

## ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДОДАТКОВОГО ДИНАМІЧНОГО ПІДСИЛЕННЯ КОЛИВАНЬ У РОЗРАХУНКУ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ МІЖРЕЗОНАНСНИХ ВІБРОМАШИН

О.С. Ланець, 2009

**Виведені аналітичні залежності для максимально можливого значення додаткового підсилення коливань у високоефективній міжрезонансній механічній коливальній системі з дотриманням чітких вимог двох резонансних налагоджень.**

**In the article analytical dependences hatch for the maximally possible value of the additional strengthening of vibrations in the high-efficiency inter-resonance mechanical oscillating system with the observance of clear requirements two resonances adjusting.**

**Вступ.** Використання на практиці низки нових аналітичних залежностей вимагає чіткого формування меж, в яких вони можуть використовуватись. Це забезпечує високу ймовірність сходження теоретичних та практичних результатів та дозволяє уникати помилок під час проектування.

**Огляд літератури та постановка задачі.** Відома теорія синфазних коливань [1] розрахунку високоефективного міжрезонансного тримасового вібраційного технологічного обладнання. Результатом розрахунку згідно з запропонованою теорією є те, що аналітично встановлюються параметри тримасової механічної коливальної системи (МКС), виконання яких забезпечить наступну картину руху коливальних мас. Дві суміжні маси, а саме проміжна 2 та реактивна 3 (рис. 1, а), які з'єднані між собою за допомогою пружної системи 5 з сумарною жорсткістю пружних елементів  $c_2$ , рухатимуться синфазно (як одне ціле з однаковими амплітудами коливань) завдяки прикладеному між ними періодично змінному збуджувальному зусиллю  $p(t)$ . Активна коливальна маса 1, кінематично збуджується від проміжної маси 2 через резонансну пружну систему 4 з сумарною жорсткістю  $c_1$ , рухатиметься в протифазі до двох суміжних мас (рис. 1, б).

Сумарні жорсткості  $c_1$  та  $c_2$  пружних систем, що з'єднують відповідно активну масу з проміжною та проміжну масу з реактивною, визначаються як:

$$c_1 = m_a \left( \frac{\omega}{z_1} \right)^2; \quad c_2 = m_p \left( \frac{\omega}{z_2} \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{де } z_1 = \frac{z}{\sqrt{\frac{m_p \eta + m_n (\eta - 1)}{(\eta - 1)(m_a + m_n) + m_p \eta}}}; \quad z_2 = \frac{z}{\sqrt{\eta}}$$

$m_a, m_n, m_p$  – інерційні значення відповідно активної, проміжної та реактивної мас у разі їх лінійних переміщень;  $z$  – резонансне налагодження МКС

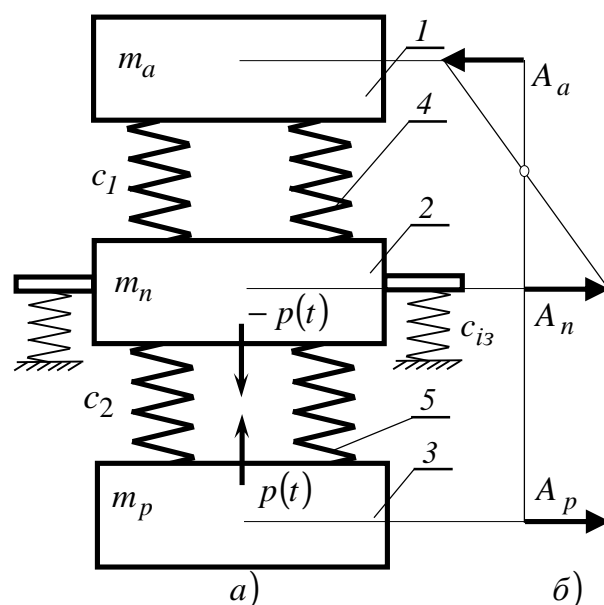


Рис. 1. Структурна схема (а) та розподіл амплітуд коливань мас (б) для тримасової механічної коливальної системи, що порахована згідно з запропонованою теорією [1]

