



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61967 (13) U
(51) МПК (2011.01)
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) u201015142

(22) 16.12.2010

(24) 10.08.2011

(46) 10.08.2011, Бюл.№ 15, 2011 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують чотири режими вимушених коливань, задають перше початкове X_{a1} і перше кінцеве X_{a2} значення амплітуди вимушених коливань коливальної системи в першому і третьому режимах, в другому і четвертому режимах задають друге початкове X_{a3} і друге кінцеве X_{a4} значення амплітуди вимушених коливань коливальної системи, перший і другий режими реалізують без зміни інерційності коливальної системи, третій і четвертий режими реалізують при зміні інерційності коливальної системи, при реалізації першого, другого, третього і четвертого режимів вимірюють і реєструють величини першого, другого, третього і четвертого часових інтервалів Δ_1t , Δ_2t , Δ_3t , Δ_4t і числа циклів n_1 , n_2 , n_3 , n_4 коливань у відповідних часових інтервалах, зміну частоти сигналу вимушеної дії при реалізації першого, другого, третього і четвертого режимів проводять із першою, другою, третьою і четвертою швидкостями V_1 , V_2 , V_3 , V_4 зміни частоти відповідно, перший і третій, другий і четвертий часові інтервали реєструють при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового до першого кінцевого значення, від другого початкового до другого кінцевого значення відповідно, фіксують і реєструють в кожному часовому інтервалі значення нижніх і верхніх частот, що відповідають зміні амплітудних значень вимушених коливань від відповідних початкових значень до відповідних кінцевих значень, який **відрізняється** тим, що додатково формують чотири групи режимів вимушених коливань по "N-1" режиму вимушених коливань нелінійної дисипатив-

ної коливальної системи в кожній групі режимів, першу і другу групи режимів формують без зміни інерційності коливальної системи, третю і четверту групи режимів формують при зміні інерційності коливальної системи, в першій і третій групах режимів вимушених коливань задають перше початкове X_{a1} і перше кінцеве X_{a2} значення відповідно амплітуди вимушених коливань коливальної системи, в другій і четвертій групах режимів вимушених коливань задають друге початкове X_{a3} і друге кінцеве X_{a4} значення відповідно амплітуді вимушених коливань, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою, другою, третьою і четвертою групами постійних в кожній групі але різних в різних групах швидкостей V_{1i} , V_{2i} , V_{3i} , V_{4i} ($i=2,3,\dots,N$) відповідно зміні частоти сигналу вимушеної дії, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів вимушених коливань коливальної системи фіксують і реєструють інформаційні масиви (множину) часових інтервалів $\Delta_{1i}t$, $\Delta_{2i}t$, $\Delta_{3i}t$, $\Delta_{4i}t$ ($i=2,3,\dots,N$) першої, другої, третьої і четвертої груп часових інтервалів відповідно і інформаційні масиви (множини) чисел n_{1i} , n_{2i} , n_{3i} , n_{4i} ($i=2,3,\dots,N$) циклів коливань першої, другої, третьої і четвертої груп чисел циклів коливань відповідно, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів вимушених коливань коливальної системи вимірюють і реєструють інформаційні масиви (множини) нижньої і верхньої частот ω_{H1i} , ω_{H2i} , ω_{H3i} , ω_{H4i} ($i=2,3,\dots,N$), ω_{B1i} , ω_{B2i} , ω_{B3i} , ω_{B4i} ($i=2,3,\dots,N$) відповідно до першої, другої, третьої і четвертої груп діапазонів частот відповідно, а визначення оцінки $\hat{\omega}_S$ резонансної частоти ω_S по S-ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

UA (19) 61967 (13) U

$$\hat{\omega}_s = \left\{ \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) \right] - \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \times \right. \\ \times \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) \right] \left. \right\} / \left(\sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \right),$$

де ω_{cp1i} , ω_{cp2i} , ω_{cp3i} , ω_{cp4i} - середні частоти першої, другої, третьої, четвертої груп відповідно діапазонів частот;

$$\omega_{cp1i} = 0,5(\omega_{H1i} + \omega_{B1i}), \quad \omega_{cp2i} = 0,5(\omega_{H2i} + \omega_{B2i}), \\ \omega_{cp3i} = 0,5(\omega_{H3i} + \omega_{B3i}), \quad \omega_{cp4i} = 0,5(\omega_{H4i} + \omega_{B4i}).$$

Корисна модель належить 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 проведенні вібраційних випробувань об'єктів на віброміцність, вібронадійність, вібростійкість і розробці нових технологій вібраційного типу.

