



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54903 (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) u201006999

(22) 07.06.2010

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл.№ 22, 2010 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, що включає формування двох режимів вимушених коливань, в кожному із режимів задають початкове і кінцеве значення амплітуд вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють величини першого і другого часових інтервалів $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$ і числа циклів (періодів) n_1 , n_2 коливань в цих часових інтервалах відповідно, змінюють частоту сигналу вимушеної дії при зміні амплітуди вимушених коливань в кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення в першому режимі із першою постійною швидкістю V_1 , а в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , фіксують значення середніх частот ω_{cp1} , ω_{cp2} в першому і другому режимах відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} , який відрізняється тим,

що задають в першому і другому режимах вимушених коливань перше початкове і перше кінцеве X_{a1} , X_{a2} , друге початкове і друге кінцеве X_{a3} , X_{a4} значення амплітуд вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи відповідно, змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи і проводять вищевказану сукупність операцій по визначенню третього $\Delta_3 t$ і четвертого $\Delta_4 t$ часових інтервалів і чисел циклів n_3 , n_4 коливань в цих часових інтервалах відповідно при зміні амплітуди вимушених коливань від її першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} , від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} фіксують в третьому і четвертому режимах значення середніх частот ω_{cp3} , ω_{cp4} третього і четвертого діапазонів частот відповідно при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} із третьою постійною швидкістю V_3 , від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} із четвертою постійною швидкістю V_4 , а визначення резонансної частоти ω_s по s-ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

$$\omega_s = \frac{\Delta \omega_s}{\Delta} = \Delta_3 t \left[\pi (\omega_2 - n_4) + \omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t - \Delta_4 t \left[\pi (\omega_1 - n_3) + \omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t - \Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t \right] \right]$$

де

$$\omega_{cp1} = \frac{\omega_{H1} + \omega_{B1}}{2}, \omega_{cp2} = \frac{\omega_{H2} + \omega_{B2}}{2}, \omega_{cp3} = \frac{\omega_{H3} + \omega_{B3}}{2}, \omega_{cp4} = \frac{\omega_{H4} + \omega_{B4}}{2},$$

ω_{H1} , ω_{H2} , ω_{H3} , ω_{H4} - нижні частоти першого, другого, третього і четвертого діапазонів частот відповідно;

ω_{B1} , ω_{B2} , ω_{B3} , ω_{B4} - верхні частоти першого, другого, третього і четвертого діапазонів частот відповідно.

UA (19) 54903 (13) U

Корисна модель відноситься до області машинобудівної, авіаційної і ракетно-космічної техніки, а саме до способів визначення інерційно-жорсткісних параметрів нелінійних дисипативних коливальних систем із кінцевим числом ступенів вільності і може знайти застосування при визначенні моментів інерції механічних коливальних систем.

Відомий спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань нелінійної дисипативної 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, змінюють із першою постійною швидкістю V_1 частоту сигналу вимушеної дії в першому режимі, а в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , задають однаковими в режимах вимушених коливань початкові і кінцеві значення амплітуд коливань, проводять вимірювання першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому інтервалі при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , а 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 і визначають параметр частоти вільних коливань лінійної породжувальної системи із співвідношення числа циклів в першому і другому часових інтервалах відповідно (див. патент України на корисну модель №41550, МПК G01H11/00, 2009 року).

Недоліком відомого способу є обмежені функціональні можливості, тому що при застосуванні джерела енергії обмеженої потужності неможливе визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи.

За найближчим аналогом обраний спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань, в кожному режимі задають однакові початкові і кінцеві значення амплітуд вимушених коливань коливальної системи, вимірюють величини першого і другого часових інтервалів $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$ відповідно і числа циклів n_1 , n_2 в часових інтервалах $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$ відповідно при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення, змінюють частоту сигналу збуджувальної дії в першому режимі із постійною швидкістю V_1 , в другому режимі - із постійною швидкістю V_2 , фіксують значення середніх частот відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} , визначають резонансну частоту ω_s по s -ій нормальній координаті із співвідношення для нижніх і верхніх частот першого і другого діапазонів частот відповідно,

довжини першого і другого часових інтервалів і чисел циклів коливань в цих часових інтервалах (див. патент UA 48344).

