



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **41550** (13) **U**
(51) МПК (2009)
G01H 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНОЇ ДИСИПАТИВНОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) u200815210

(22) 29.12.2008

(24) 25.05.2009

(46) 25.05.2009, Бюл.№ 10, 2009 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ, UA

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA

(57) Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими коливань коливальної системи, в кожному режимі задають початкове і кінцеве значення амплітуди коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють перший і другий часові інтервали і число циклів коливань в першому і другому часових інтервалах при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від її початкового до кінцевого значення, який **відрізняється** тим, що формують два режими вимушених коливань нелінійної коливальної системи, в першому з яких частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із постійною швидкістю V_1 , а в другому - із постійною швидкістю V_2 , в режимах вимушених коливань початкові значення амплітуд коливань задають однаковими і кінцеві значення амплітуд

коливань задають однаковими, вимірювання першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимірювання другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2 ($V_2 \neq V_1$, $V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$), а визначення параметра ω_0 проводять із співвідношення:

$$\omega_0 = \frac{\left[2\pi(n_1 - n_2) + \frac{1}{2}(V_1\Delta_1^2t - V_2\Delta_2^2t) \right]}{(\Delta_1t - \Delta_2t)},$$

де: ω_0 - частота вільних коливань лінійної породжувальної системи;

Δ_1t, Δ_2t - перший і другий часові інтервали відповідно;

n_1, n_2 - числа циклів в першому і другому часових інтервалах відповідно.

Корисна модель відноситься до області машинобудівної, авіаційної і космічної техніки, а саме до способів визначення параметрів вільних коливань нелінійних дисипативних коливальних систем із кінцевим числом ступенів вільності, і може бути, зокрема, застосована при визначенні моментів інерції механічних коливальних систем.

Відомий спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким задають перше початкове значення амплітуди коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють перший і другий часові інтервали зміни амплітуди коливань (Гернет М.М., Ра-тобильский В.Ф. Определение моментов инерции.- М.: Машиностроение, 1969, с.84, 85,207,209).

Недолік відомого способу - недостатня точність, яка пояснюється помилками за рахунок прийнятого допущення про те, що коефіцієнт анізохронності коливань не залежить від амплітуди коливань.

За прототип вибрано спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким задають перше початкове і перше кінцеве значення амплітуди вільних коливань, вимірюють перший і другий часові інтервали зміни амплітуди коливань, вимір першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від першого початкового значення до першого кінцевого значення, потім задають друге початкове і друге кінцеве значення амплітуди вільних коливань, вимір другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від її другого початкового значення до другого кінцевого значення, після чого змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи і приводять вищевказану сукупність операцій по виміру першого і другого часових інтервалів і чисел циклів в кожному часовому інтервалі при зміні амплітуди вільних коливань від її першого почат-

(13) U

(11) 41550

(19) UA

кового значення до першого кінцевого значення, від другого початкового значення до другого кінцевого значення відповідно, а визначення параметра нелінійної дисипативної коливальної системи проводять при урахуванні часових інтервалів і чисел циклів вільних коливань (Ав. св. СССР №1703990, МПКG01H 11/00, 1992).

Недолік відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи - недостатня інформативність за рахунок невизначеності положення нелінійного резонансного піка в частотному діапазоні, а тому і невизначеності вибору початкових умов для реалізації режимів вільних коливань, а також складність алгоритму за рахунок необхідності зміни інерційності, тим самим неможливість із достатньою точністю визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи шляхом розширення функціональних можливостей способу за рахунок зменшення складності шляхом проведення нових технологічних операцій по реєстрації і вимірюванню щонайменше двох часових інтервалів і чисел циклів коливань в цих інтервалах при реалізації відповідно двох режимів нестационарних вимушених коливань із постійними, але різними для кожного режиму швидкостями зміни частоти сигналу збуджувальної дії.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими коливань коливальної системи, в кожному режимі задають початкове і кінцеве значення амплітуди коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють перший і другий часові інтервали і число циклів коливань в першому і другому часових інтервалах при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від її початкового до кінцевого значення, згідно з корисною моделлю, формують два режими вимушених коливань нелінійної коливальної системи, в першому з яких частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із постійною швидкістю V_1 , а в другому - із постійною швидкістю V_2 , в режимах вимушених коливань початкові значення амплітуд коливань задають однаковими і кінцеві значення амплітуд коливань задають однаковими, вимір першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимір другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2 ($V_2 \neq V_1$, $V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$), а визначення параметра ω_0 проводять із співвідношення:

$$\omega_0 = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \frac{1}{2}(V_1\Delta_1^2t - V_2\Delta_2^2t)}{(\Delta_1t - \Delta_2t)}$$

де: ω_0 - частота вільних коливань лінійної породжувальної системи;

Δ_1t, Δ_2t - перший і другий часові інтервали відповідно;

n_1, n_2 - числа циклів в першому і другому часових інтервалах відповідно.

Застосування запропонованого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує можливість визначення параметрів нелінійної коливальної системи за рахунок введення нових технологічних операцій по вимірюванню і реєстрації двох часових інтервалів і чисел циклів в цих часових інтервалах при реалізації двох режимів вимушених коливань із постійними, але різними швидкостями зміни частоти сигналу збуджувальної дії.

Розробка нового алгоритму визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи базується на наступних теоретичних перетвореннях.