Відомий спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань, в кожному режимі задають однакові початкові значення і однакові 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, частоту сигналу збуджувальної дії в першому режимі змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , в другому режимі - із другою постійною швидкістю V_2 , причому в першому і другому режимах фіксують значення середніх частот ω_{cp1} , ω_{cp2} відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} , а визначення резонансної частоти ω_s по s -ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

$$\omega_s = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \omega_{cp1}\Delta_1 t - \omega_{cp2}\Delta_2 t}{\Delta_1 t - \Delta_2 t},$$

де:

$$\omega_{cp1} = \frac{1}{2}(\omega_{H1} + \omega_{B1}),$$

$$\omega_{cp2} = \frac{1}{2}(\omega_{H2} + \omega_{B2}),$$

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

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

(див. патент України на корисну модель №48344, М. кл. G01H11/00, 2010 рік)

Недолік відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи є недостатня точність визначення параметрів, що пояснюється неврахуванням похибок виміру, фіксації та запам'ятовування множини часових інтервалів та чисел циклів коливань при зміні амплітудних значень коливального процесу, а також недостатнім по множині інформаційним масивом часових інтервалів і чисел циклів коливань, що і приводить до наявності похибок вимірювання і реєстрації даних при формуванні алгоритму визначення параметрів.

За прототип вибраний спосіб 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 пос-

тійною 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} , причому в першому і другому режимах вимушених коливань задають 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 Δ_3t і четвертого Δ_4t 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: ω

$$\omega_s = \frac{\Delta_3t[2\pi(n_2 - n_4) + \omega_{cp2}\Delta_2t - \omega_{cp4}\Delta_4t] - \Delta_4t[2\pi(n_1 - n_3) + \omega_{cp1}\Delta_1t - \omega_{cp3}\Delta_3t]}{\Delta_2t\Delta_3t - \Delta_1t\Delta_4t};$$

де

$$\omega_{cp1} = \frac{(\omega_{H1} + \omega_{B1})}{2}; \quad \omega_{cp2} = \frac{(\omega_{H2} + \omega_{B2})}{2};$$

$$\omega_{cp3} = \frac{(\omega_{H3} + \omega_{B3})}{2}; \quad \omega_{cp4} = \frac{(\omega_{H4} + \omega_{B4})}{2}.$$

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 (див. рішення від 04.10.2010 року про видачу патенту на корисну модель за заявкою №u201006999).

Недоліком відомого способу є те, що проводять однократне вимірювання і реєстрацію в кожному режимі кожного часового інтервалу, вимірювання і реєстрацію числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі і однократне вимірювання нижніх і верхніх частот кожного діапазону частот при зміні частоти сигналу в кожному режимі із постійною швидкістю. При такому однократному вимірюванні випадкові похибки вимірювання і реєстрації приводять до зменшення точності визначення параметрів, а тому і області застосування способу.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу шляхом підвищення точності визначення параметрів за рахунок формування розширених інформаційних масивів часових інтервалів, чисел циклів коливань при формуванні в кожному режимі інформаційного масиву постійної швидкості зміни частоти сигналу вимушеної дії при зміні амплітуди вимушених коливань в кожно-