Недоліком відомого способу є недостатня точність визначення параметрів нелінійних коливальних систем, яка обумовлена недостатньою по модулю різницею довжини першого і другого часових інтервалів при зміні величини швидкості розгортки частоти від значення V_1 до значення V_2 , а тому і недостатньою по величині різницею чисел циклів n_1 , n_2 коливань.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи шляхом розширення функціональних можливостей за рахунок проведення додаткових технологічних операцій по реєстрації і вимірюванню третього і четвертого часових інтервалів і чисел циклів коливань в цих часових інтервалах при зміні інерційності нелінійної дисипативної коливальної системи, що, в свою чергу, значно підвищує точність визначення параметрів. Поставлене завдання вирішується тим, що у відомому способі визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань, в кожному із режимів задають початкове і кінцеве значення амплітуд вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють величини першого і другого часових інтервалів $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$ і числа циклів (періодів) n_1 , n_2 коливань в цих часових інтервалах відповідно, змінюють частоту сигналу вимушеної дії при зміні амплітуди вимушених коливань в кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення в першому режимі із першою постійною швидкістю V_1 , а в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , фіксують значення середніх частот ω_{cp1} , ω_{cp2} в першому і другому режимах відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} , згідно із корисною моделлю, задають в першому і другому режимах вимушених коливань перше початкове і перше кінцеве X_{a1} , X_{a2} , друге початкове і друге кінцеве X_{a3} , X_{a4} значення амплітуд вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи відповідно, змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи і проводять вищевказану сукупність операцій по визначенню третього $\Delta_3 t$ і четвертого $\Delta_4 t$ часових інтервалів і чисел циклів n_3 , n_4 коливань в цих часових інтервалах відповідно при зміні амплітуди вимушених коливань від її першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} , від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} , фіксують в третьому і четвертому режимах значення середніх частот ω_{cp3} , ω_{cp4} третього і четвертого діапазонів частот відповідно при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} із третьою постійною швидкістю V_3 , від другого початкового значення X_{a3} до другого

кінцевого значення X_{a4} із четвертою постійною швидкістю V_4 , а визначення резонансної частоти

$$\omega_s = \frac{\Delta\omega_s}{\Delta} = \frac{\Delta_3 t [2\pi(\omega_2 - n_4) + \omega_{cp2}\Delta_2 t - \omega_{cp4}\Delta_4 t] - \Delta_4 t [2\pi(\omega_1 - n_3) + \omega_{cp1}\Delta_1 t - \omega_{cp3}\Delta_3 t]}{\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t},$$

де

$$\omega_{cp1} = \frac{\omega_{H1} + \omega_{B1}}{2}, \omega_{cp2} = \frac{\omega_{H2} + \omega_{B2}}{2}, \omega_{cp3} = \frac{\omega_{H3} + \omega_{B3}}{2}, \omega_{cp4} = \frac{\omega_{H4} + \omega_{B4}}{2}.$$

$\omega_{H1}, \omega_{H2}, \omega_{H3}, \omega_{H4}$ - нижні частоти першого, другого, третього і четвертого діапазонів частот відповідно;

$\omega_{B1}, \omega_{B2}, \omega_{B3}, \omega_{B4}$ - верхні частоти першого, другого, третього і четвертого діапазонів частот відповідно.

Застосування запропонованого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує можливість визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи при умові застосування джерел енергії обмеженої потужності і при реалізації чотирьох режимів вимушених коливань із постійною першою швидкістю розгортки частоти сигналу вимушеної дії в першому режимі, із постійною другою швидкістю розгортки частоти сигналу вимушеної дії в другому режимі, із постійною третьою швидкістю розгортки частоти сигналу вимушеної дії в третьому режимі, із постійною четвертою швидкістю розгортки частоти сигналу вимушеної дії в четвертому режимі, де реалізація третього і четвертого режимів здійснюється при зміні інерційності нелінійної дисипативної коливальної системи. Все це дозволяє вирішити поставлену технічну задачу. Пояснюється це розробленим новим алгоритмом визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, який базується на наступних аналітичних перетвореннях.

При аналізі процесів у вібраційних машинах при умові взаємодії робочого органа (джерела механічної енергії) з коливальною системою проводиться рішення нелінійних диференціальних рівнянь (система приведена до нормальної форми)

$$\frac{d^2 X_k}{dt^2} + \omega_k^2 X_k = \varepsilon f_k(\dot{X}, \ddot{X}, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}), \quad \varepsilon = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$\frac{d^2 X_k}{dt^2} = \varepsilon f(\dot{X}, \ddot{X}, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}) \quad (2)$$

де ε - малий позитивний параметр, що характеризує слабу нелінійність системи;

X_k - координати;

φ - координати обертального руху.

