

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ БЕТОННОЇ СУМІШІ НА РОБОЧИЙ ОРГАН

Пропонується підхід до розв'язання актуальної для галузі виробництва будівельних матеріалів задачі математичного моделювання просторових процесів у вібраційній формі, що ущільнює суміш.

Ключові слова: моделювання, вібромашина, просторові коливання.

Предлагается подход к решению актуальной для галузи производства строительных материалов задачи математического моделирования пространственных процессов в вибрационной форме, уплотняющей смесь.

Ключевые слова: моделирование, вибромашина, пространственные колебания.

The approach is offered an actual for the industry of construction materials decision of solving a problem of mathematical modelling of a spatial processes in a vibration form, that obturates mixture.

Key words: modelling, vibration machine, spatial vibrations.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. На сьогодні будівельна галузь гостро потребує запровадження енергозберігаючих технологій у виробництво. При виготовленні великогабаритних залізобетонних виробів широко застосовують вібраційні форми, у яких дебалансний віброзбуджувач із вертикальним або нахиленим до вертикалі на кут до 15° дебалансним валом забезпечує просторові коливання бетонної суміші. Уточнені розрахунки віброформуального обладнання дозволять знизити металоємність та енерговитрати на виробництво тих чи інших залізобетонних виробів і тим самим підвищити їх конкурентоспроможність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. У розрахунках вібраційного обладнання для формування залізобетонних виробів використовуються різні підходи до складання математичних моделей процесу формування залізобетонних виробів, про що свідчать публікації різних років. Відомі математичні моделі можна умовно розподілити на дві групи: плоскі динамічні моделі руху робочого органа, що розглядають рух у вертикальній або горизонтальній площині [1, 2, 3], та просторові, які розглядають рух робочого органа у просторі [6, 7].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У математичних моделях вібраційних машин, у яких розглядаються просторові коливання робочого органа, бетонна суміш ураховується у вигляді твердого тіла як приєднана маса до коливальної системи [6, 7]. У "плоских" математичних моделях розглядається вплив бетонної суміші на поглинання енергії з урахуванням її реологічних властивостей [1, 3, 5]. Питання врахування впливу реологічних властивостей бетонних сумішей на процес формування виробу в моделях просторових коливальних систем не розв'язане і тому є актуальним.