му режимі від відповідного початкового значення до відповідного кінцевого значення при формуванні регресійних залежностей і застосуванні методу найменших квадратів.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі, за яким формують чотири режими вимушених коливань, задають перше початкове X_{a1} і перше кінцеве X_{a2} значення амплітуди вимушених коливань коливальної системи в першому і третьому режимах, в другому і четвертому режимах задають друге початкове X_{a3} і друге кінцеве X_{a4} значення амплітуди вимушених коливань коливальної системи, перший і другий режими реалізують без зміни інерційності коливальної системи, третій і четвертий режими реалізують при зміні інерційності коливальної системи, при реалізації першого, другого, третього і четвертого режимів вимірюють і реєструють величини першого, другого, третього і четвертого часових інтервалів Δ_1t , Δ_2t , Δ_3t , Δ_4t і числа циклів n_1, n_2, n_3, n_4 коливань у відповідних часових інтервалах, зміну частоти сигналу вимушеної дії при реалізації першого, другого, третього і четвертого режимів проводять із першою, другою, третьою і четвертою швидкостями V_1, V_2, V_3, V_4 зміни частоти відповідно, перший і третій, другий і четвертий часові інтервали реєструють при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового до першого кінцевого значення, від другого початкового до другого кінцевого значення відповідно, фіксують і реєструють в кожному часовому інтервалі значення нижніх і верхніх частот, що відповідають зміні амплітудних значень вимушених коливань від відповідних початкових значень до відповідних кінцевих значень, згідно з корисною моделлю, додатково формують чотири групи режимів вимушених коливань по "N-1" режиму вимушених коливань нелінійної дисипативної коливальної системи в кожній групі режимів, першу і другу групи режимів формують без зміни інерційності коливальної системи, третю і четверту групи режимів формують при зміні інерційності коливальної системи, в першій і третій групах режимів вимушених коливань задають перше початкове X_{a1} і перше кінцеве X_{a2} значення відповідно амплітуді вимушених коливань коливальної системи, в другій і четвертій групах режимів вимушених коливань задають друге початкове X_{a3} і друге кінцеве X_{a4} значення відповідно амплітуді вимушених коливань, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою, другою, третьою і четвертою групами постійних в кожній групі але різних в різних групах швидкостей $V_{1i}, V_{2i}, V_{3i}, V_{4i}$ ($i=2,3, \dots, N$) відповідно зміни частоти сигналу вимушеної дії, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів вимушених коливань коливальної системи фіксують і реєструють інформаційні масиви (множину) часових інтервалів $\Delta_{1i}t$, $\Delta_{2i}t$, $\Delta_{3i}t$, $\Delta_{4i}t$ ($i=2,3, \dots, N$) першої, другої, третьої і четвертої груп часових інтервалів відповідно і інформаційні масиви (множини) чисел $n_{1i}, n_{2i}, n_{3i}, n_{4i}$ ($i=2,3, \dots, N$) циклів коливань першої, другої, третьої і четвертої груп чисел циклів коливань відповідно, в першій, другій, третій і четвертій групах режимів вимушених коливань коливальної системи вимірюють і реєструють ін-

формаційні масиви (множини) нижньої і верхньої частот $\omega_{H1i}, \omega_{H2i}, \omega_{H3i}, \omega_{H4i}$ ($i=2,3, \dots, N$), $\omega_{B1i}, \omega_{B2i}, \omega_{B3i}, \omega_{B4i}$ ($i=2,3, \dots, N$) відповідно першої, другої, третьої і четвертої груп діапазонів частот відповід-

но, а визначення оцінки $\hat{\omega}_s$ резонансної частоти ω_s по s -ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

$$\hat{\omega}_s = \left\{ \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) \right] - \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \times \right. \\ \times \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) \right] \left. \right\} / \left(\sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \right),$$

де $\omega_{cp1i}, \omega_{cp2i}, \omega_{cp3i}, \omega_{cp4i}$ - середні частоти першої, другої, третьої, четвертої груп відповідно діапазонів частот;

$$\omega_{cp1i} = 0,5(\omega_{H1i} + \omega_{B1i}), \quad \omega_{cp2i} = 0,5(\omega_{H2i} + \omega_{B2i}), \\ \omega_{cp3i} = 0,5(\omega_{H3i} + \omega_{B3i}), \quad \omega_{cp4i} = 0,5(\omega_{H4i} + \omega_{B4i}).$$

Застосування запропонованого способу разом з усіма суттєвими ознаками дозволяє вирішити поставлену технічну задачу. Пояснюється це розробленим новим алгоритмом визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи. Система 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)

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

$$(k = \overline{1, n}),$$

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

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

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 нормаль-

ній координаті ($\omega_s \approx \frac{p}{q} \omega$), де p, q - взаємно прості числа;

ω - середня за період коливань швидкість (середня частота по діапазону частот).

