculation with provision for steady-state pressure.

Key words: vibropress, forming, modelling, static pressure.

Постановка проблеми. Суть проблеми – совершенствование процесса формования бетонных изделий методом вибропрессования, который позволяет разрабатывать ресурсо- и энергосберегающие технологии. Экономия ресурсов достигается, в частности, благодаря формованию изделий из жёстких бетонных смесей, что снижает расход вяжущего (цемента), занимающего в постатейных затратах (цемент, песок, вода, электроэнергия, зарплата, износ оснастки, НДС и затраты на брак) из расчёта на 1 м² бетонных изделий – более 50%. По данным [1] при

изготовлении бетонных блоков методом вибропрессования энергозатраты на порядок ниже, чем при производстве керамического и силикатного кирпича. Вибропрессованные изделия из мелкозернистого бетона – тротуарные плиты, фигурные элементы мощения, бортовые камни – получили широкое применение для устройства тротуаров, садово-парковых дорожек, детских площадок, остановок общественного транспорта. В Германии и США есть примеры мощения бетонной плиткой морских контейнерных терминалов и технологических зон аэродромов. Бетон, используемый при вибропрессовании, имеет низкое водоцементное отношение, что оптимизирует расход цемента и обеспечивает высокую прочность (класс В30 и выше) и морозостойкость (Мрз 200-300 циклов). Производительность линии определяется прессовым оборудованием, поэтому производители стремятся к автоматизации работ, уменьшению металлоемкости и энергопотребления оборудования, к расширению номенклатуры изделий путем подбора формообразующей оснастки, с учётом повышения требований к качеству, надежности и долговечности бетонных изделий, а также санитарно-гигиенических требований [2,3].

Анализ последних исследований и публикаций. В [2-4] приведены сведения о вибропрессовом оборудовании, технологических линиях производства бетонных изделий методом вибропрессования, дана классификация вибропрессов по различным признакам (конструктивному исполнению, виду вибропривода, количеству одновременно прессуемой плитки, способу создания давления прессования и т.п.). В работе [5] приведены результаты экспериментальных исследований лабораторного вибропресса. В статьях [6-7] предложены варианты исполнения пресса с двухчастотным приводом и методики расчёта его параметров. В [8] даны результаты аналитического исследования динамики вибропресса с учётом свойств формуемой бетонной смеси.

Формулирование целей статьи. Несмотря на широкое распространение линий по производству бетонных изделий методом вибропрессования многие вопросы остаются недостаточно изученными, среди них поиск рациональных режимов работы вибропривода и уточнение методик расчёта параметров пресса с учётом характеристик бетонной смеси.

Основные результаты. Объект исследования – формирование мелкоштучных бетонных изделий методом вибропрессования. Предмет исследования – формующий агрегат (вибропресс). Цель исследования – уточнение методики расчёта параметров формующего агрегата на основе физического и математического моделирования процесса.

Рассматриваем вибропресс, у которого блок матрицы и блок пуансонов оснащены отдельными приводами. Физические модели вибросистемы представим в виде рис. 1, где правая модель упрощена и, по сравнению с левой, не учитывает рассеивание энергии в упругих

элементах и в бетонной смеси. Математическую модель для левой схемы записываем так:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 x_1 + c_2 (x_1 - x_2) + b_1 \dot{x}_1 + b_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = F_1; \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (x_2 - x_1) + c_3 (x_2 - x_3) + b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + b_3 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) = F_2; \\ m_3 \ddot{x}_3 + c_3 (x_3 - x_2) + b_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) = 0 \end{cases}$$

где $m_1 = m_B + m_M$ – масса бетонной смеси и подвижных элементов матрицы; $m_2 = m_n + m_e$ – масса блока пуансонов с вибраторами; $m_3 = m_{mp} + m_{порш} + m_{шт}$ – масса траверсы с поршнем и штоком; c_1, c_2, c_3 – коэффициенты жёсткости упругих элементов матрицы, бетонной смеси, подвески пуансона на траверсе; b_1, b_2, b_3 – коэффициенты сопротивления колебаниям матрицы (или днища) с материалом, блока пуансонов в бетонной смеси и траверсы с поршнем и штоком; F_1, F_2 – результирующие возмущающих сил вибраторов матрицы и пуансона; x_1, x_2, x_3 – перемещение матрицы (днища) с материалом, блока пуансонов и траверсы с поршнем и штоком.