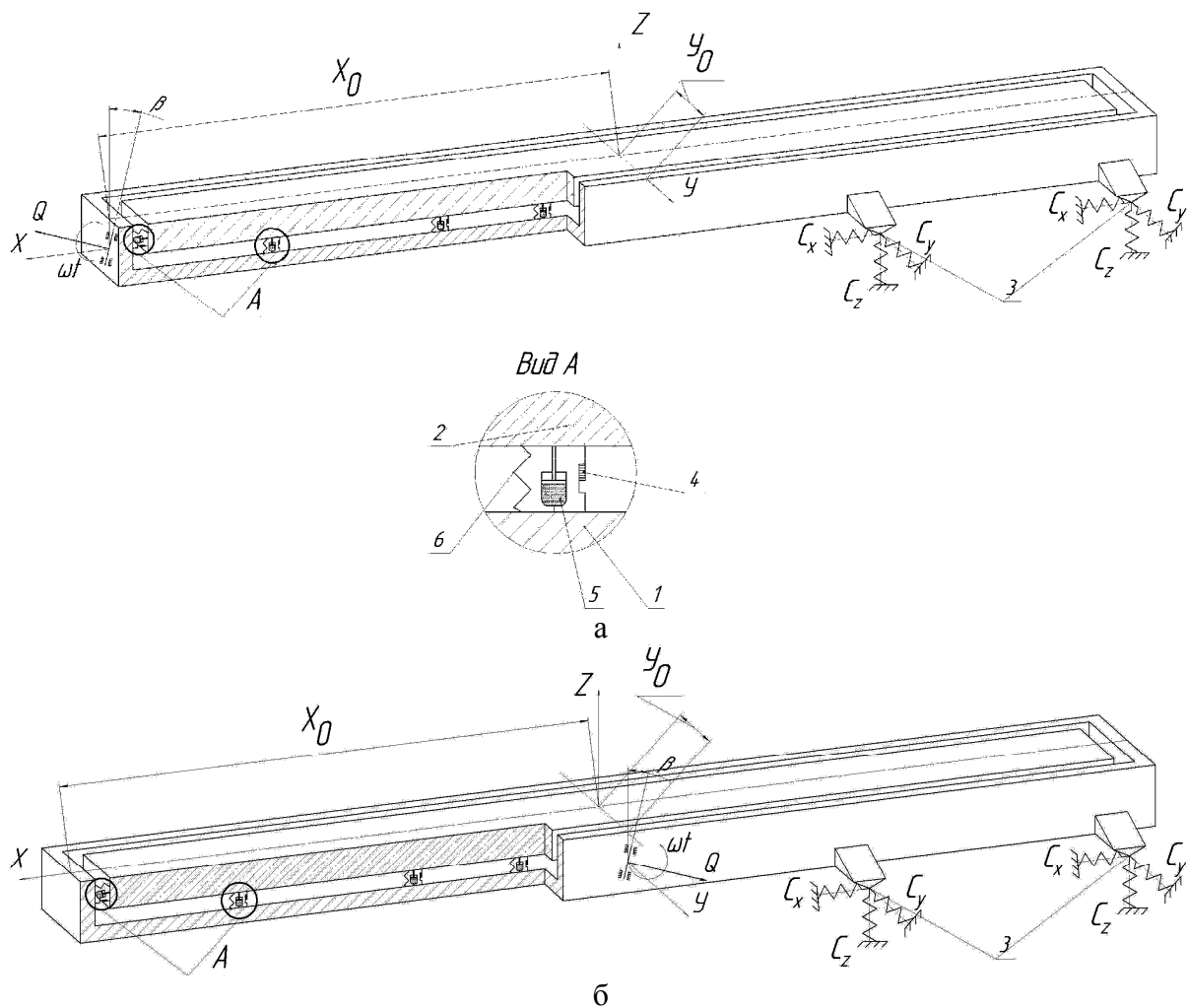


Рисунок 1 – Динамічна модель вібраційної форми:

а – з вібробудувачем, розміщеним на торці форми; б – із вібробудувачем, розміщеним на довгій стороні форми;

1 – вібраційна форма; 2 – бетонна суміш; 3 – віброопори;

4 – реологічна модель Сен-Венана; 5 – реологічна модель Ньютона;

6 – реологічна модель Гука

Метою роботи є складення динамічної моделі "вібромашина–ущільнюване середовище" у вигляді системи диференціальних рівнянь, які описують процес ущільнення бетонної суміші з урахуванням впливу реологічних властивостей останньої на процес формування.

Виклад основного матеріалу досліджень. Розроблена динамічна модель вібраційної машини на прикладі форми з просторовим рухом робочого органа, коливання якого збуджуються одним віброзбуджувачем, установленим на торці або на подовжній стороні форми (рисунок 1, а, б). Вона враховує вплив бетонного середовища, що ущільнюється, на робочий орган за допомогою двох коефіцієнтів затухання коливань у бетонній суміші.

Вплив середовища на робочий орган ураховуємо за рахунок уведення у рівняння коефіцієнтів затухання коливань: у горизонтальній площині – χ [1], у вертикальній площині – ζ [3].

$$\left\{ \begin{array}{l}
 M_0 \cdot \left(\frac{\partial^2 X_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{11} \cdot X_0(t) + C_{15} \cdot \eta - Q \cdot \chi \cdot (X_0(t) - X_v) \times \\
 \times (\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega \cdot t) - \sin(\alpha) \cdot \sin(\omega \cdot t)) = 0; \\
 M_0 \cdot \left(\frac{\partial^2 Y_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{22} \cdot Y_0(t) + C_{24} \cdot \theta - Q \cdot \chi \cdot (Y_0(t) - Y_v) \times \\
 \times (\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega \cdot t) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\omega \cdot t)) = 0; \\
 M_0 \cdot \left(\frac{\partial^2 Z_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{33} \cdot Z_0(t) + Q \cdot \zeta \cdot (\sin(\beta) \cdot \cos(\omega \cdot t)) = 0; \\
 J_x \cdot \left(\frac{\partial^2 X_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{24} \cdot X_0(t) + C_{44} \cdot \theta + Q \cdot \chi \cdot (X_0(t) - X_v) \times \\
 \times ((Z_v \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) + Y_v \sin(\beta)) \cdot \cos(\omega \cdot t) + Z_v \cos(\alpha) \sin(\omega \cdot t)) = 0; \\
 J_y \cdot \left(\frac{\partial^2 Y_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{51} \cdot Y_0(t) + C_{55} \cdot \eta - Q \cdot \chi \cdot (Y_0(t) - Y_v) \times \\
 \times ((Z_v \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) + X_v \sin(\beta)) \cdot \cos(\omega \cdot t) - Z_v \sin(\alpha) \sin(\omega \cdot t)) = 0; \\
 J_z \cdot \left(\frac{\partial^2 Z_0(t)}{\partial t^2} \right) + C_{66} \cdot \psi - Q \cdot \zeta \cdot ((X_v \sin(\alpha) - Y_v \cos(\alpha)) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega \cdot t) + \\
 + (X_v \cos(\alpha) + Y_v \sin(\alpha)) \sin(\omega \cdot t)) = 0,
 \end{array} \right. \quad (1)$$

де t – час вібродії; M_0 – маса форми з обладнанням;

$C_{11}, C_{15}, C_{22}, C_{24}, C_{33}, C_{44}, C_{51}, C_{55}, C_{66}$ – коефіцієнти жорсткостей пружної підвіски; X_0, Y_0, Z_0 – координати центра мас;

η, θ, ψ – кути повороту осей $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ рухомої системи координат відносно нерухомої X, Y, Z ;

Q – вимушуюча сила;

α – кут нахилу осі дебалансного вала до вертикалі у поперечній площині;

β – кут нахилу осі дебалансного вала до вертикалі у подовжній площині;

ω – кутова швидкість обертання дебаланса віброзбуджувача;

Z_v, Y_v, X_v – координати осі обертання дебаланса віброзбуджувача;

J_x, J_y, J_z – моменти інерції форми з обладнанням та бетонною сумішшю відносно відповідних осей X, Y, Z ;

χ – коефіцієнт затухання коливань у бетонній суміші вздовж осей X та Y ;

ζ – коефіцієнт затухання коливань у бетонній суміші вздовж осі Z .