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

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

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

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

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

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1, & \frac{d\Theta}{dt} &= \omega_S - \omega_{cp} + \varepsilon B_1, \\ \frac{d\omega_{cp}}{dt} &= \varepsilon C_1. \end{aligned} \right\} \quad (5).$$

Проведемо нескладні перетворення системи (5).

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

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

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 $d\Theta = 2\pi n$, 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) отримаємо таке співвідношення

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

При застосуванні (9), (10) отримаємо 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) отримаємо таку систему рівнянь:

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

$$2\pi n_2 - \omega_S \Delta_2 t + \omega_{cp2} \Delta_2 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (13)$$

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

$$2\pi n_4 - \omega_S \Delta_4 t + \omega_{cp4} \Delta_4 t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (15)$$

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 виму-

шеної 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.

При проведенні вимірювань, фіксації, ресторації інформаційних масивів груп часових інтервалів, чисел циклів коливань і груп нижніх і верхніх діапазонів частот, що відповідають зміні амплітуди вимушених коливань досліджуваної конструкції від відповідних початкових значень до відповідних кінцевих значень мають місце випадкові похибки. Тому на підставі системи рівнянь (12), (13), (14), (15) має місце наступна система рівнянь:

$$2\pi n_{1i} - \hat{\omega}_s \Delta_{1i} t + \omega_{cp1i} \Delta_{1i} t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (16)$$

$$2\pi n_{2i} - \hat{\omega}_s \Delta_{2i} t + \omega_{cp2i} \Delta_{2i} t = \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (17)$$

$$2\pi n_{3i} - \hat{\omega}_s \Delta_{3i} t + \omega_{cp3i} \Delta_{3i} t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \quad (18)$$

$$2\pi n_{4i} - \hat{\omega}_s \Delta_{4i} t + \omega_{cp4i} \Delta_{4i} t = \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (19)$$

На підставі рівнянь (16), (17), (18), (19) отримаємо наступні мінімізуючі функції:

$$S_1 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{1i} - \hat{\omega}_s \Delta_{1i} t + \omega_{cp1i} \Delta_{1i} t - \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right]^2, \quad (20)$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{2i} - \hat{\omega}_s \Delta_{2i} t + \omega_{cp2i} \Delta_{2i} t - \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right]^2, \quad (21)$$

$$S_3 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{3i} - \hat{\omega}_S \Delta_{3i} t + \omega_{cp3i} \Delta_{3i} t - \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right]^2, \quad (22)$$

$$S_4 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{4i} - \hat{\omega}_S \Delta_{4i} t + \omega_{cp4i} \Delta_{4i} t - \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right]^2, \quad (23)$$

де N - число експериментів; $\hat{\omega}_S$, $\bar{\omega}_S$ - оцінки частот ω_S , $\bar{\omega}_S$ відповідно.

них рівнянь відносно оцінок $\hat{\omega}_S$, $\bar{\omega}_S$ частот ω_S , $\bar{\omega}_S$:

Після формування частинних похідних $\frac{\partial S_1}{\partial \hat{\omega}_S}$, $\frac{\partial S_2}{\partial \hat{\omega}_S}$, $\frac{\partial S_3}{\partial \hat{\omega}_S}$, $\frac{\partial S_4}{\partial \hat{\omega}_S}$ отримаємо систему нормаль-

$$\frac{\partial S_1}{\partial \hat{\omega}_S} = 0 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{1i} - \hat{\omega}_S \Delta_{1i} t + \omega_{cp1i} \Delta_{1i} t - \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right] \Delta_{1i} t = 0, \quad (24)$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial \hat{\omega}_S} = 0 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{2i} - \hat{\omega}_S \Delta_{2i} t + \omega_{cp2i} \Delta_{2i} t - \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right] \Delta_{2i} t = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial \hat{\omega}_S} = 0 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{3i} - \hat{\omega}_S \Delta_{3i} t + \omega_{cp3i} \Delta_{3i} t - \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right] \Delta_{3i} t = 0, \quad (26)$$