Функції f_k, f визначаються як періодичні з періодом 2π і такі, що диференціюються по аргументах (Пресняков В.К., Филер З.Е. Колебания механической системы, рассматриваемой совместно с двигателем. Динамика и прочность машин, Харьков, изд-во Харьковского университета, - 1971. С.82. Кононенко В.О. Колебательные системы с ограниченным возбуждением, М.: «Наука», - 1964. С.30-35, 51-58. Кононенко В.О. Нелинейные колебания

ω_s по s -ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

механических систем. Киев: «Наукова думка», - 1980. С.90-93, 95-100, 126-130, 201-210).

Беручи до уваги умову, що внутрішні резонанси відсутні, проведемо аналіз системи в області близької до резонансної частоти по s -ій нормальній координаті

$\left(\omega_s \approx \frac{p}{q}\omega\right)$, де p, q - взаємно прості числа; ω - середня за період коливань швидкість (середня частота по діапазону частот).

Рішення системи (1), (2) рівнянь має вигляд

$$\left. \begin{aligned} X_s &= X_a \sin \psi + \varepsilon u_{1s}(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots), \\ X_k &= \varepsilon u_{1k}(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots), \quad \omega \neq \omega_k, \\ \psi &= \frac{p}{q}\omega t + \Theta, \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_{cp} + \varepsilon V_1(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots) \end{aligned} \right\} (3)$$

Для функцій X_a, Θ, ω_{cp} мають місце рівняння

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots) + \varepsilon^2 A_2 + \dots, \\ \frac{d\Theta}{dt} &= \omega_s - \frac{p}{q}\omega + \varepsilon B_1(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots) + \varepsilon^2 B_2 + \dots, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \varepsilon C_1(\omega, \Theta, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \dots) + \varepsilon^2 C_2 + \dots \end{aligned} \right\} (4)$$

Приймаючи умову $p=q=1$ для першого наближення система рівнянь має вираз

$$\frac{dX_a}{dt} = \varepsilon A_1, \quad \frac{d\Theta}{dt} = \omega_s - \omega_{cp} + \varepsilon B_1, \quad \frac{d\omega_{cp}}{dt} = \varepsilon C_1. \quad (5)$$

Проведемо нескладні перетворення системи (5).

1) Проведемо операцію ділення лівих і правих частин першого і другого рівняння системи (5)

$$\frac{\frac{d\Theta}{dt} - \omega_s + \omega_{cp}}{\frac{dX_a}{dt}} = \frac{\varepsilon B_1}{\varepsilon A_1}. \quad (6)$$

Після нескладних перетворень (6) отримаємо таке рівняння

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (7)$$

де $d\Theta = 2\pi n dt$, n - число циклів.

Після інтегрування лівої і правої частини (7) отримаємо таке співвідношення

$$2\pi n - \omega_s \Delta t + \omega_{cp} \Delta t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (8)$$

При проведенні операцій по отриманню (8) не було застосовано третє рівняння системи (5).

При застосуванні другого і третього рівнянь системи (5) отримаємо таке співвідношення

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{C_1} d\omega_{cp}. \quad (9)$$

Однак при застосуванні першого і третього рівнянь системи (5) отримуємо таке співвідношення

$$d\omega_{cp} = \frac{C_1}{A_1} dX_a. \quad (10)$$

При застосуванні (9), (10) отримуємо співвідношення

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{C_1} \cdot \frac{C_1}{A_1} dX_a = \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (11)$$

тобто співвідношення (7) і (11) однакові.

На підставі рівняння (8) отримуємо таку систему рівнянь:

$$2\pi n_1 - \omega_s \Delta_1 t + \omega_{cp1} \Delta_1 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (12)$$

$$2\pi n_2 - \omega_s \Delta_2 t + \omega_{cp2} \Delta_2 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (13)$$

$$2\pi n_3 - \bar{\omega}_s \Delta_3 t + \omega_{cp3} \Delta_3 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (14)$$

$$2\pi n_4 - \bar{\omega}_s \Delta_4 t + \omega_{cp4} \Delta_4 t = \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (15)$$

де n_1, n_2, n_3, n_4 - числа циклів (періодів) коливань в часових інтервалах $\Delta_1 t, \Delta_2 t, \Delta_3 t, \Delta_4 t$ відповідно при реалізації режимів вимушених коливань із швидкостями: V_1, V_3 зміни частоти сигналу

$$\left. \begin{aligned} 2\pi n_1 - \omega_s \Delta_1 t + \omega_{cp1} \Delta_1 t &= 2\pi n_3 - \bar{\omega}_s \Delta_3 t + \omega_{cp3} \Delta_3 t, \\ 2\pi n_2 - \omega_s \Delta_2 t + \omega_{cp2} \Delta_2 t &= 2\pi n_4 - \bar{\omega}_s \Delta_4 t + \omega_{cp4} \Delta_4 t, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

