

П.О. Молчанов, асистент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

М.Г. Ємельяненко, канд. техн. наук, професор

Харківський національний технічний університет будівництва й архітектури

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

Розкрито актуальність і переваги виготовлення бетонних виробів методом вібрації, розглянуто варіанти фізичного та математичного моделювання процесу. Наведено елементи уточненої методики розрахунків параметрів вібраційної системи з урахуванням характеристик бетонної суміші.

Ключові слова: *вібраційна установка, віброзбуджувач, дебаланс, форма, бетонна суміш, моделювання.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. У будівництві широко застосовують різноманітні залізобетонні вироби, які часто формуються на різних вібраційних установках. Привід вібраційних установок, що застосовуються на виробництві, потребує вдосконалення. Суть питання – вдосконалення методики розрахунку параметрів вібраційних машин для формування бетонних виробів. Об'єкт дослідження – вібраційне формування бетонних виробів. Предмет дослідження – формуючий агрегат (вібраційна машина із пневмоприводом). Ця робота спрямована на модернізацію обладнання для зменшення металоємності та енергоспоживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях учених В.А. Токарева, А.В. Метельова, В.Ю. Федюка, М.Г. Ємельяненка, В.В. Герасименка [4,5,6] та інших відзначено способи і методики розрахунку пневмовібраційних машин, автори в багатьох випадках звертаються до представлення їх фізичної моделі у вигляді тримасної системи для вдосконалення методик розрахунків і узгодження їх із сучасними вимогами до вібраційних машин для формування бетонних виробів. На сьогоднішній день широко використовують вібраційні машини для формування залізобетонних виробів. Для їхнього привода поряд з електричним приводом застосовують пневматичний привід, який має ряд переваг. Але на сьогодні він мало застосовуваний.

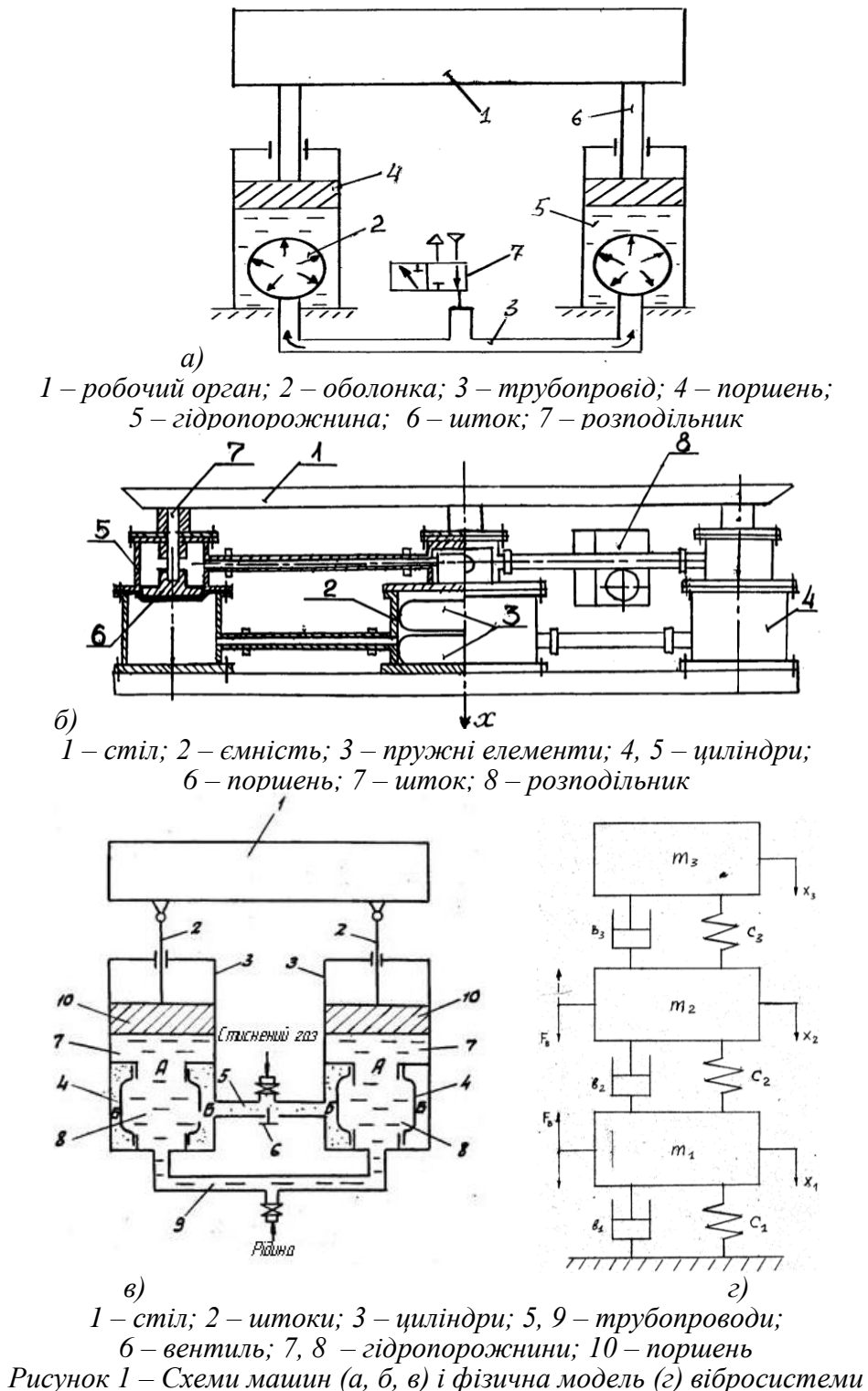
У роботах М.П. Нестеренка, П.Ф. Овчинникова, Б.І. Зикова, В.Й. Сівка [9,10] доведено, що характер зміни частоти в процесі віброущільнення може бути встановлений за напружено-деформованим станом у виробі залежно від його габаритів, способу формування та особливостей бетону.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Отримані результати допомагають у розв'язанні багатьох питань, пов'язаних з уточненням методики розрахунку пневмовібраційних машин. Вони дозволяють вивчати динаміку тримасова системи вібраційних машин з урахуванням параметрів вібрації (амплітуда, частота), геометричних розмірів виробів і характеристик формувальних матеріалів. Точність у цьому випадку буде означати якість та зменшення витрат при виробництві вібромашин, що дасть їм шлях до всебічного використання в наш високотехнологічний час. Обладнання, яке не проходило уточненої методики розрахунку, металоємне й енергозатратне.

