

# ІНТЕГРАЛЬНІ ВІБРОПРИСКОРЕННЯ В ТЕОРІЇ ВІБРОКОНТРОЛЮ. СУТНІСТЬ І АЛЬТЕРНАТИВА

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану об'єктів гідроенергетики та покращення окремих його метрологічних характеристик запропоновано новий клас позасистемних фізичних величин – інтегральних віброприскорень, які за інформативною здатністю можуть слугувати еквівалентами традиційним віброшвидкості та віброзміщенню, але за можливістю зменшення загального обсягу обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю – ефективною альтернативою.

**Ключові слова:** вібрація, контроль, гідроенергетика, віброприскорення, віброшвидкість, віброзміщення, інтегральні віброприскорення.

## *Abstract*

For dynamic control of systems of hydroenergetics the new system of physical quantities (integrated vibration acceleration) has been created. This system by criterion of information ability is equivalent standard (vibrospeed and vibroshift), but concerning economy of time and hardware resources is the effective.

**Keywords:** vibration, control, hydroenergetics, vibrospeed, vibroshift, integrated vibration acceleration.

## **Вступ**

Динамічний контроль вібраційного стану об'єктів гідроенергетики є одним з ефективних методів забезпечення їх роботи як за усталених режимів, так і, головне, під час перехідних процесів [1]. У разі небезпеки цей різновид контролю дозволяє вже на ранніх етапах визначати не тільки моменти критичного зростання ймовірності аварійного стану системи в цілому, але і своєчасно виявляти в ній потенційно уразливі ланки, що здатні спричинити аварію.

З-поміж основних параметрів, які описують вібраційний стан об'єктів контролю, базисними є віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення [1-4]. Згідно з чинними стандартами, перший з названих параметрів визначається як вібраційна складова переміщення, інші ж два – як її перша та друга похідні часу, відповідно.

Уважний аналіз вихідного базису теорії віброконтролю [1], а також дослідження практики його проведення у виробничих умовах, зокрема, на об'єктах гідроенергетики [1, 2], дозволяє виявити, з одного боку, потребу, а з іншого – дотепер ще нереалізовану можливість помітного заощадження часових та апаратних ресурсів у спосіб зменшення обчислювального навантаження на первинний тракт засобу віброконтролю за інших рівних умов. Однак успішна реалізація цієї можливості попередньо вимагає створення та розбудови нового класу позасистемних фізичних величин. Позаяк введення у вихідний базис теорії контролю нових об'єктів повинно отримати належне достатнє математичне обґрунтування, теоретичне відображення сутності зазначених фізичних величин, розкриття і дослідження їх основних властивостей і стало основною метою заявленої роботи.

## **Інтегральні віброприскорення. Попередні зауваження**

Нововведені фізичні величини називатимемо *інтегральними віброприскореннями  $n$ -го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , оскільки вони формуються на основі послідовності відлікових значень дискретизованого за часом віброприскорення. Істотно, що, кількість математичних операцій, необхідних для визначення інтегрального віброприскорення  $n$ -го порядку на кожному відліку часу буде меншою, аніж це потрібно у разі проведення  $n$  кратного інтегрування віброприскорення. Водночас таке віброприскорення за виконання певних умов здатне перебувати у відношенні прямої пропорційності з інтегралом, внаслідок чого, природно, матиме ті ж інформативні властивості, що і сам інтеграл.

Із заявленого ряду інтегральних віброприскорень важливими є віброприскорення 1-го і 2-го порядків, оскільки зазначені фізичні величини є *заступними інформативними еквівалентами* [4] віброшвидкості та віброзміщення, відповідно.

### Інтегральні віброприскорення $n$ -го порядку

Отже, вихідною умовою задачі є впорядкована зчислена послідовність  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$

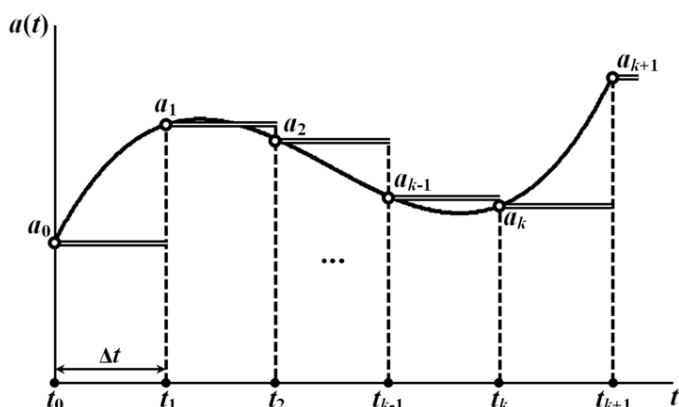


Рис. 1. Неперервний та дискретний сигнали віброприскорення  $a(t)$

відлікових значень дискретного у часі сигналу  $a_k = a(t_k)$ , де  $t_k = k \Delta t$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , згенерованого сенсорним акселерометром засобу віброконтролю на основі поточних значень віброприскорення  $a(t)$  об'єкта контролю, починаючи з деякого початкового моменту часу  $t_0$ , наприклад,  $t_0 = 0$  (рис. 1). Змінна  $\Delta t$  – це крок дискретизації, значення якої надалі вважатимемо довільним, але постійним.