або

$$\left. \begin{aligned} \omega_s \Delta_1 t - \bar{\omega}_s \Delta_3 t &= 2\pi \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right), \\ \omega_s \Delta_2 t - \bar{\omega}_s \Delta_4 t &= 2\pi \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right), \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Визначимо із (17) резонансні частоти $\omega_s, \bar{\omega}_s$ по s -ій нормальній системі координат:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \Delta_1 t \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right) \\ \Delta_2 t \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right) \end{vmatrix} = \Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t, \quad (18)$$

$$\Delta_{\omega_s} = \Delta_3 t \left[2\pi \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right) - \Delta_4 t \left[\pi \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right) \right] \right]; \quad (19)$$

$$\Delta_{\bar{\omega}_s} = \Delta_1 t \left[2\pi \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right) - \Delta_2 t \left[\pi \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right) \right] \right]; \quad (20)$$

$$\omega_s = \frac{\Delta_{\omega_s}}{\Delta} = \frac{\Delta_3 t \left[\pi \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right) - \Delta_4 t \left[\pi \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right) \right] \right]}{\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t}; \quad (21)$$

$$\bar{\omega}_s = \frac{\Delta_{\bar{\omega}_s}}{\Delta} = \frac{\Delta_1 t \left[\pi \left(n_2 - n_4 \right) \mp \left(\omega_{cp2} \Delta_2 t - \omega_{cp4} \Delta_4 t \right) - \Delta_2 t \left[\pi \left(n_1 - n_3 \right) \mp \left(\omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp3} \Delta_3 t \right) \right] \right]}{\Delta_2 t \Delta_3 t - \Delta_1 t \Delta_4 t}; \quad (22)$$

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

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

вимушеної дії (числа циклів n_1, n_3) і V_2, V_4 (числа циклів n_2, n_4) при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} (числа циклів n_1, n_3 ; часові інтервали $\Delta_1 t, \Delta_3 t$), при зміні амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} (числа циклів n_2, n_4 , часові інтервали $\Delta_2 t, \Delta_4 t$);

$\omega_{cp1}, \omega_{cp3}$ - середні частоти діапазонів частот, що відповідають часовим інтервалам $\Delta_1 t, \Delta_3 t$ при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} без зміни інерційності коливальної системи (середня частота ω_{cp1}) і після зміни інерційності коливальної системи (середня частота ω_{cp3});

$\omega_{cp2}, \omega_{cp4}$ - середні частоти діапазонів частот, що відповідають часовим інтервалам $\Delta_2 t, \Delta_4 t$ без зміни інерційності коливальної системи (середня частота ω_{cp2}) і після зміни інерційності коливальної системи (середня частота ω_{cp4}) відповідно;

ω_s - резонансна частота системи по s -ій нормальній координаті без зміни інерційності;

$\bar{\omega}_s$ - резонансна частота системи по s -ій нормальній координаті після зміни інерційності.

Із системи рівнянь (12), (13), (14), (15) отримуємо систему двох рівнянь шляхом виключення інтегральних складових, а саме:

2) Вимірюють і реєструють перший часовий інтервал $\Delta_1 t$ і число n_1 циклів коливань в цьому часовому інтервалі $\Delta_1 t$.

3) Вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти ω_{H1}, ω_{B1} відповідно першого діапазону частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} .

4) Формують другий режим вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із другою постійною швидкістю V_2 , задають друге початкове X_{a3} і друге кінцеве значення X_{a4} амплітуди вимушених коливань коливальної системи.

5) Вимірюють і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів коливань в цьому часовому інтервалі $\Delta_2 t$.

6) Вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти ω_{H2} , ω_{B1} відповідно другого діапазону частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} .

7) Формують третій режим вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи після зміни інерційності коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою постійною швидкістю V_3 , задають перше початкове X_{a1} і перше кінцеве значення X_{a2} амплітуди вимушених коливань коливальної системи.

8) Вимірюють і реєструють третій часовий інтервал $\Delta_3 t$ і число n_3 циклів коливань в цьому часовому інтервалі $\Delta_3 t$.

9) Вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти ω_{H3} , ω_{B3} відповідно третього діапазону частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} .

10) Формують четвертий режим вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи після зміни інерційності коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою постійною швидкістю V_4 , задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3} , X_{a4} амплітуд вимушених коливань коливальної системи.