Для упрощённой модели (рис. 1 справа) в случае, когда $m_3 \gg m_2$ считаем, что $x_3 \approx 0$ и рассматриваем как двухмассную систему:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)x_1 - c_2 x_2 = F_{01} \cdot \sin \omega t; \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_2 x_1 + (c_2 + c_3)x_2 = F_{02} \cdot \sin(\omega t + \phi) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \ddot{x}_1 + \omega_{011}^2 x_1 - \omega_{012}^2 x_2 = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot \sin \omega t; \\ \ddot{x}_2 - \omega_{021}^2 x_1 + \omega_{022}^2 x_2 = \frac{F_{02}}{m_2} \cdot \sin(\omega t + \phi) \end{cases} \quad (1)$$

Решения уравнений (1) ищем в виде:

$$\begin{cases} x_1 = A_1 \cdot \sin \omega t + A_2 \cdot \sin(\omega t + \phi); \\ x_2 = B_1 \cdot \sin \omega t + B_2 \cdot \sin(\omega t + \phi) \end{cases}$$

и после подстановок получаем

$$A_1 = \frac{d_1}{d} = \frac{\frac{F_{01}}{m_1} \cdot (\omega_{022}^2 - \omega^2)}{(\omega_{011}^2 - \omega^2)(\omega_{022}^2 - \omega^2) - \omega_{012}^2 \cdot \omega_{021}^2};$$

$$B_1 = \frac{d_2}{d} = \frac{\frac{F_{01}}{m_1} \cdot \omega_{021}^2}{(\omega_{011}^2 - \omega^2)(\omega_{022}^2 - \omega^2) - \omega_{012}^2 \cdot \omega_{021}^2};$$
(2)

$$A_2 = \frac{d_1^*}{d} = \frac{\frac{F_{02}}{m_2} \cdot \omega_{012}^2}{(\omega_{011}^2 - \omega^2)(\omega_{022}^2 - \omega^2) - \omega_{012}^2 \cdot \omega_{021}^2};$$

$$B_2 = \frac{d_2^*}{d} = \frac{\frac{F_{02}}{m_2} \cdot (\omega_{011}^2 - \omega^2)}{(\omega_{011}^2 - \omega^2)(\omega_{022}^2 - \omega^2) - \omega_{012}^2 \cdot \omega_{021}^2}.$$

Определители систем уравнений для коэффициентов:

$$d = \begin{vmatrix} (\omega_{011}^2 - \omega^2) & (-\omega_{012}^2) \\ -\omega_{021}^2 & (\omega_{022}^2 - \omega^2) \end{vmatrix} = (\omega_{011}^2 - \omega^2)(\omega_{022}^2 - \omega^2) - \omega_{012}^2 \cdot \omega_{021}^2;$$

$$d_1 = \begin{vmatrix} \frac{F_{01}}{m_1} & (-\omega_{012}^2) \\ 0 & (\omega_{022}^2 - \omega^2) \end{vmatrix} = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot (\omega_{022}^2 - \omega^2); d_2 = \begin{vmatrix} (\omega_{011}^2 - \omega^2) & \frac{F_{01}}{m_1} \\ (-\omega_{021}^2) & 0 \end{vmatrix} = \frac{F_{01}}{m_1} \cdot \omega_{021}^2.$$

$$d^* = d; d_1^* = \begin{vmatrix} 0 & (-\omega_{012}^2) \\ \frac{F_{02}}{m_2} & (\omega_{022}^2 - \omega^2) \end{vmatrix} = \frac{F_{02}}{m_2} \cdot \omega_{012}^2;$$

$$d_2^* = \begin{vmatrix} (\omega_{011}^2 - \omega^2) & 0 \\ (-\omega_{021}^2) & \frac{F_{02}}{m_2} \end{vmatrix} = \frac{F_{02}}{m_2} (\omega_{011}^2 - \omega^2).$$

