

9.Чеботарев А.И. Общая гидрология / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 543 с.

10.Молька І.В. Методика експериментальних досліджень інтенсивності танення снігу на покриттях різних типів / І. В. Молька // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. праць. Вип. 20. – Полтава: ПНТУ, 2007. – С.101-106.

*Отримано 17.11.2010*

УДК 62.523.2.534.1

В.О.ПУШНЯ, канд. техн. наук, С.В.ВЕНЖИК  
*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОХИБОК ПРИ ВІБРАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАННЯХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОБОТИ ВІБРОСТЕНДА**

Виконано дослідження електродинамічних віброперетворювачів методом комплексного коефіцієнта передачі, які навантажені об'єктами з багатьма степенями свободи. Проведення таких досліджень дозволяє зменшити час вібраційних випробувань і підвищити їх точність.

Выполнены исследования электродинамических вибропреобразователей методом комплексного коэффициента передачи, которые нагружены объектами с многими степенями свободы. Проведение таких исследований позволяет уменьшить время вибрационных испытаний и повысить их точность.

Principles of research of the simple systems are considered can be applied for the analysis tests of difficult objects which are the mechanical oscillating systems with many degrees of liberty. Conducting of such research enables to untie the row of important tasks of vibroviprobuvan. Conducting an analysis of the difficult systems is by the complex coefficient of transmissions.

*Ключові слова:* коливальна система, електродинамічний вібростенд(ЕДВ), чотирьохполюсник, комплексний коефіцієнт передачі, гіратор.

Метою роботи є розробка методу дослідження системи вібраційних випробувань навантаженої об'єктом випробувань з декількома ступенями вільності [1-5]. Недоліком цих методів є використання для дослідження методу передавальних функцій. Автори пропонують новий метод дослідження за допомогою комплексного коефіцієнту передачі.

Нехай об'єкт, що підлягає випробуванням представляє собою трьохмасову коливальну систему з масами  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , причому маса  $m_1$  жорстко закріплена до рухомого столу вібростенда з масою  $m$ , а маси  $m_1$  і  $m_2$ , та  $m_2$ ,  $m_3$ , з'єднані між собою пружними елементами з жорсткостями  $c_2$ ,  $c_3$  відповідно. Пружний підвіс стола вібростенду має жорсткість  $c_1$ . Демпфірування механічної системи знехтуємо. Схема такої системи подана на рис.1.

Позначимо швидкості мас відповідно через  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  і побудуємо схему заміщення (рис.2). Тут жорсткості  $c_2$  і  $c_3$  включено до попере-

чних гілок ланцюга, оскільки пружні елементи знаходяться під дією швидкостей ( $V_1 - V_2$ ) та ( $V_2 - V_3$ ) відповідно.

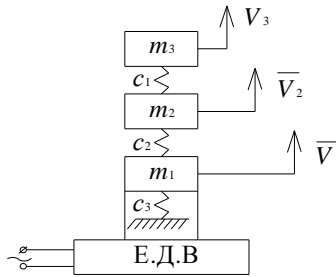


Рис.1

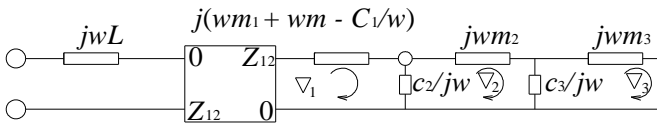


Рис.2

При випробуваннях розглядаємого об'єкту енергія коливань, що подається на вхід збуджувача, викличе на кожному елементі свою реакцію, яка може бути подана як енергія коливань кожного з елементів.

У зв'язку з цим дослідник повинен визначити, який із елементів його цікавить. При цьому всі інші елементи об'єкта можуть бути розглянуті як частина енергопередаємого тракту.

Нехай, наприклад, таким елементом є маса  $m_2$ . Тоді перебудуємо схему заміщення (рис.3), отримаємо систему, яка складається з двох касадно з'єднаних чотирьохполосників – генератора 1 і взаємного чотирьохполосника 2, що навантажений опором  $z_H = jwm_2$ .