(відносно другої власної частоти коливань);  $\omega$  – частота вимушених коливань МКС;  $\eta$  – безрозмірний коефіцієнт, який називатимемо часткою від жорсткості  $c_2$ , що математично він собою і являє:

$$\eta = \frac{m_a m_n \left(\frac{\omega}{z}\right)^2 - c_1(m_a + m_n)}{m_a \left(\frac{\omega}{z}\right)^2 (m_n + m_p) - c_1(m_a + m_n + m_p)}. \quad (2)$$

Значення реактивної маси  $m_p$  за уже відомих активної та проміжної мас визначається згідно з формулою

$$m_p = \frac{1}{2 \cdot \eta(1-z^2)} \left[ (1-z^2)(m_n - 2\eta m_n - \eta m_a) - z^2 m_a \pm \sqrt{z^4 [2m_a m_n (1-\eta) + m_a^2 (1-\eta)^2 + m_n^2] + 2z^2 [m_a^2 (\eta - \eta^2) - m_n^2 - m_a m_n] + (\eta m_a + m_n)^2} \right]. \quad (3)$$

Відомо, що за певних значень частки жорсткості  $\eta$  МКС має додаткові підсилення коливань  $D$  порівняно з традиційними системами:

$$\eta = \frac{(D-1)(z^2 m_a + z^2 m_n - m_n) + m_a(1-2D+D^2)}{m_a D(z^2 + D-1)}. \quad (4)$$

Нелінійна графічна залежність  $D$  від частки жорсткості  $\eta$  наведена на рис. 2. Початкові параметри для побудови графіка такі:  $m_a = 5$  кг;  $m_n = 20$  кг.

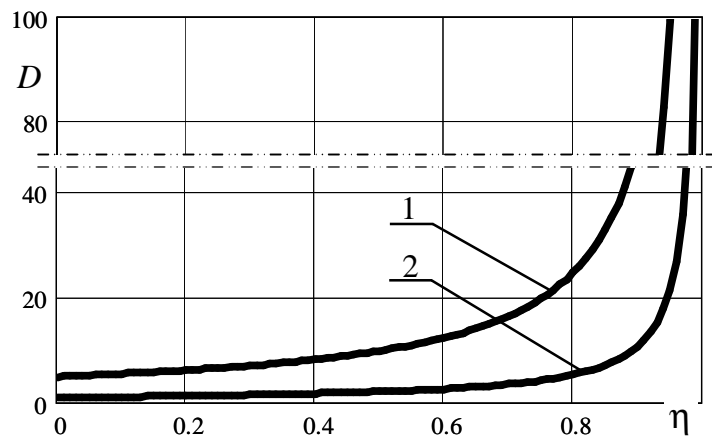


Рис. 2. Залежність додаткового підсилення коливань  $D$  від частки жорсткості  $\eta$ :  
1 – коли  $z = 0.1$ ; 2 – коли  $z = 0.99$

Як очевидно, значення для параметра  $D$  можуть бути кількох порядків. Тобто новостворена МКС з використанням теорії [1] теоретично може бути у 100 та більше разів ефективнішою за традиційні конструкції. Однак на практиці необхідно дотримуватись певних положень, таких, як забезпечення певного резонансного налагодження як за другим основним резонансним піком, так і за першим відносно частоти вимушених коливань. Необхідно встановити максимально можливу межу значення  $D$  з дотриманням чітких вимог двох резонансних налагоджень, що і буде виконано у цій статті.

**Виклад матеріалу.** Якщо резонансне налагодження МКС за другим основним піком чітко встановлюється значенням  $z$  (див. формули вище), то налагодження за першим піком не регламентоване. Однак відомо, що перша власна частота коливань визначається як [2] (рис. 3):

$$\omega_{e1} = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{c_1}{m_a} + \frac{c_2}{m_p} + \frac{c_1 + c_2}{m_n} \right) - \frac{1}{2} \sqrt{\left( \frac{c_1}{m_a} + \frac{c_2}{m_p} + \frac{c_1 + c_2}{m_n} \right)^2 - 4 \frac{c_1 c_2}{m_a m_n m_p} (m_a + m_n + m_p)}}. \quad (5)$$