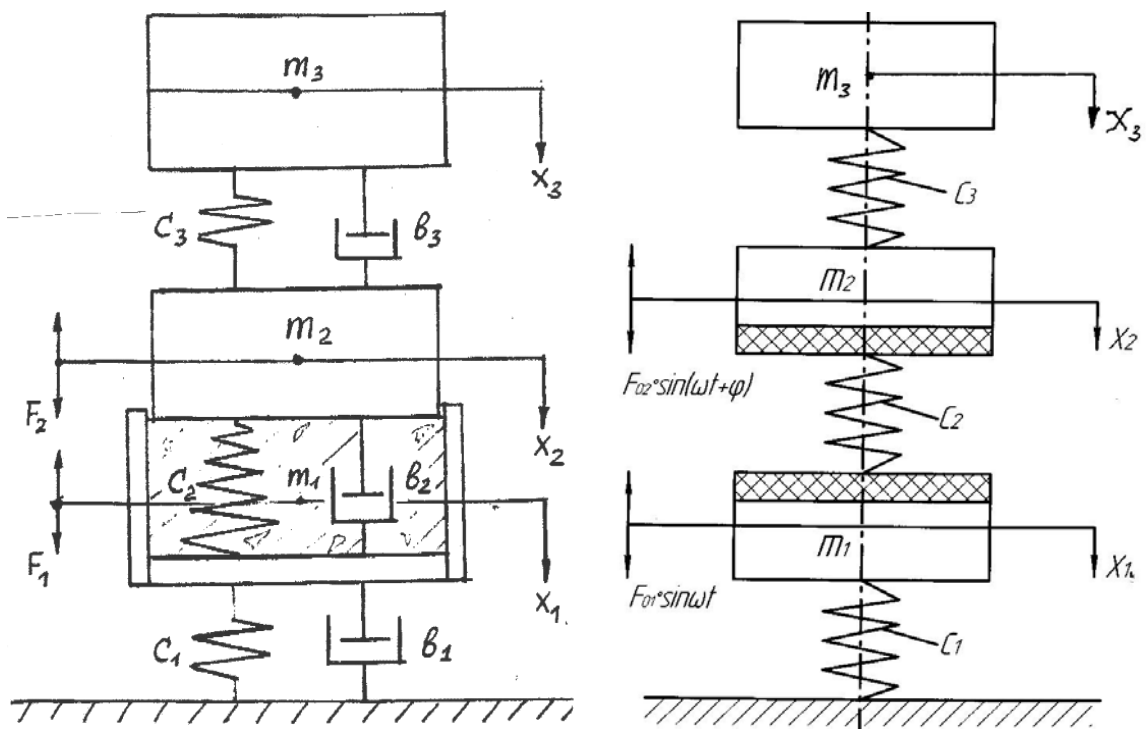


Рисунок 1 – Физические модели вибрационной системы прессы

3. Отечественные вибропрессы – достойное оборудование для производства материалов нового поколения // *Строительные материалы*. – 2001. – №6. – С. 18–19.

4. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібно штучних стінових виробів: навчальний посібник / О.Г. Савченко. – Х.: Тимченко, 2006. – 416 с.

5. Емельяненко Н.Г. Экспериментальные исследования параметров двухмассного вибропресса для формования бетонных изделий / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саенко // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – №25. – С. 129–132.

6. Емельяненко Н.Г. Пресс, формирующий бетонную смесь статическим давлением и двухчастотной направленной вибрацией / Н.Г. Емельяненко, Р.Н. Кондаков // *Вісник будівництва*. – Х.: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007. – Вип.41. – С. 185–189.

7. Емельяненко Н.Г. Разработка и исследование вибропресса с двухчастотным приводом матрицы / Н.Г. Емельяненко, Н.В. Созонова // *Науковий вісник будівництва*. – Х.: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2006. – Вип. 36. – С. 202–205.

8. Емельяненко Н.Г. Аналитическое исследование динамики вибропресса / Н.Г. Емельяненко, Л.В. Саенко, Н.Д. Балера // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – Белгород: БГТУ, 2003. – №6. – С. 295–301.