Коефіцієнт χ поширення хвиль прийнятий згідно з гіпотезою Б.Б. Голіцина [4] і розрізняється відповідно для трьох типів коливань:

сферичних, колових та плоских [4]. Його розмірність – $\frac{1}{см}$ Коефіцієнт ζ

приймаємо відповідно до реологічних властивостей бетонної суміші [3]. При його визначенні керуємося сукупністю реологічних моделей Сен-Венана, Ньютона та Гука, які досить точно описують властивості бетонної суміші.

Рішення даного рівняння виконуємо за допомогою прикладної програми “Maple” за наступною блок-схемою (рисунок 2).

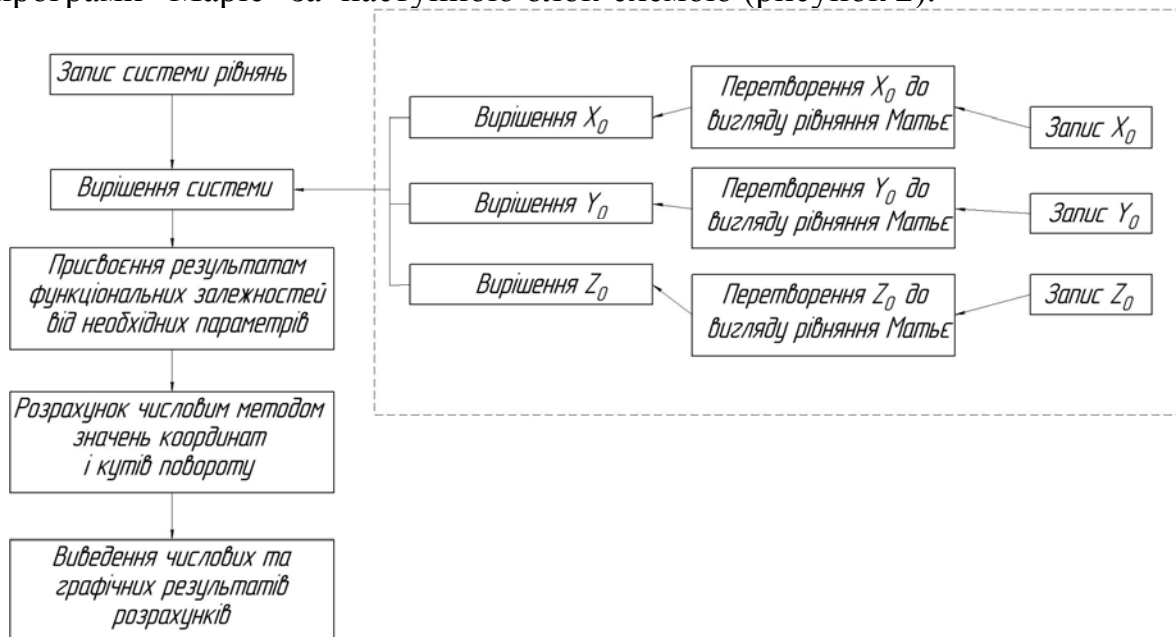


Рисунок 2 – Блок-схема розв’язання запропонованої системи рівнянь на ПЕОМ за допомогою системи комп’ютерної алгебри “Maple”

Висновок. Рішення системи рівнянь дає змогу визначити вібропереміщення довільних точок бетонних сумішей або робочого органа для заданих властивостей бетонних сумішей та режимів ущільнення й отримати значення кількості затраченої енергії на процес ущільнення, що важливо при конструюванні вібротрибок та виборі потужності їх привода.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона/ И.Н.Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Гольдштейн Б.Г. Глубинные вибраторы для уплотнения бетона / Б.Г. Гольдштейн, Л.П. Петрунькин. – М.: Машиностроение, 1966 – 169 с.
3. Гусев Б.В. Вибрационная технология бетона/ Б.В. Гусев, В.Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. – 160 с.
4. Десов А.Е. Вибрированный бетон/ А.Е. Десов – М.: Госстройиздат, 1956. – 230 с.
5. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси / В.И. Сивко – К.: Выш. шк., 1987. – 168 с.
6. Овчинников П.Ф. Виброреология/ П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка, 1983. – 272 с.
7. Орисенко О.В. Дослідження просторового руху робочого органа вібраційної машини для формування трубчастих залізобетонних виробів / О.В. Орисенко, М.П. Нестеренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2000. – Вип. 6, 1. – С. 172 – 175.
8. Олехнович К.А. Исследования характера многокомпонентных колебаний малозумных виброплощадок/ К.А. Олехнович, Ю.И. Виноградов. – Полтава: Полтав. инж.-строит. ин-т, 1980. – 13 с.