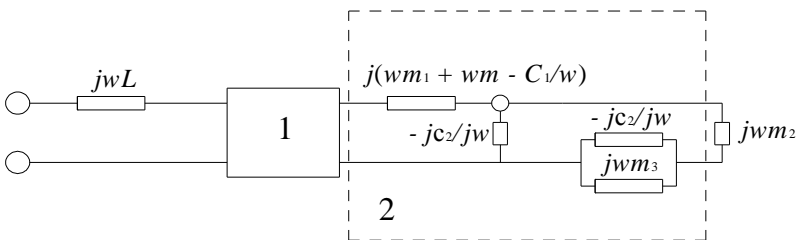


Рис.3

Вхідний чотирьохполосник 1 може включати пасивні елементи вхідних і згідних пристроїв підсилювача, а також вхідні елементи електродинамічного вібростенда (ЕДВ). Чотирьохполосник 2 є ідеальним гіратором, а чотирьохполосник 3 утворюється так, як було показано вище (рис.4). На вхід системи подається потужність  $P_1$ , а на навантаження діє потужність  $P_H$ . Поміж чотирьохполосників 1 і 2 передається потужність  $P_2$ , а поміж чотирьохполосниками 2 і 3 – потужність  $P_3$ .

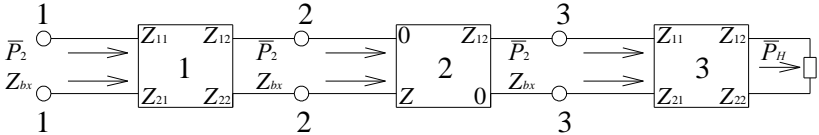


Рис.4

Запишемо комплексний коефіцієнт передачі для кожного з чотирьохполосників:

$$S_1 = \bar{P}_2 / \bar{P}_1; \quad S_2 = \bar{P}_3 / \bar{P}_2; \quad S_3 = \bar{P}_H / \bar{P}_3.$$

Легко бачити, що комплексний коефіцієнт передачі всієї системи можна подати у вигляді добутку комплексних коефіцієнтів передачі складових її чотирьохполосників:

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = \bar{P}_H / \bar{P}_1; \quad (1)$$

$$S = |S_1| \cdot |S_2| \cdot |S_3| \quad (2)$$

і

$$\arg S = \arg S_1 + \arg S_2 + \arg S_3. \quad (3)$$

Тут важливо зазначити, що для ідеального гіратора  $P_2 = P_3$ , тобто  $S_2 = 1$  і, відповідно,

$$S = S_1 \cdot S_3.$$

Запишемо вирази для  $S_1$  і  $S_2$  у вигляді:

$$S_1 = \frac{Z_H (Z'_{12})^2}{(Z'_{22} + Z_H) [Z'_{11} (Z'_{22} + Z'_{11}) - (Z'_{12})^2]}, \quad (4)$$

$$S_3 = \frac{Z_H (Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z_H) [Z''_{11} (Z''_{22} + Z''_{11}) - (Z''_{12})^2]} \quad (5)$$

і, враховуючи, що  $Z'_H = Z'_{bx} = \frac{Z_{12}^2}{Z'_{bx}} = \frac{Z_{12}^2}{Z'_{11} - \frac{(Z'_{12})^2}{Z'_{22} + Z'_H}}$ , а  $Z''_H = Z''_{bx}$ ,

після перетворення отримаємо

$$S = \frac{Z_H Z_{12}^2 (Z'_{12})^2 (Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z'_H)^2 (Z'_{22} + Z'_{11}) (Z''_H)^2 \left[ Z'_{11} - \frac{(Z'_{12})^2}{Z'_{22} + Z'_H} \right]} \quad (6)$$