Метою роботи є уточнення методики розрахунку пневмовібраційних машин на основі представлення їхньої фізичної моделі у вигляді тримасової системи «фундамент – робочий орган – матеріал».

Виклад основного матеріалу статті. Вібраційні машини із пневматичним приводом мають ряд позитивних якостей, серед яких можливість регулювання параметрів вібрації в широких межах. До переліку конструктивних схем таких машин

входять і авторські розробки [1–3]. Елементом методик розрахунку таких машин (рис. 1) присвячені роботи [4–8].



Ця робота спрямована на уточнення методики розрахунку пневмовібраційних машин на основі представлення їх фізичної моделі (рис. 1г) у вигляді тримасової системи: «фундамент – робочий орган – матеріал». При математичному моделюванні динаміки машини диференціальні рівняння руху мас m_1 , m_2 , m_3 по координатах x_1 , x_2 ,

x_3 під дією вимушеної сили $F_b \approx (\alpha P_m - P_a) \cdot S_1 \cdot N_p \cdot \sin \omega t$, діє N_p з боку поршнів площею S_1 кожний, мають вигляд

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1 \dot{x}_1 + 2h_{12} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \omega_{01}^2 x_1 + \omega_{012}^2 (x_1 - x_2) = -\frac{F_0}{m_1} \cdot e^{i\omega t}; \\ \ddot{x}_2 + 2h_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + 2h_{23} (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + \omega_{02}^2 (x_2 - x_1) + \omega_{023}^2 (x_2 - x_3) = +\frac{F_0}{m_2} \cdot e^{i\omega t}; \\ \ddot{x}_3 + 2h_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + \omega_{03}^2 (x_3 - x_2) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $h_1 = \frac{b_1}{2m_1}$; $h_{12} = \frac{b_2}{2m_1}$; $\omega_{01}^2 = \frac{c_1}{m_1}$; $\omega_{012}^2 = \frac{c_2}{m_1}$; $h_2 = \frac{b_2}{2m_2}$;

$$h_{23} = \frac{b_3}{2m_2}; \quad \omega_{02}^2 = \frac{c_2}{m_2}; \quad \omega_{023}^2 = \frac{c_3}{m_2}; \quad h_3 = \frac{b_3}{2m_3}; \quad \omega_{03}^2 = \frac{c_3}{m_3};$$

$c_1, c_2, c_3, b_1, b_2, b_3$ – коефіцієнти твердості й коефіцієнти опору фундаменту, пружної підвіски стола й бетонної суміші;

P_m, P_a – магістральний і атмосферний тиск повітря.