Введемо резонансне налагодження  $\tilde{z}$  першого піка власної частоти  $\omega_{e1}$  відносно частоти вимушених коливань  $\omega$  і запишемо його як:

$$\tilde{z} = \frac{\omega}{\omega_{e1}}. \quad (6)$$

Розв'язуючи як систему рівнянь усі вищенаведені вирази окрім (2), максимально можливе значення для  $D$  не повинно бути більшим:

$$D \leq \frac{z^2 \tilde{z}^2}{1 - \tilde{z}^2} + 1. \quad (7)$$

За умови, що  $z = \tilde{z}$ , вираз (7) перепишемо як:

$$D \leq \frac{z^4}{1 - z^2} + 1. \quad (8)$$

Використовуючи вирази (7) та (8) можна попередньо встановити максимально можливе значення для значення додаткового підсилення коливань  $D$  (рис. 4). Цікаво те, що ці вирази не залежать ні від інерційних, ні від жорсткісних параметрів МКС і мають доволі простий вигляд, незважаючи на громіздкість системи рівнянь, з якої вони виводились. Саме виведення обох виразів проводилось в математичному програмному продукті MathCAD 12 з використанням символічних розрахунків.

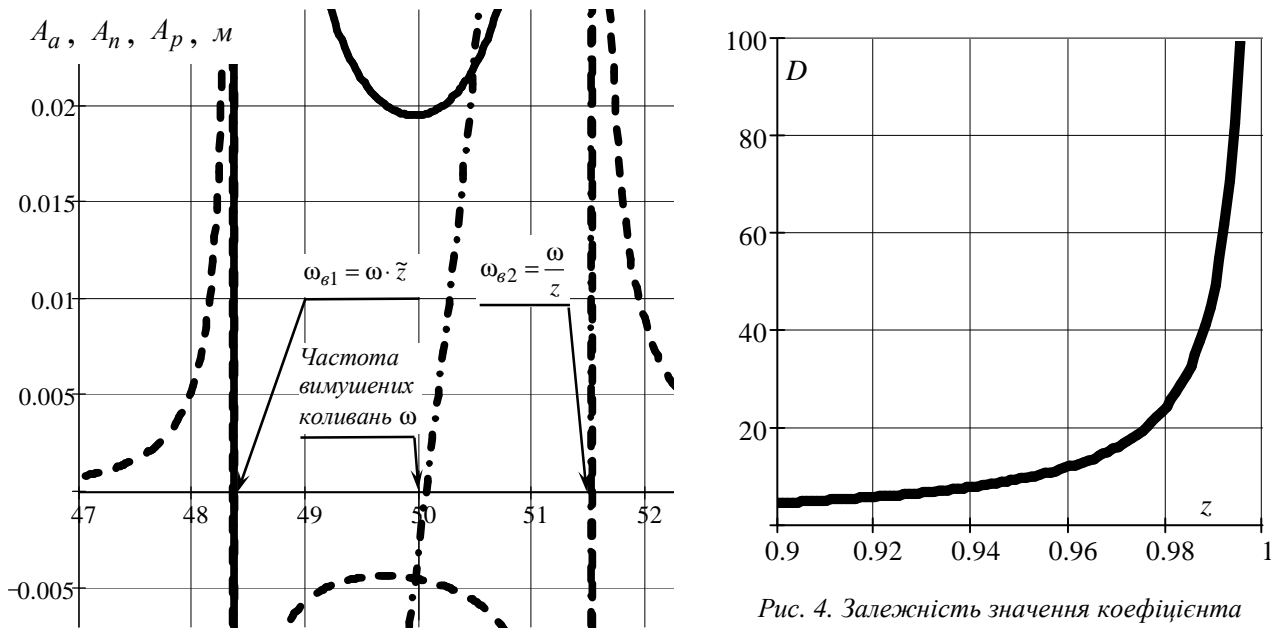


Рис. 3. АЧХ високоефективної МКС

Рис. 4. Залежність значення коефіцієнта додаткового підсилення коливань  $D$  резонансного налагодження  $z$

**Висновки.** Виведені аналітичні залежності (7) та (8) забезпечують обґрунтований вибір параметра  $D$ , який під час проектних робіт вибирали довільно. Саме дотримання чіткої аналітично встановленої межі унеможливить збіг першого піка власної частоти коливань МКС вібраційної машини з частотою вимушених коливань і забезпечить стабільність руху коливальних мас.

1. Ланець О. С. Високоефективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом (Теоретичні основи та практика створення): монографія / О.С. Ланець. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 324 с. 2. Писаренко Г.С. Справочник по сопроствленню матеріалів / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наук. думка, 1988. – 736 с.