Розглянемо коливальну систему із однією ступінню вільності, яка знаходиться під дією зовнішніх періодичних сил, що явно залежать від часу (Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. - М.: Физматгиз, 1974. - С. 277-294) для якої диференціальне рівняння має вигляд

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = \mathcal{E}f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right), \quad (1)$$

де: $\omega_0^2 = cm^{-1}$, c - коефіцієнт жорсткості, m - маса коливальної системи; $\mathcal{E} > 0$ - малий позитивний

параметр, $f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right)$ - функція, що має періодичний характер по відношенню до ωt із періодом 2π .

Рівняння (1) інтерпретують як рівняння коливань деякої механічної системи одиничної маси із частотою ω_0 вільних коливань, яка знаходиться під дією малого нелінійного збудження

$\mathcal{E}f\left(\omega t, x, \frac{dx}{dt}\right)$, що залежить від часу t .

При заданні рішення (1) у вигляді ряду

$$x = X_a \cos\left(\frac{p}{q}\omega t + \psi\right) + \varepsilon u_1(X_a, \omega t, \psi) + \varepsilon^2 u_2(X_a, \omega t, \psi) + \dots, \quad (2)$$

де X_a і ψ визначають із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \psi) + \varepsilon^2 A_2(X_a, \psi) + \dots \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_0 - \frac{p}{q}\omega + \varepsilon B_1(X_a, \psi) + \varepsilon^2 B_2(X_a, \psi) + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де p, q - взаємно прості числа.

Для отримання першого наближення розглядають головну гармоніку

$$x = X_a \cos \Theta, \quad \Theta = \frac{p}{q}\omega t + \psi, \quad (4)$$

а система рівнянь (3) для першого наближення має вигляд

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \psi), \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_0 - \frac{p}{q} \omega + \varepsilon B_1(X_a, \psi), \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для головного резонансу $p = q = 1$, а система (5) набуває вигляду

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \psi), \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_0 - \omega + \varepsilon B_1(X_a, \psi), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Проведемо нескладні перетворення (6) для виключення ε :

1) проведемо операцію ділення

$$\frac{\frac{d\psi}{dt} - \omega_0 + \omega}{\frac{dX_a}{dt}} = \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)}. \quad (7)$$

2) проведемо алгебраїчне перетворення (7)

$$d\psi + \omega dt - \omega_0 dt = \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a. \quad (8)$$

При умові, якщо частота ω сигналу зовнішньої дії залежить від часу лінійно, тобто $\omega = Vt$, де V - постійна швидкість зміни частоти, і після операції інтегрування лівої і правої частин рівняння (8), отримаємо таке співвідношення

$$2\pi n + \frac{1}{2} V \Delta^2 t - \omega_0 \Delta t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a, \quad (9)$$

де n - число циклів коливань в часовому інтервалі Δt , значення амплітуди коливань на початку часового інтервалу дорівнює X_{a1} , значення амплітуди коливань на кінці часового інтервалу дорівнює X_{a2} .

При реалізації двох режимів вимушених коливань при зміні частоти сигналу вимушеної дії із швидкостями $V_1, V_2 (V_2 > V_1)$ із співвідношення (9) отримаємо два таких співвідношення

$$\left. \begin{aligned} 2\pi n_1 + \frac{1}{2} V_1 \Delta_1^2 t - \omega_0 \Delta_1 t &= \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a \\ 2\pi n_2 + \frac{1}{2} V_2 \Delta_2^2 t - \omega_0 \Delta_2 t &= \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1(X_a, \psi)}{A_1(X_a, \psi)} dX_a \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Із системи (10) отримаємо співвідношення для визначення параметра ω_0 .

$$\omega_0 = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \frac{1}{2}(V_1 \Delta_1^2 t - V_2 \Delta_2^2 t)}{(\Delta_1 t - \Delta_2 t)}$$

Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують на підставі наступного алгоритму.

1) Формують режим вимушених коливань досліджувальної коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , задають початкове X_{a1} і кінцеве X_{a2} значення амплітуди вимушених коливань.

2) Вимірюють і реєструють перший часовий інтервал $\Delta_1 t$ і число n_1 циклів в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} .

3) Формують другий режим вимушених коливань коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із другою постійною швидкістю V_2 , задають також початкове X_{a1} і кінцеве X_{a2} значення амплітуди коливань.

4) Вимірюють і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} .

Новим в алгоритмі є проведення операцій вимірювання, реєстрації і запам'ятовування двох часових інтервалів і двох значень чисел циклів в цих часових інтервалах при реалізації двох режимів вимушених коливань при умові зміни частоти сигналу збуджувальної дії із постійними, але різними швидкостями і при умові реєстрації зміни амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення до постійного кінцевого значення.

Спосіб визначення параметрів коливань нелінійної дисипативної коливальної системи реалізується таким чином.

1) Установлюють досліджувальний об'єкт на рухомій платформі вібростенда електродинамічного типу.

2) Послідовно реалізують два режими вимушених коливань досліджувального об'єкта, в кожному з яких фіксують постійне початкове значення амплітуди вимушених коливань об'єкта і постійне кінцеве значення амплітуди вимушених коливань об'єкта.

3) При реалізації першого режиму вимушених коливань установлюють одну постійну швидкість V_1 зміни частоти сигналу збуджувальної дії, при реалізації другого режиму установлюють другу постійну швидкість V_2 зміни частоти сигналу збуджувальної дії.

4) В кожному режимі вимірюють і фіксують величину часового інтервалу і число циклів в часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від одного і того ж початкового постійного значення до одного і того ж кінцевого постійного значення.

5) За допомогою вимірювально-обчислювального комплексу проводять обробку множини зафіксованих сигналів на підставі отриманих аналітичних співвідношень і визначають значення параметрів досліджувального об'єкта.