або

$$S = \frac{Z_H}{Z'_{bx}} \cdot \frac{(Z'_{12})^2}{(Z'_{22} + Z'_{bx})} \cdot \frac{Z_{12}^2}{(Z''_{bx})^2} \cdot \frac{(Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z'_H)^2}, \quad (7)$$

де

$$Z'_{bx} = Z'_{11} - \frac{(Z'_{12})^2}{Z'_{22} - Z'_H}.$$

Цікаво відмітити, що вигляд співмножника  $Z_{12} / (Z'_{bx})^2$  визначається властивостями ідеального гіратора, оскільки  $Z_{11} = Z_{22} = 0$ , і якщо врахувати, що  $Z_{12} = B^2 I^2 = A$ , то можна записати

$$S = A \cdot \frac{Z_H}{Z'_{bx} (Z''_{bx})^2} \cdot \frac{(Z'_{12})^2}{(Z'_{22} + Z'_{bx})^2} \cdot \frac{(Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z'_H)^2}. \quad (8)$$

Проте в деяких випадках до чотирьохполосника 2 зручно вводити частину елементів схеми, внаслідок чого гіроскопічний перетворювач перестає бути ідеальним, тобто  $Z_{11} \neq 0$  і  $Z_{22} \neq 0$ . Для такого випадку вираз комплексного коефіцієнта передачі набуває більш загального вигляду:

$$S = \frac{Z_H}{Z'_{bx}} \cdot \frac{(Z'_{12})^2}{(Z'_{22} + Z'_{bx})^2} \cdot \frac{Z_{12}^2}{(Z_{22} + Z''_{bx})^2} \cdot \frac{(Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z'_H)^2}, \quad (9)$$

причому

$$S_2 = \frac{Z_{11} Z_{12}^2}{(Z_{22} + Z''_{11}) \cdot [Z_{11} (Z_{22} + Z''_H) + Z_{12}^2]}.$$

Вирази (7) і (9) корисні тим, що вхідні до них  $Z$  параметри можна визначити експериментально і розрахунковим шляхом.

Як уже зазначалося в [2], один з найбільш поширених критеріїв оцінки ЕДВ є його вхідний опір  $Z'_{bx}$ . Оцінка системи за комплексним

коефіцієнтом передачі  $Z_{bx}$  є одним із складових виразу  $S$  і, отже, також становить значний інтерес. Таким чином,  $Z_{bx}$  не визначає цілком роботоспроможність системи, оскільки його величина не залежить від вибору всередині випробуємого об'єкту важливого елемента, а залежить тільки від структури об'єкта в цілому. Так, якщо в системі (рис.1) замість  $m_2$  в якості навантаження врахувати  $m_3$  або будь-який інший елемент, то  $Z_{bx}$  всієї системи не зміниться, тоді як значення комплексного коефіцієнта передачі для різних виділених елементів будуть істотно відрізнятися одне від одного.

Остання обставина є дуже важливою для оцінки і обліку похибок вимірювань при проведенні випробувань. Питання похибок вимірювань є одним із головних у практиці випробувань і досить широко освітлено в роботах [3, 4].

Розглянемо, як питання динамічних похибок можуть бути розв'язані за допомогою комплексного коефіцієнта передачі. Нехай в системі (рис.1)  $m_2$  – елемент, рухом якого цікавляться, і припустимо, що датчик, який вимірює потужність або функціонально з нею пов'язаною величиною, може бути встановлений тільки на елементі  $m_2$ .

Потрібно знайти функцію перерахунку показань датчика з метою визначення дійсної поведінки маси  $m_3$ .