$$\frac{\partial S_4}{\partial \hat{\omega}_S} = 0 = \sum_{i=1}^N \left[2\pi n_{4i} - \hat{\omega}_S \Delta_{4i} t + \omega_{cp4i} \Delta_{4i} t - \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \right] \Delta_{4i} t = 0, \quad (27)$$

$$2\pi \sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{1i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t - \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a = 0, \quad (28)$$

$$2\pi \sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a = 0, \quad (29)$$

$$2\pi \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t - \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a = 0, \quad (30)$$

$$2\pi \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t - \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t \int_{X_{a3}}^{X_{a4}} \frac{B_1}{A_1} dX_a = 0. \quad (31)$$

Для виключення інтегральних складових в системі (28)-(31) рівнянь проведемо нескладні перетворення:

$$\frac{2\pi \sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{1i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t}{2\pi \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t}{\sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t}; \quad (32)$$

$$\frac{2\pi \sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t}{2\pi \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t}{\sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t}. \quad (33)$$

Із системи (32), (33) отримаємо таку систему двох рівнянь відносно $\hat{\omega}_S$, $\bar{\omega}_S$:

$$\left. \begin{aligned} & 2\pi \sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t = \\ & = 2\pi \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t; \\ & 2\pi \sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t = \\ & = \pi \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t + \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t, \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

$$\left. \begin{aligned} & \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right] + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right); \\ & \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \hat{\omega}_S \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right] + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right), \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Із системи (35) рівнянь отримаємо аналітичні співвідношення визначення N оцінок $\hat{\omega}_S$, $\bar{\omega}_S$:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_S = & \left\{ \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) \right] - \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \times \right. \\ & \left. \times \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) \right] \right\} / \left(\sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \right. \\ & \left. - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \right); \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned}
\hat{\omega}_S = & \left\{ \sum_{i=1}^N \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{2i} \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N n_{4i} \Delta_{4i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) + \right. \right. \\
& + \left. \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp2i} \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \sum_{i=1}^N \omega_{cp4i} \Delta_{4i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \right) \right] - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t \times \\
& \times \left[2\pi \left(\sum_{i=1}^N n_{1i} \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \sum_{i=1}^N n_{3i} \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) + \left(\sum_{i=1}^N \omega_{cp1i} \Delta_{1i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t - \right. \right. \\
& - \left. \left. \sum_{i=1}^N \omega_{cp3i} \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \right) \right] \left/ \left(\sum_{i=1}^N \Delta_{1i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i} t - \right. \right. \\
& \left. \left. - \sum_{i=1}^N \Delta_{2i}^2 t \sum_{i=1}^N \Delta_{2i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{3i} t \sum_{i=1}^N \Delta_{4i}^2 t \right) \right.
\end{aligned} \tag{37}$$

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

Інформують чотири групи режимів вимушених коливань нелінійної коливальної системи:

а) в першій групі "N" режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою групою постійних швидкостей V_{1i} ($i=1, \dots, N$), задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} відповідно амплітуді вимушених коливань коливальної системи;

б) вимірюють і реєструють часові інтервали $\Delta_{1i}t$ ($i=1, \dots, N$) першої групи часових інтервалів і числа n_{1i} ($i=1, \dots, N$) циклів коливань першої групи чисел циклів коливань в часових інтервалах $\Delta_{1i}t$ при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою групою постійних швидкостей V_{1i} ($i=1, \dots, N$);

в) вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти $\omega_{H1i}, \omega_{B1i}$ ($i=1, \dots, N$) відповідно першої групи діапазонів частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою групою постійних швидкостей V_{1i} ($i=1, \dots, N$).

2). Формують другу групу "N" режимів вимушених коливань: а) в другій групі режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із другою групою постійних швидкостей V_{2i} ($i=1, \dots, N$), задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3}, X_{a4} відповідно амплітуді вимушених коливань коливальної системи;

б) вимірюють і реєструють часові інтервали $\Delta_{2i}t$ ($i=1, \dots, N$) другої групи часових інтервалів і числа n_{2i} ($i=1, \dots, N$) циклів коливань другої групи чисел циклів коливань в часових інтервалах $\Delta_{2i}t$ при зміні амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою групою постійних швидкостей V_{2i} ($i=1, \dots, N$);

в) вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти $\omega_{H2i}, \omega_{B2i}$ ($i=1, \dots, N$) відповідно другої групи

діапазонів частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою групою постійних швидкостей V_{2i} ($i=1, \dots, N$).