11) Вимірюють і реєструють четвертий часовий інтервал $\Delta_4 t$ і число n_4 циклів коливань в цьому часовому інтервалі $\Delta_4 t$.

12) Вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти ω_{H4} , ω_{B4} відповідно четвертого діапазону частот, що відповідає інтервалу змін амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} .

Новим в наведеному алгоритмі для визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи при умові застосування джерела енергії обмеженої потужності є формування чотирьох режимів вимушених коливань, причому при реалізації третього і четвертого режимів змінюють інерційність коливальної системи, в третьому і четвертому режимах частоту сигналу вимушеної дії змінюють із постійними швидкостями V_3 і V_4 відповідно, перше початкове і перше кінцеве значення амплітуди вимушених коливань установлюють в першому і третьому режимах, друге початкове і друге кінцеве значення амплітуд вимушених коливань установлюють в другому і четвертому режимах; в третьому і четвертому режимах проводять виміри третього і четвертого часових інтервалів відповідно і числа циклів коливань відповідно; в

третьому і четвертому режимах проводять виміри середніх частот третього і четвертого діапазонів частот при зміні амплітуд вимушених коливань від першого початкового до першого кінцевого значень, від другого початкового до другого кінцевого значень відповідно.

Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують наступним чином.

1) Установлюють досліджувальний об'єкт (конструкцію) на рухому платформу вібростенда.

2) Послідовно реалізують перший, другий, третій та четвертий режими вимушених коливань конструкції, в першому і третьому режимах фіксують постійне перше початкове значення X_{a1} амплітуди сигналу вимушених коливань і постійне перше кінцеве значення X_{a2} амплітуди сигналу вимушених коливань; в другому і четвертому режимах фіксують постійне друге початкове значення X_{a3} амплітуди сигналу вимушених коливань і постійне друге кінцеве значення X_{a4} амплітуди сигналу вимушених коливань.

3) Перший і другий режими вимушених коливань досліджувальної конструкції реалізують без зміни інерційності рухомої частини конструкції; другий і четвертий режими вимушених коливань реалізують при зміні інерційності рухомої частини конструкції.

4) В першому режимі частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , в другому режимі вимушених коливань - із другою постійною швидкістю V_2 , в третьому режимі - із третьою постійною швидкістю V_3 , в четвертому режимі - із четвертою постійною швидкістю V_4 .

5) В першому і третьому режимах вимушених коливань вимірюють, фіксують і реєструють множину величин часових інтервалів $\Delta_1 t$, $\Delta_3 t$ і відповідні числа n_1 , n_3 циклів коливань при зміні частоти сигналу вимушених коливань із першою і третьою постійними швидкостями V_1 , V_3 зміни частоти сигналу вимушеної дії відповідно при зміні амплітуди сигналу вимушеної дії від постійного першого початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} .

6) В другому і четвертому режимах вимушених коливань вимірюють, фіксують і реєструють множину часових інтервалів $\Delta_2 t$, $\Delta_4 t$ і відповідні числа n_2 , n_4 циклів коливань при зміні частоти сигналу вимушених коливань із другою і четвертою постійними швидкостями V_2 , V_4 зміни частоти сигналу вимушеної дії відповідно при зміні амплітуди сигналу вимушеної дії від другого постійного початкового значення X_{a3} до другого постійного кінцевого значення X_{a4} .

7) В першому, другому, третьому і четвертому режимах вимушених коливань досліджувальної конструкції вимірюють, фіксують і реєструють середні частоти ω_{cp1} , ω_{cp2} , ω_{cp3} , ω_{cp4} діапазонів частот, що відповідають в першому режимі першому діапазону (ω_{H1} , ω_{B1}) частот, в другому режимі - другому діапазону (ω_{H2} , ω_{B2}) частот, в третьому режимі - третьому діапазону (ω_{H3} , ω_{B3}) частот, в четвертому режимі - четвертому діапазону (ω_{H4} , ω_{B4}) частот.

8) За допомогою обчислювально-вимірального комплексу (комп'ютерної системи) проводять обробку зареєстрованих сигналів $\Delta_1 t$, $\Delta_2 t$, $\Delta_3 t$, $\Delta_4 t$; n_1, n_2, n_3, n_4 ; $\omega_{cp1}, \omega_{cp2}, \omega_{cp3}, \omega_{cp4}$ і на підставі отриманого нового аналітичного співвідношення визначають значення параметрів дос-

ліджувального об'єкта (конструкції) при умові застосування джерела енергії обмеженої потужності, а саме - резонансної частоти ω_s по s -ій нормальній координаті досліджувальної конструкції при умові застосування джерела енергії обмеженої потужності.