

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ НЕПЕВНОСТІ ВІБРОПЕРЕТВОРЮВАЧА

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Запропоновано математичну модель априорного оцінювання динамічної непевності віброперетворювача на основі динамічних властивостей засобу вимірювання та частотного спектру вхідного сигналу, яка дозволяє кількісно оцінити та враховувати для подальших розрахунків значення динамічної непевності при проведенні динамічних вимірювань віброприскорення і подавати результати досліджень відповідно до вимог міжнародних стандартів.

Ключові слова: віброперетворювач, динамічні вимірювання, динамічна непевність, частотна характеристика.

Диференціальне рівняння, що описує динаміку роботи віброперетворювача має вигляд

$$\frac{d^2 X_s(t)}{dt^2} + 2h \frac{dX_s(t)}{dt} + h_k^2 X_s(t) = \frac{F_0}{m} \sin(\omega_0 t), \quad (1)$$

де $F(t) = F_0 \sin(\omega_0 t)$ - гармонічна вимушена сила коливань поверховості об'єкту; F_0 - амплітуда сили; ω_0 - кутова частота вимушеної сили; $X_s(t)$ - механічні коливання інерційної маси; m - маса акселерометра; c - параметр демпфування; k - еквівалентна жорсткість п'єзоелементів, $h = c/2m$ - коефіцієнт демпфування; $h_k = \sqrt{k/m}$ - критичне значення коефіцієнту демпфування [1 - 4].

Значення динамічної непевності, що вноситься за рахунок інерційних властивостей використовуваного під час динамічних вимірювань віброперетворювача пропонується оцінити на основі модельного рівняння спектральної функції вхідного сигналу і частотної характеристики віброперетворювача за виразом

$$|u_D(t)| = \left[\left(\int_0^{\pi F_s} \pi^{-1/2} \sigma_{\Delta X}(\omega) \cos(\omega t) d\omega \right)^2 + \left(\int_0^{\pi F_s} \pi^{-1/2} \sigma_{\Delta X}(\omega) \sin(\omega t) d\omega \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (2)$$

де $\sigma_{\Delta X}(\omega) = \pi^{-1/2} \left((2T)^{-1} \int_0^{\pi F_s} \left| \frac{K_C(j\omega)}{K_C} - 1 \right|^2 |X(j\omega)|^2 d\omega \right)^{1/2}$ - динамічна непевність перетворювача

в частотній області, приведена до входу перетворювача [5]; K_C - частотна характеристика віброперетворювача при $\omega = 0$; $|K_C(j\omega)| = (a^2(\omega) + b^2(\omega))^{1/2}$ - модуль частотної характеристики віброперетворювача; $a(\omega)$, $b(\omega)$ - дійсна і уявна частини частотної характеристики віброперетворювача $K_C(j\omega)$; $X(j\omega)$ - спектральна функція вхідного сигналу, F_s - частота дискретизації.

В результаті проведення відповідних математичних перетворень, отримано математичну модель динамічної непевності в частотній області ω , яка має вигляд

$$\sigma_{\Delta X}(\omega) = \pi^{-1/2} \left(\frac{1}{2T} \int_0^{\pi F_s} \frac{\omega F_0 \left[\left(k(h_k^2 - \omega^2) - m(h_k^2 - \omega^2)^2 - 4m\omega^2 h^2 \right)^2 + 4k^2 \omega^2 h^2 \right]}{2Tm(\omega_0^2 - \omega^2) \left(m(h_k^2 - \omega^2)^2 + 4m\omega^2 h^2 \right)^2} d\omega \right)^{1/2}. \quad (3)$$

Підставляючи отриману математичну модель (3) у вираз для оцінки динамічної непевності (2), отримаємо вираз для дослідження амплітудного значення динамічної непевності віброперетворювача в часовій області. Характеристики зміни динамічної непевності

віброперетворювача, що описується диференціальним рівнянням (1) при різному часі спостереження T на різних частотах, представлено на рис. 1.