3). Змінюють інерційність нелінійної дисипативної коливальної системи. Формують третю групу "N" режимів вимушених коливань:

а) в третій групі режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою групою постійних швидкостей V_{3i} ($i=1, \dots, N$), задають перше початкове і перше кінцеве значення X_{a1}, X_{a2} відповідно амплітуді вимушених коливань коливальної системи із зміненою інерційністю;

б) вимірюють і реєструють часові інтервали $\Delta_{3i}t$ ($i=1, \dots, N$) третьої групи часових інтервалів і числа n_{3i} ($i=1, \dots, N$) циклів коливань третьої групи чисел циклів коливань в часових інтервалах $\Delta_{3i}t$ при зміні амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із третьою групою постійних швидкостей V_{3i} ($i=1, \dots, N$);

в) після зміни інерційності нелінійної коливальної системи, вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти $\omega_{H3i}, \omega_{B3i}$ ($i=1, \dots, N$) відповідно третьої групи діапазонів частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від першого початкового значення X_{a1} до першого кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із третьою групою постійних швидкостей V_{3i} ($i=1, \dots, N$).

4). Формують четверту групу "N" режимів вимушених коливань:

а) в четвертій групі режимів частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою групою постійних швидкостей V_{4i} ($i=1, 2, \dots, N$), задають друге початкове і друге кінцеве значення X_{a3}, X_{a4} відповідно амплітуді вимушених коливань коливальної системи із зміненою інерційністю;

б) вимірюють і реєструють часові інтервали $\Delta_{4i}t$ ($i=1, 2, \dots, N$) четвертої групи часових інтервалів і числа n_{4i} ($i=1, \dots, N$) циклів коливань четвертої групи чисел циклів коливань в часових інтервалах $\Delta_{4i}t$ при зміні амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кін-

цевого значення X_{a4} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із четвертою групою постійних швидкостей V_{4i} ($i=1,2, \dots N$);

в) після зміни інерційності нелінійної коливальної системи, вимірюють і реєструють нижню і верхню частоти ω_{H4i} , ω_{B4i} ($i=1, \dots N$) відповідно до четвертої групи діапазонів частот, що відповідає інтервалу зміни амплітуди вимушених коливань від другого початкового значення X_{a3} до другого кінцевого значення X_{a4} при зміні частоти сигналу вимушеної дії із четвертою групою постійних швидкостей V_{4i} ($i=1,2, \dots N$).

Спосіб визначення параметрів нелінійної коливальної системи реалізують наступним чином.

1). Установлюють досліджуваний об'єкт (конструкцію) на рухому платформу вібростенда електродинамічного типу.

2). Послідовно реалізують першу, другу, третю та четверту групи режимів вимушених коливань конструкції, а в кожній групі режимів формують "N" повторень процесу, причому в першій і третій групах режимів із "N" повторень кожний фіксують і реєструють постійне перше початкове значення амплітуди X_{a1} сигналу вимушених коливань конструкції і постійне перше кінцеве значення амплітуди X_{a2} сигналу вимушених коливань конструкції, в другій і четвертій групах режимів із "N" повторень кожний фіксують і реєструють постійне друге початкове значення амплітуди X_{a3} вимушених коливань конструкції і постійне друге кінцеве значення амплітуди X_{a4} сигналу вимушених коливань конструкції.

3). Першу і другу групи режимів вимушених коливань досліджуваної конструкції реалізують без зміни інерційності рухомої частини конструкції, другу і четверту групи режимів вимушених коливань реалізують після зміни інерційності рухомої частини конструкції.