Рішення рівнянь отримані аналітичним методом. Алгоритм обчислення переміщень і прискорень включає такі операції.

Запишемо вихідні дані:

$$m_1 = m_\phi + m_{\text{корп}}; \quad m_2 = m_{CT} + m_\phi + m_n + m_{\text{жс}}; \quad (2)$$

$$m_3; \quad c_1, b_1; \quad c_2; \quad b_2; \quad c_3; \quad b_3; \quad F_0 \approx (\alpha P_m - P_a) \cdot S_1 \cdot N_p.$$

Рішення перше:

$$h_1 = \frac{b_1}{2m_1}; \quad h_{12} = \frac{b_2}{2m_1}; \quad \omega_{01}^2 = \frac{c_1}{m_1}; \quad \omega_{012}^2 = \frac{c_2}{m_1}; \quad h_2 = \frac{b_2}{2m_2}; \quad (3)$$

$$h_{23} = \frac{b_3}{2m_2}; \quad \omega_{02}^2 = \frac{c_2}{m_2}; \quad \omega_{023}^2 = \frac{c_3}{m_2}; \quad h_3 = \frac{b_3}{2m_3}; \quad \omega_{03}^2 = \frac{c_3}{m_3}.$$

Рішення друге:

$$\begin{aligned} e_{11} &= -\omega^2 + \omega_{01}^2 + \omega_{012}^2; \quad e_{12} = 2(h_1 + h_{12})\omega; \quad e_{13} = \omega_{012}^2; \quad e_{14} = -2h_{12}\omega; \\ e_{21} &= -\omega^2 + \omega_{02}^2 + \omega_{023}^2; \quad e_{22} = 2(h_2 + h_{23})\omega; \quad e_{23} = \omega_{02}^2; \quad e_{24} = 2h_2\omega; \\ e_{25} &= \omega_{023}^2; \quad e_{26} = 2h_{23}\omega; \quad e_{31} = -\omega^2 + \omega_{03}^2; \quad e_{32} = 2h_3\omega; \\ e_{33} &= \omega_{03}^2; \quad e_{34} = 2h_3\omega. \end{aligned} \quad (4)$$

Рішення третє:

$$g_{11} = \frac{e_{33}e_{31} - e_{34}e_{32}}{e_{31}^2 + e_{32}^2}; \quad g_{12} = \frac{e_{33}e_{32} + e_{34}e_{31}}{e_{31}^2 + e_{32}^2}; \quad g_{13} = e_{21} - e_{25}g_{11} + e_{26}g_{12}; \quad (5)$$

$$g_{14} = e_{22} - e_{25}g_{12} - e_{26}g_{11}.$$

$$g_{15} = \frac{F_0 \cdot g_{13}}{m_2 (g_{13}^2 + g_{14}^2)}; \quad g_{16} = -\frac{g_{14} \cdot F_0}{m_2 (g_{13}^2 + g_{14}^2)}; \quad (6)$$

$$g_{17} = \frac{e_{23}g_{13} + e_{24}g_{14}}{g_{13}^2 + g_{14}^2}; \quad g_{18} = \frac{e_{24}g_{13} - e_{23}g_{14}}{g_{13}^2 + g_{14}^2}.$$

$$g_{19} = e_{11} - e_{13}g_{17} + e_{14}g_{18}; g_{20} = e_{12} - e_{13}g_{18} - e_{14}g_{17};$$

$$g_{21} = e_{13}g_{15} - e_{14}g_{16}; g_{22} = e_{13}g_{16} + e_{14}g_{16}. \quad (7)$$

$$g_{23} = \frac{g_{21}g_{19} + g_{22}g_{20} - \frac{F_0}{m_2}g_{19}}{g_{19}^2 + g_{20}^2}; g_{24} = \frac{g_{22}g_{19} - g_{21}g_{20} + \frac{F_0}{m_2}g_{20}}{g_{19}^2 + g_{20}^2}. \quad (8)$$

$$g_{25} = g_{15} + g_{17}g_{23} - g_{18}g_{24}; g_{26} = g_{16} + g_{17}g_{24} - g_{18}g_{23}. \quad (9)$$

$$g_{27} = g_{11}g_{25} - g_{12}g_{26}; g_{28} = g_{11}g_{26} + g_{12}g_{25}. \quad (10)$$