Фізичну величину  $\xi^{(n)}$  називатимемо *інтегральним віброприскоренням  $n$ -го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , якщо її відлікові

значення визначатимуться за правилом

$$\xi_k^{(n)} = \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(n-1)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \xi_{i_2}^{(n-2)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \dots \sum_{i_n=0}^{i_{n-1}} a_{i_n}, \quad (1)$$

а впорядкована сукупність цих значень утворюватиме послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Відтак рекурсивна формула (1) виявляє себе як оператор однозначного відображення послідовності  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Формула (1) носить узагальнений характер і визначає ряд споріднених фізичних величин тієї ж розмірності, яку має і сама вихідна величина віброприскорення  $a(t)$ .

На підставі формули (1) внаслідок її узагальненості у дедуктивний спосіб неважко отримати інтегральні віброприскорення за конкретних значень  $n = 0, 1, 2, \dots$ .

### Інтегральні віброприскорення 1-го порядку

Для *інтегрального віброприскорення 1-го порядку*  $\xi^{(1)}$  правилом визначення  $k$ -го відлікового значення, відповідно до формули (1), є оператор

$$\xi_k^{(1)} = \sum_{i_1=0}^k a_{i_1} = a_0 + a_1 + \dots + a_k, \quad (2)$$

на основі якого і відбувається відображення послідовності відлікових значень віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в послідовність  $\{\xi_0^{(1)}, \xi_1^{(1)}, \dots, \xi_k^{(1)}, \xi_{k+1}^{(1)}, \dots\}$ .

### Інтегральні віброприскорення 2-го порядку

Відлікові значення *інтегрального віброприскорення 2-го порядку*  $\xi^{(2)}$ , згідно з (1), де  $n = 2$ , необхідно розраховувати за формулою

$$\begin{aligned} \xi_k^{(2)} &= \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2} = a_0 + (a_0 + a_1) + \dots + (a_0 + \dots + a_k) = \\ &= \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(1)} = \xi_0^{(1)} + \xi_1^{(1)} + \dots + \xi_k^{(1)}, \end{aligned} \quad (3)$$

яка і слугує оператором відображення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в  $\{\xi_0^{(2)}, \xi_1^{(2)}, \dots, \xi_k^{(2)}, \xi_{k+1}^{(2)}, \dots\}$ .

### Інтегральні віброприскорення. Прикінцеві зауваження

Організація розрахунку відлікових значень інтегральних віброприскорень будь-якого порядку є нескладною. Це доводить рис. 2, де показано фрагмент алгоритму з додатково уведеним в тіло циклу рекурсивним оператором, за допомогою якого здійснюється послідовне визначення інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків на кожному кроці часового відліку.

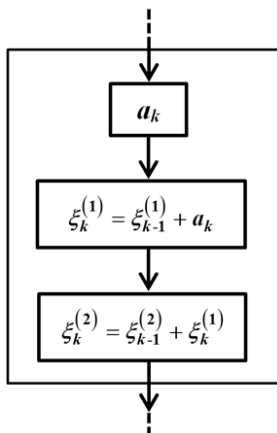


Рис. 2. Рекурсивний оператор розрахунку

$$\xi_k^{(1)} \text{ і } \xi_k^{(2)}$$

Втім варто звернути увагу і на те, що за практичної реалізації зазначеного алгоритму для збереження даних вимагатиметься додатковий ресурс фізичної пам'яті засобу контролю, об'єм якої буде тільки зростати, якщо зменшуватиметься крок дискретизації  $\Delta t$  і збільшуватиметься час проведення контролю. Це питання може виявитися, і, досить імовірно, виявиться, проблемним, що врешті потребуватиме свого вирішення, але в кожному конкретному випадку окремо.

Наприкінці зауважимо, що власне сама фізична величина віброприскорення об'єкта контролю є інтегральним віброприскоренням 0-го порядку  $\xi^{(0)}$ . Її відлікові значення дорівнюють  $\xi_k^{(0)} = a_k$ .

Також на увагу заслуговують інтегральні віброприскорення, для яких  $n > 2$  та  $n < 0$ . Щоправда, в цій роботі зазначені випадки не розглядаються.

### Висновки

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану об'єктів гідроенергетики запропоновано новий клас позасистемних фізичних величин – інтегральних віброприскорень, які за інформативною здатністю можуть слугувати еквівалентами традиційним віброшвидкості та віброзміщенню, але за можливістю зменшення загального обсягу обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю – ефективною альтернативою. Відтак в доповіді розкрито математичну сутність зазначених фізичних величин, виявлено та досліджено їх окремі властивості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
2. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
3. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. / Ред. совет : В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.
4. Ведміцький Ю. Г. Числове перетворення вібропараметрів гідрогенератора на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк // Метрологія та прилади. – №5(55). – 2015. – С. 21 - 27.

**Юрій Григорович Ведміцький** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teeb@i.ua.

**Yuryu Gr. Vedmitckyy** – Cand. Sc. (Eng), Docent, Associate Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teeb@i.ua.