Приведемо схему, наведену на рис.1, до вигляду (рис.5, а, б), де

$$Z_1 = j\omega L; \quad Z_2 = j \left( \omega m_1 + \omega m - \frac{c_1}{\omega} \right); \quad Z_3 = \frac{c_2}{j\omega}; \quad Z_4 = j\omega m_2;$$

$$Z_5 = \frac{c_3}{j\omega}; \quad Z_6 = j\omega m_3.$$

Причому, за схемою 5,а знайдемо  $S_a$ , визначену датчиком, а за схемою 5,б – фактичне значення комплексного коефіцієнта передачі  $S_b$  відносно маси  $m_2$ . Розбиваємо схеми (рис.5) на чотирихполюсники 1, 2 так, щоб в обох випадках вхідні чотирихполюсники були однакові, отримаємо:

$$S_a = S'_1 \cdot S'_2,$$

$$S_b = S''_1 \cdot S''_2,$$

$$S_a = \frac{Z_6}{Z_{ex}} \cdot \frac{Z_{12}^2}{(Z_{22} + Z'_{ex})^2} \cdot \frac{(Z'_{12})^2}{(Z'_{22} + Z_6)^2}, \quad (10)$$

$$S_{\bar{\sigma}} = \frac{Z_4}{Z'_{ex}} \cdot \frac{Z_{12}^2}{(Z_{22} + Z'_{ex})} \cdot \frac{(Z''_{12})^2}{(Z''_{22} + Z_4)^2},$$

де  $Z_{12}$ ,  $Z_{22}$  – параметри другого чотирьохполюсника в схемі рис.5, б.

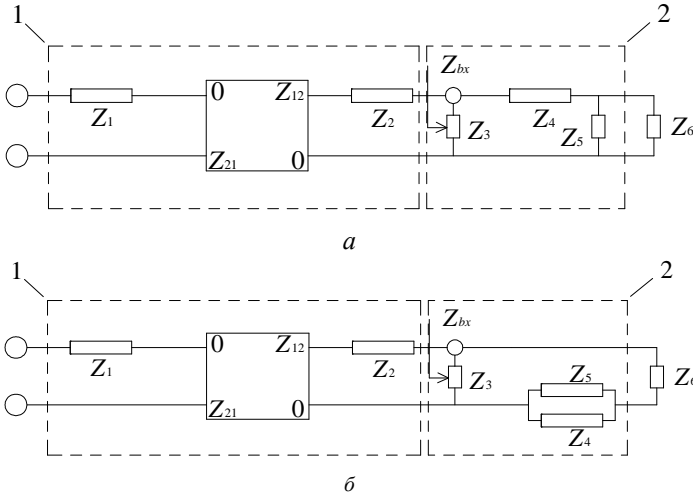


Рис.5

Назвемо коефіцієнтом приведення комплексного коефіцієнта передачі комплексну величину

$$\gamma = \frac{S_a}{S_{\bar{\sigma}}}.$$

Тоді для даного випадку маємо

$$\gamma = \frac{Z_6}{Z_4} \cdot \left( \frac{Z'_{12}}{Z''_{12}} \right) \left( \frac{Z''_{22} + Z_4}{Z'_{22} + Z_6} \right)^2. \quad (11)$$

Знайдемо для відповідних чотирьохполюсників:

$$Z'_{12} = \frac{Z_3 Z_5}{Z_3 + Z_4 + Z_5}; \quad Z'_{22} = \frac{Z_5 (Z_3 + Z_4)}{Z_3 + Z_4 + Z_5};$$

$$Z''_{12} = Z_3; \quad Z''_{22} = Z_3 + \frac{Z_5 Z_6}{Z_5 + Z_6},$$

підставимо їх значення у вираз (11), знайдемо

$$\gamma = \frac{Z_6}{Z_4} \left( \frac{Z_5}{Z_5 + Z_6} \right)^2.$$

Підставимо значення  $Z$ -параметрів, що входять в останній вираз, враховуючи значення власної частоти коливальної системи ( $m_3 c_3$ ), яка дорівнює  $w_3 = \sqrt{c_3 / m_3}$ , отримаємо

$$\gamma = \frac{m_3}{m_2} \frac{1}{\left( \frac{w^2}{w_3^2} - 1 \right)^2}. \quad (12)$$

Графічна залежність коефіцієнта приведення від частоти збудження системи, наведена на рис.6, визначає величину поправочного коефіцієнта до показань датчика при визначенні дійсного руху маси  $m_2$ .

