

УДК 621.01:531.3

Б.Д.Білоус, М.Ф.Мандзюк, І.П.Пістун

Національний університет «Львівська політехніка»

КРИТЕРІЇ СТІЙКОЇ РОБОТИ ОДНОМАЯТНИКОВОГО ВІБРАТОРА ПРИ ЗМІШАНОМУ ЗБУРЕННІ

В роботі на основі моделі одномаятникового вібратора при змішаному збуренні розроблено критерій його стійкої роботи.

Ключові слова: *вібраційний двигун, маятниковий вібратор.*

Постановка задачі. Вібраційні двигуни з маятниковим вібратором і механізмом вільного ходу — рушії пристроїв допоміжних технологічних рухів на основному технологічному вібраційному обладнанні. Включення в конструкцію двигуна збурюючих електромагнітів ідентифікує кінетичне збурення як додаткову складову до електромагнітного (змішане збурення), яка може перешкоджати електромагнітному збуренню і порушувати стійкість роботи двигуна.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [1] розроблено модель одномаятникового вібратора двигуна при змішаному збуренні. У роботі [2] запропоновано критерії оцінки руху маятникових вібраторів вібраційних двигунів за кінетичного збурення. Однак в ній не розроблений критерій стійкої роботи двигуна при змішаному збуренні.

Мета досліджень. Мета роботи полягає у розробці критерію стійкої роботи маятникового вібратора при змішаному збуренні.

Основний матеріал. Розрахункова схема одномаятникового вібратора зі змішаним збуренням зображена на рис. 1. Вона складається з фізичного маятника 1 з пружною системою 2, фігурного якоря 3, електромагнітів 4.1 і 4.2.

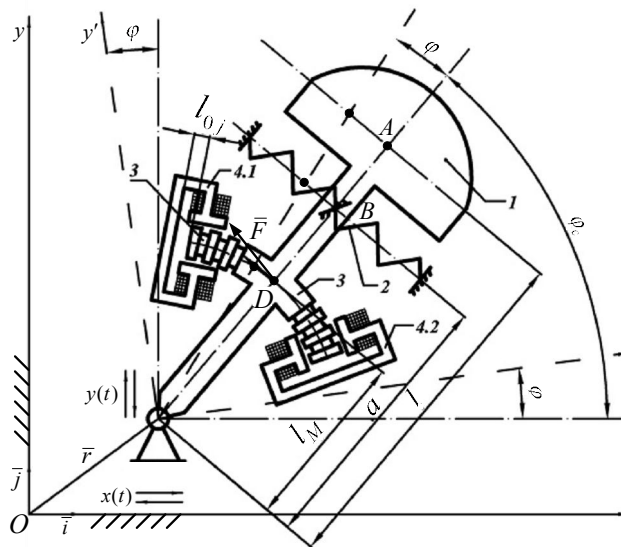


Рис. 1. Розрахункова схема одномаятникового вібратора зі змішаним збуренням
Припустимо, що на маятник вібратора діє вібраційне поле:

$$\begin{cases} x(t) = d \cos vt; \\ y(t) = b \sin(vt + \alpha), \end{cases} \quad (1)$$

тут d , b — параметри, що характеризують горизонтальну та вертикальну складові вібраційного поля; v — частота коливань; α — кут зсуву фаз між горизонтальною та вертикальною складовими вібраційного поля.

Модель динаміки маятникового вібратора зі змішаним збуренням кінетичним та електромагнітним має вигляд [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} I\ddot{\varphi} + \lambda\dot{\varphi} = mgl \sin \varphi - ca^2\varphi + ml[\ddot{x}(\cos \varphi \sin \varphi_c + \sin \varphi \cos \varphi_c) + \\ + \dot{y}(\sin \varphi \sin \varphi_c - \cos \varphi \cos \varphi_c)] + \frac{l_M}{2\mu_b S_j} \Phi_j^2, \\ \Phi_j = \frac{\mu_b w_j (i_j) S_j}{(l_{0j} - l_M \varphi)}, \\ \left[w_j \frac{d\Phi_j}{dt} + i_j R_j - u_j(t) \right] \sigma_j(t) = 0, \\ j = 1, 2. \end{array} \right. \quad (2)$$

тут I — сумарний момент інерції маятника 1 та якорів 2 відносно осі O' ; $\ddot{\varphi}$ — кутове прискорення маятника; $\dot{\varphi}$ — кутова швидкість маятника; λ — коефіцієнт в'язкого опору; m — сумарна маса маятника 1 та якорів 2; g — прискорення земного тяжіння; c — жорсткість пружної системи; a, l, l_M — геометричні параметри маятникового вібратора; φ — кут відхилення маятника від положення рівноваги, яке визначається кутом φ_c ; Φ_j — магнітний потік; w_j — кількість витків котушки j -ого магніта; i_j — струм у витках котушки; S_j — площа взаємного перекриття поперечних перерізів якоря та котушки електромагніта в зазорі (ефективна площа); l_{0j} — зазор між осердям котушки і якорем електромагніта в положенні рівноваги якоря; μ_b — магнітна проникність повітря; j — формальний індекс, що характеризує, який з електромагнітів створює збуджуючу силу на маятнику вібратора; R_j — активний опір катушки j -ого електромагніта; $u_j(t)$ — напруга живлення j -ого електромагніта, яка змінюється за синусоїдальним законом; $\sigma_j(t)$ — одинична функція, визначає черговість роботи котушок електромагніта.