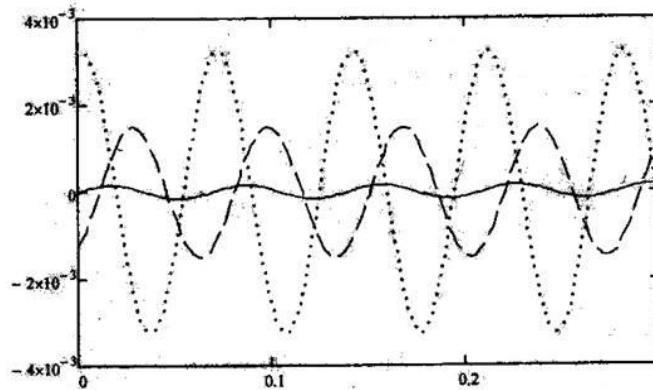
Рішення четверте:

$$A_{01} = \sqrt{g_{23}^2 + g_{24}^2}; \varphi_1 = \arctg\left(\frac{g_{24}}{g_{23}}\right); \quad \tilde{x}_1 = A_{01} \cdot e^{i\varphi_1} \cdot e^{i\omega t};$$

$$A_{02} = \sqrt{g_{25}^2 + g_{26}^2}; \varphi_2 = \arctg\left(\frac{g_{26}}{g_{25}}\right); \quad \tilde{x}_2 = A_{02} \cdot e^{i\varphi_2} \cdot e^{i\omega t};$$

$$A_{03} = \sqrt{g_{27}^2 + g_{28}^2}; \varphi_3 = \arctg\left(\frac{g_{28}}{g_{27}}\right); \quad \tilde{x}_3 = A_{03} \cdot e^{i\varphi_3} \cdot e^{i\omega t}. \quad (11)$$

$\underline{\quad}$ X1, X2, X3, м



$\underline{\quad}$ W1, W2, W3, м/с²

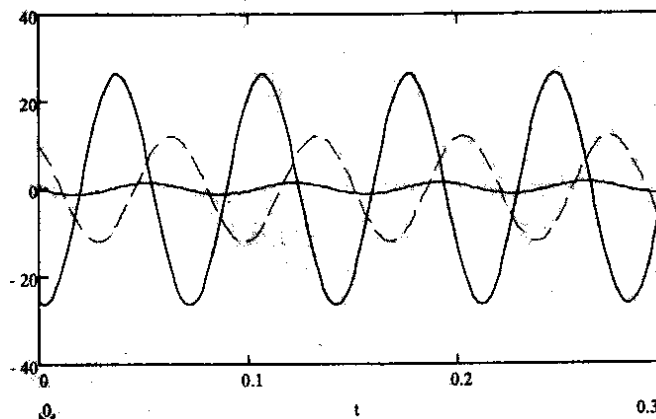


Рисунок 2 – Графіки переміщень (фундаменту – x_1 , стола з формою – x_2 , бетонної суміші – x_3) і прискорень (w_1, w_2, w_3) тримасової системи вібраційної машини при частоті 15 Гц, побудовані відповідно до розробленої математичної моделі.

Результати розрахунків наведено на рис. 2, де показано графіки вібропереміщень і віброприскорень за таких вихідних даних:

$$\omega = 90 \text{ s}^{-1}; \quad \alpha = 0,95; \quad N_p = 4; \quad F_0 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ N};$$

$$m_1 = 7000 \text{ êã}, \quad m_2 = 500 \text{ êã}, \quad m_3 = 1440 \text{ êã}, \quad p_a = 0,1 \text{ МЇ а}; \quad p_M = 0,3 \text{ МЇ а};$$

$$c_1 = 1,4 \cdot 10^9 \text{ Ї / ð}; \quad c_2 = 10^6 \text{ Ї / т}; \quad c_3 = 2,46 \cdot 10^6 \text{ Ї / т}.$$

Розроблена математична модель дозволяє вивчати динаміку тримасової системи вібраційних машин з урахуванням параметрів вібрації (амплітуда, частота), геометричних розмірів виробів і характеристик формувальних матеріалів.