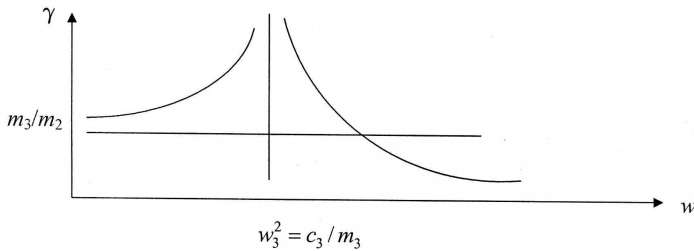


Рис.6

Отриманий результат співпадає з відомим з теорії коливань виразом динамічної похибки [4]. Ця обставина ще раз підтверджує корисність і універсальність розглянутого способу оцінки системи за комплексним коефіцієнтом передачі.

Для випробувань складних об'єктів з великою кількістю елементів, параметри яких невідомі, оцінку наслідків випробувань за комплексним коефіцієнтом передачі, як оцінку за потужністю, що розсіюється в об'єкті, належить вважати більш достовірною, ніж оцінку за прискоренням або швидкістю об'єкта.

Також оцінка систем вібростендів проводиться за допомогою комплексного коефіцієнта передачі, який являє собою передаточну функцію за потужністю, що дозволяє найбільш повно дослідити енергетичні процеси в системі, яка складається з електричних, механічних та електромеханічних елементів, і використати її для розв'язання широкого кола питань дослідження і проектування вібростендів.

1.Пушня В.О., Коробка О.В. Дослідження частинних властивостей комплексного коефіцієнта передачі електромеханічної системи // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. праць. Вип.24. – Х.: ХДТУБА, 2003. – С.162-168.

2.Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. – К.: Наук. думка, 1989. – 205 с.

3.Котов А.Н. К расчету электромеханических возбудителей колебаний // Приборостроение, средства автоматизации и систем управления: Сб. трудов. – М.: Наука, 1967. – С.27-32.

4.Больших А.С. Определение динамических нагрузок при испытании на усталость // Техника испытаний материалов: Сб. трудов ОНТИПРИБОР. – М., 1967. – С.19-25.

5.Ананьев И.В., Тимофеев П.Г. Колебания упругих систем в авиационных конструкциях и их демпфирование. – М.: Машиностроение, 1965. – 197 с.

*Отримано 28.11.2010*

УДК 697

АННА СТЕНПЕНЬ

*Технологический университет “Свентокшиская Политехника”, г. Кельце (Польша)*

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Анализируются существующие методы измерений звукоизоляционных свойств материалов для ограждающих конструкций, в частности, для стен и других конструктивных элементов здания. Определены их недостатки и предложена новая методика измерений и исследований звукоизоляционных свойств, основанная на акустическом туннеле.

Аналізуються існуючі методи вимірювання звукоізоляційних характеристик огорожуючих конструкцій, зокрема стін та інших конструкційних елементів будинку. Визначено їх недоліки і запропоновано нову методику вимірювання та досліджень звукоізоляційних характеристик, яка базується на акустичному тунелі.

Analyzed of existing methods of measuring insulation properties of shielding structures, among their numbers walls.

*Ключевые слова:* звукоизоляционные свойства, акустические измерения, приемная камера, передающая камера, мощность акустического давления.

Выбор материала для возведения стен является одной из проблем при проектировании и строительстве зданий. Все доступные современные технологии возведения стен в принципе обеспечивают выполнение необходимых требований в соответствии со строительными правилами как для внешних, так и для внутренних ограждающих конструкций [1]. Стены оказывают влияние на параметры микроклимата в помещении и, как следствие, на самочувствие человека, поэтому выбор соответствующего материала для стен, из которого они будут возведены, имеет большое значение. Одним из наиболее важных требований, которые сегодня предъявляются к стенам в жилищном и промышленном строительстве, является хорошая тепло- и звукозащита здания [1].