Позначимо:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{2I} \quad (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{ca^2 - mgl \sin \varphi_c}{I}} \quad (4)$$

$$\mu = \frac{mlv^2}{I} \sqrt{(b \cos \alpha \cos \varphi_c)^2 + (d \cos \varphi_c + b \sin \alpha \sin \varphi_c)^2} \quad (5)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{l_{0j}^2} \mu_b^2 w_j^2 (i_j)^2 S_j^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{2l_M}{l_{0j}} \quad (7)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{l_M}{2\mu_b S_j I} \quad (8)$$

Тоді перше рівняння моделі (2) набуде вигляду:

$$\ddot{\varphi} + 2\lambda_1 \dot{\varphi} + \left\{ k^2 - [\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 - \mu \sin(vt + \varphi_1)] \right\} \varphi = \varepsilon_2 \sin(vt + \varphi_2) + \varepsilon_1 \varepsilon_3 \quad (9)$$

Члени $\mu \sin(vt + \varphi_1)$ і $\varepsilon_2 \sin(vt + \varphi_2)$ характеризують кінетичне збурення маятникового вібратора з частотою збурення v , а величина ε_1 — гармонічна синусоїдальна функція, яка характеризує силове електромагнітне збурення з частотою ω .

Магнітний потік у зазорі електромагніта представимо у вигляді:

$$\Phi_j = \frac{\mu_b^2 w_j^2 (i_j)^2 S_j^2}{l_{0j}^2 \left(1 - \frac{l_M}{l_{0j}} \varphi \right)^2} = \frac{\mu_b^2 w_j^2 (i_j)^2 S_j^2}{l_{0j}^2} \left(1 + \frac{2l_M}{l_{0j}} \varphi \right) \quad (10)$$

Практика використання вібраційних двигунів у діючих технологічних комплексах дозволяє зробити висновок, що частоти кінетичного і електромагнітного збурень близькі між собою. Тому з достатньою для практичних потреб точністю будемо вважати, що:

$$v = \omega + \Delta\omega; \quad \Delta\omega \ll \omega, \quad (11)$$

Рівняння (9) з врахуванням умови (11) набуде вигляду:

$$\ddot{\varphi} + 2\lambda_1\dot{\varphi} + [k^2 - q_a \sin(\omega t + \psi_1)] = q_b \sin(\omega t + \psi_2) \quad (12)$$

тут:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 - \mu \sin(vt + \varphi_1) = q_a \sin(\omega t + \psi_1) \\ \varepsilon \sin(vt + \varphi_2) + \varepsilon_1 \varepsilon_3 = q_b \sin(\omega t + \psi_2) \\ q_a = \sqrt{(\varepsilon_2 \varepsilon_3)^2 + \mu^2 + 2\mu \varepsilon_2 \varepsilon_3 \cos(\Delta\omega - \varphi_1)} \\ q_b = \sqrt{\varepsilon_3^2 + \varepsilon^2 + 2\varepsilon_3 \varepsilon \cos(\Delta\omega - \varphi_2)} \\ \psi_1 = \arctg \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_3 \sin \varphi_1 + \mu \sin \Delta\omega t}{\varepsilon_2 \varepsilon_3 \cos \varphi_1 + \mu \cos \Delta\omega t} \\ \psi_2 = \arctg \frac{\varepsilon_3 \sin \varphi_2 + \varepsilon \sin \Delta\omega t}{\varepsilon_3 \cos \varphi_2 + \varepsilon \cos \Delta\omega t} \end{cases} \quad (13)$$

Загальний розв'язок цього рівняння необмежено стійкий при виконанні умови:

$$\lambda_1^2 > \frac{1}{8} [k^2 - q_a + k\sqrt{k^2 - 2q_a}] \quad (14)$$

Дослідження проведені в [3], характеризують його як універсальний критерій стійкості розв'язків диференціальних рівнянь другого порядку з періодичними коефіцієнтами. Оскільки вібраційний двигун — привідний пристрій, призначений для подолання сил корисного і загального опорів рухові ведучої і веденої систем, то коефіцієнт опору завжди знаходиться в межах, що забезпечує стійкі коливання вібраторів, а значить і виконання умов (12). Умова (11) виконується автоматично на вібраційному обладнанні, яке за звичай генерує вібраційне поле на частотах близьких до 25 Гц (157 с⁻¹) або їй кратній. При використанні вібродвигунів на звичайному обладнанні, де наявність вібраційного поля носить ймовірнісний характер, частота цього поля також кратна 25 Гц. Це дає змогу говорити про те, що умова (11) — однозначна. Викладене дає змогу вважати сукупність формул (11) і (14) за критерій стійкості роботи одномаятникового вібратора при змішаному збуренні.

Висновок. Запропонований критерій дозволяє оцінити необхідність використання додаткового електромагнітного збурення та можливість забезпечити стійку роботу вібраційного двигуна при заданих параметрах.

1. Білоус А.Б., Кузьо І.В. Математична модель динаміки маятникового вібратора при кінетичному і силовому збуренні. // *Машинознавство*. – 2006. - №5. – С. 38-41.
2. Білоус Б.Д., Бучківський Б.Р. Критерії оцінки руху маятникових вібраторів вібраційно-імпульсних рушіїв за кінетичного збурення. // *Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні»*, Випуск 41. — 2007.
3. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линеинные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972. с.718.