Висновки:

1. Розроблена методика розрахунку параметрів формуючого агрегату на основі математичного моделювання процесу опису динаміки віброуцілювальних машин.

2. Запропонована математична модель дозволяє вивчати динаміку тримасової системи вібраційних машин з урахуванням параметрів вібрації (амплітуда, частота), геометричних розмірів виробів і характеристик формувальних матеріалів.

Література

1. А.с.969329 , В 06 В 1/18. Вибрационная машина / Н.Г. Емельяненко.– №3238954/18 – 28; заявл. 22.01.81; опубл. 30.10.82, Бюл. №40.– 3с.
2. А.с.1341406, F15B 21/12. Вибрационная машина / Н.Г. Емельяненко. – №3980704/25 – 06; Заявл. 25.11.85; Опубл. 30.09.87, Бюл. №36.– 3с.
3. Пат. 2108171 РФ, F 15 В 21/12. Вибрационная машина / Н.Г. Емельяненко,
4. А.В. Метелёв, В.В. Кузнецов – №96103907/29; заявл.27.02.96; опубл.10.02.98, Бюл. №4.– 5с.
5. Емельяненко, Н.Г. Результаты аналитического и экспериментального исследований низкочастотной виброплощадки с пневмогидроприводом / Н.Г. Емельяненко, В.А. Токарев // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 1999. Вип.7.– С. 287–291.
6. Емельяненко Н.Г. Разработка виброплощадки с пневмоприводом на пневмоупругих опорах с регулируемыми параметрами / Н.Г. Емельяненко, А.В. Метелёв, В.Ю. Федюк // Вибрации в технике и технологиях. – В., 1999.– №2(11).– С.73 – 76.
7. Емельяненко, Н.Г. Результаты исследований пневматической низкочастотной виброплощадки на эластичных оболочках / Н.Г. Емельяненко, В.В. Герасименко // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 1999.– Вип.8. – С.185–190.
8. Емельяненко, Н.Г. Результаты экспериментальных исследований виброплощадки с комбинированным приводом для формования трамвайных плит / Н.Г. Емельяненко, О.В. Стаховский // Международный периодический сборник научных трудов «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование». – Одесса: НПО «ВОТУМ», 2001. Вып. №11. – С.42 – 45.
9. Емельяненко, Н.Г. О возможности применения вибрационных установок с регулируемыми параметрами / Н.Г. Емельяненко, В.В. Герасименко, О.В. Стаховский // Строительные материалы и изделия. – К., 2001. – № 4. – С.30 – 32.
10. Сівко, В.Й. Рух динамічної системи з врахуванням внутрішнього опору середовища / В.Й. Сівко, Є.О. Скубак // Периодический сборник научных трудов «Вибротехнология – 98». Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования. Технология и оборудование. – К.: НПО ВОТУМ, 1998. – С. 16 – 21.
11. Сівко В.Й. Деякі питання теорії будівельних матеріалів і сумішей / В.Й. Сівко, М.П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2000. – Вип. 6. – С. 84 – 89.

Надійшла до редакції 16.12. 2011

© П.О. Молчанов, М.Г. Ємельяненко

П.А. Молчанов, ассистент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Н.Г. Емельяненко, канд. техн. наук, профессор

*Харьковский национальный технический университет
строительства и архитектуры*

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Раскрыты актуальность и преимущества изготовления бетонных изделий методом вибрации, рассмотрены варианты физического и математического моделирования процесса. Приведены элементы уточненной методики расчетов параметров вибрационной системы с учетом характеристик бетонной смеси.

Ключевые слова: *вибрационная установка, вибровозбудитель, дебаланс, форма, бетонная смесь, моделирование.*

P. A. Molchanov, Assistant

Poltava National Technical University named in honour of Yuriy Kondratyuk

N.G.Emeljanenko, a candidate of technical sciences, professor

Kharkov National Technical University of building and architecture

ALGORITHM CALCULATION DYNAMIC PARAMETERS MACHINES FOR FORMATION OF CONCRETE PRODUCTS

The urgency and advantages of the manufacture of concrete articles by a method of vibration are disclosed, the alternatives of physical and mathematical simulation of this process are examined. The elements of the specified technique for calculating the parameters of the vibrational system are reported, taking into account the characteristics of the concrete mixture.

Key words: *vibrating installation, vibroactivators, unbalance, form, concrete mixture, modeling.*