4). В першій групі режимів вимушених коливань із "N" повторень частоту сигналу вимушеної дії змінюють із першою групою постійних швидкостей V_{1i} ($i=1, \dots N$), в другій групі режимів із "N" повторень частоту сигналу вимушеної дії змінюють із другою групою постійних швидкостей V_{2i} ($i=1, \dots N$), в третій групі режимів із 3 "N" повторень частоту сигналу вимушеної дії змінюють із третьою групою постійних швидкостей V_{3i} ($i=1, \dots N$), в четвертій групі режимів із "N" повторень частоту сигналу вимушеної дії змінюють із четвертою групою постійних швидкостей V_{4i} ($i=1, \dots N$).

5) В першій і третій групах режимів вимушених коливань із "N" повторень кожний вимірюють, фіксують і реєструють першу і третю групи $\Delta_{1i}t$, $\Delta_{3i}t$ ($1,2, \dots N$) часових інтервалів відповідно із "N" інтервалів кожна група і відповідні першу і третю групи чисел n_{1i} , n_{3i} ($1,2, \dots N$) циклів коливань відповідно із "N" циклів кожна група при зміні частоти

сигналу вимушеної дії із першою і третьою групами постійних швидкостей V_{1i} , V_{3i} ($1,2, \dots N$) зміни частоти відповідно при зміні амплітуди сигналу вимушених коливань від першого постійного початкового значення X_{a1} до першого постійного кінцевого значення X_{a2} .

6). В другій і четвертій групах режимів вимушених коливань із "N" повторень кожний вимірюють, фіксують і реєструють другу і четверту групи $\Delta_{2i}t$, $\Delta_{4i}t$ ($1,2, \dots N$) часових інтервалів із "N" інтервалів кожна група і відповідні другу і четверту групи чисел n_{2i} , n_{4i} ($1,2, \dots N$) циклів коливань із "N" циклів кожна група при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою і четвертою групами постійних швидкостей V_{2i} , V_{4i} ($1,2, \dots N$) зміни частоти відповідно при зміні амплітуди сигналу вимушених коливань від другого постійного початкового значення X_{a3} до другого постійного кінцевого значення X_{a4} .

7). В першій, другій, третій і четвертій групах режимів вимушених коливань досліджуваної конструкції вимірюють, фіксують і реєструють інформаційні масиви груп нижніх і верхніх частот діапазонів частот відповідно групам режимів, причому в першій групі режимів реєструють першу групу нижніх частот ω_{H1i} ($i=1, \dots N$) і першу групу верхніх частот ω_{B1i} ($i=1, \dots N$), в другій групі режимів реєструють другу групу нижніх частот ω_{H2i} ($i=1, \dots N$) і другу групу верхніх частот ω_{B2i} ($i=1, \dots N$), в третій групі режимів реєструють третю групу нижніх частот ω_{H3i} ($i=1, \dots N$) і третю групу верхніх частот ω_{B3i} ($i=1, \dots N$), в четвертій групі режимів реєструють четверту групу нижніх частот ω_{H4i} ($i=1, \dots N$) і четверту групу верхніх частот ω_{B4i} ($i=1, \dots N$).

8). За допомогою вимірювально-обчислювального комплексу (комп'ютерної системи) проводять обробку інформаційного масиву зареєстрованих сигналів $\Delta_{1i}t$, $\Delta_{2i}t$, $\Delta_{3i}t$, $\Delta_{4i}t$, n_{1i} , n_{2i} , n_{3i} , n_{4i} ; ω_{H1i} , ω_{H2i} , ω_{H3i} , ω_{H4i} ; ω_{B1i} , ω_{B2i} , ω_{B3i} , ω_{B4i} ($i=1, \dots, N$). На підставі отриманого нового аналітичного співвідношення визначають оцінки значення параметрів досліджуваного об'єкта (конструкції) при урахуванні випадкових похибок вимірювання і реєстрації і при умові застосування джерел енергії обмеженої потужності, а саме, значення оцінки резонансної частоти ω_{1s} по s-ій нормальній координаті досліджуваної конструкції при урахуванні умови застосування джерела енергії обмеженої потужності.

Таким чином, використання заявлюваного способу дає можливість отримувати достатню точність при оцінці інерційно-жорсткісних параметрів нелінійних коливальних систем із кінцевим числом степенів вільності.