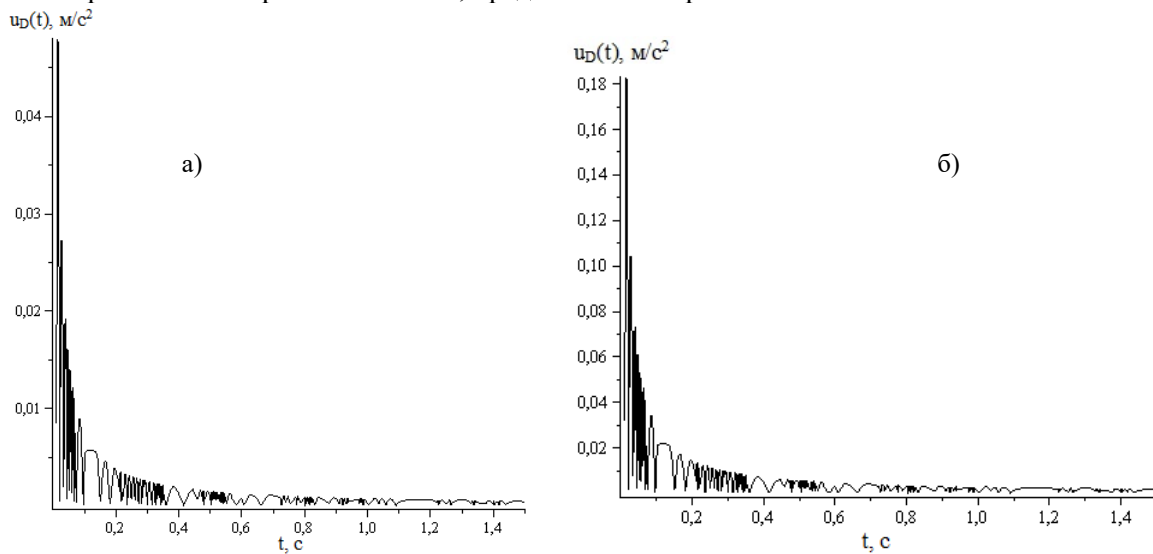


Рисунок 1 – Характеристика зміни динамічної непевності віброперетворювача: а) – при роботі на частоті 10 кГц та часові спостереження 600 с; б) при роботі на частоті 6 кГц та часові $T=300$ с

Таким чином, запропонована математична модель оцінювання динамічної непевності віброперетворювача дає змогу досліджувати значення непевності при різних значеннях параметрів впливних величин та подавати результати досліджень відповідно до вимог міжнародних стандартів з оцінювання якості вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васілевський О. М. Оцінка невизначеності вихідних сигналів засобів вимірювальної техніки в динамічних режимах роботи // Системи обробки інформації. – 2010. – № 4 (85). – С. 81 - 84.
2. Поджаренко В. О., Дідич В. М., Васілевський О. М. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумусу в ґрунті // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. - № 639. - С. 51 – 54.
3. Сопрунюк П. М., Васілевський А. Н., Чабанюк Ю. А. Неопределенность результатов измерений при контроле асинхронности вращения электромеханических преобразователей // Системи обробки інформації. – 2006. – №7 (56). – С. 72 – 75.
4. Vasilevskiy O.M., Kulakov P.I., Dudatiev I.A., Didych V.M., Kotyra Andrzej, Suleimenov Batyrbek, Assembay Azat, Ainur Kozzbekova Ainur, *Vibration diagnostic system for evaluation of state interconnected electrical motors mechanical parameters*, Proc. SPIE 10445, 2017, 104456C.
5. Vasilevskiy, O.M., & Didych, V.M. (2020), "The method of expressing the uncertainty of dynamic measurements", *Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity* : Collective monograph. - Riga : Izdavneciba "Baltija Publishing", pp. 63-83, ISBN 978-9934-588-47-1. - DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-47-1.4>.

Васілевський Олександр Миколайович - доктор технічних наук, професор, професор кафедри метрології та промислової автоматики, професор кафедри обчислювальної техніки ВНТУ, o.vasilevskiy@gmail.com
Коваль Марина Миколаївна – старший лаборант кафедри біомедичної інженерії ВНТУ.

MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE DYNAMIC UNCERTAINTY OF THE VIBRATION TRANSDUCER

Abstract. A mathematical model is proposed for a priori estimation of the dynamic uncertainty of the vibration transducer based on the dynamic properties of the measuring instrument and the frequency spectrum of the input signal, which allows one to quantitatively evaluate and take into account for further calculations the value of dynamic uncertainty during dynamic measurements of vibration acceleration and to present the research results in accordance with the requirements of international standards.

Keywords: vibration transducer, dynamic measurements, dynamic uncertainty, frequency response.

Vasilevskiy Oleksandr – Doctor of Science, prof. VNTU, o.vasilevskiy@gmail.com
Koval Maryna – Assistant Department of Biomedical Engineering VNTU.