

УДК 519.722

Аналіз інформативності акустичних сигналів в системі технічної діагностики мехатронних систем

Рудакова Г.В., Кондратьєва І.Ю., Поливода О.В.

Херсонський національний технічний університет, Херсон, Україна

Анотація. Стаття присвячена проблемам аналізу інформативності акустичних сигналів в системі функціональної діагностики мехатронних систем. Проаналізовано методи і засоби діагностування технічного стану мехатронних систем. Запропоновано метод визначення частотного діапазону інформативної частини сигналу, що характеризує конкретний працюючий вузол, на основі оцінювання нормованого енергетичного спектру та спектральної ентропії. Наведено послідовність етапів визначення меж інформативної частини сигналу, що складається з обчислення спектру сигналу та нормованого енергетичного спектру, його цифрової обробки, обчислення ентропії спектру, медіанного згладжування, логіко-часової обробки. Проведено аналіз результатів обробки експериментального акустичного сигналу для різних значень довжини фрейму. Наведено графічні зображення акустичного сигналу, значень спектральної ентропії та логічної функції.

Ключові слова: технічна діагностика; інформативність сигналу; енергетичний спектр; спектральна ентропія; фрейм.

Сучасною тенденцією розвитку мехатронних систем є використання багатоприводних установок каркасного компонування [1]. Такі об'єкти складаються з великої кількості взаємодіючих елементів, відносні переміщення яких породжують вібрації, що можуть критично позначитися на роботі прецизійних мехатронних систем. Ефективним засобом попередження аварій, виявлення критичних режимів роботи, діагностики несправностей устаткування мехатронних систем є методи функціональної діагностики [2]. Останнім часом особливий інтерес проявляється до створення методів і засобів діагностування технічного стану мехатронних систем, заснованих на вивченні коливальних і акустичних процесів [3].

Шуми апаратів і машин характеризують як загальні властивості системи, так і властивості їх частин. Досвід застосування акустичних методів показує, що в стані нормального функціонування енергія шуму в основному концентрується в області низьких частот, а енергія дефектів, розташовується на більш високих частотах [4].

В процесі перетворення акустичного сигналу після його апаратної обробки визначають межі інформативної частини сигналу для його подальшого аналізу. Традиційно в інженерній практиці використовується два канали: перший канал з частотним діапазоном 200 – 500 Гц, другий – 1000-2500 Гц. Для першого каналу характерна відсутність фіктивних високоенергетичних складових, а у другому діапазоні енергія корисних сигналів приблизно в 2 рази перевищує енергію шумових складових компонент сигналу. Вказані частотні діапазони є загально рекомендованими для широкого класу об'єктів мехатронних систем, проте для більш точного аналізу та діагностики необхідно визначати частотний діапазон інформативної частини сигналу, що характеризує конкретний режим роботи працюючого обладнання.

Метою досліджень є формування процедури визначення частотного діапазону інформативної частини сигналу на основі оцінювання нормованого енергетичного спектру та спектральної ентропії. Послідовність етапів визначення меж інформативної частини сигналу на основі спектральної ентропії [5] представлено на рис. 1.

У блоці 1 вхідний сигнал $x(n)$ завдовжки N розбивається на фрейми певної довжини. Для кожного s -го відрізка завдовжки ΔN обчислюється спектр:

$$X_s(k) = \sum_{n=0}^{\Delta N-1} x_s(n) e^{-j(2\pi/\Delta N)nk}, \quad k \in \overline{0, \Delta N - 1}, \quad s \in \overline{1, N/\Delta N}. \quad (1)$$



Рис. 1. Етапи визначення меж інформативної частини сигналу

У блоці 2 обчислюється нормований енергетичний спектр:

$$\|W_s(k)\| = \frac{W_s(k)}{\sum_{m=0}^{\Delta N-1} W_s(m)}, \quad \text{де } W_s(k) = |X_s(k)|^2. \quad (2)$$

У блоці 3 використовується смуговий фільтр. Для придушення вузько смугових шумів і широкосмугових білого шуму використовується правило

$$\|W_s(k)\| = 0, \quad \text{якщо } \delta_1 < \|W_s(k)\| < \delta_2. \quad (3)$$

У блоці 4 обчислюється спектральна ентропія:

$$H_s = - \sum_{k=0}^{\Delta N-1} \|W_s(k)\| \lg \|W_s(k)\|. \quad (4)$$

У блоці 5 здійснюється фільтрація за алгоритмом медіанного згладжування послідовності H_1, \dots, H_L , $L = N / \Delta N$ і отримання послідовності оцінок ентропії $\tilde{H}_1, \dots, \tilde{H}_L$.

У блоці 6 проводиться логіко-часова обробка. Спочатку обчислюється адаптивний поріг у вигляді

$$\gamma = \left(\frac{\max \tilde{H}_s + \min \tilde{H}_s}{2} \right) \mu, \quad (5)$$

де μ - параметр, визначуваний експериментальним шляхом.

Якщо $\gamma > \tilde{H}_s$, то відрізок сигналу вважається інформативним.

Проведено розрахунки запропонованим методом на прикладі акустичного сигналу, отриманого в результаті експерименту при роботі електромеханічного обладнання та наведеного на рис.2.

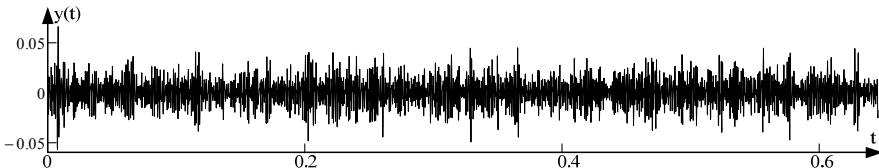


Рис.2. Акустичний сигнал, отриманий в результаті експерименту

При визначенні частотного діапазону інформативної частини сигналу задавалися різні значення довжини фрейму $dN = \{256, 512, 1024\}$. На рис.3. наведені результати розрахунків спектральної ентропії $H_i(s)$ та логіко-часової обробки $P_i(s)$.

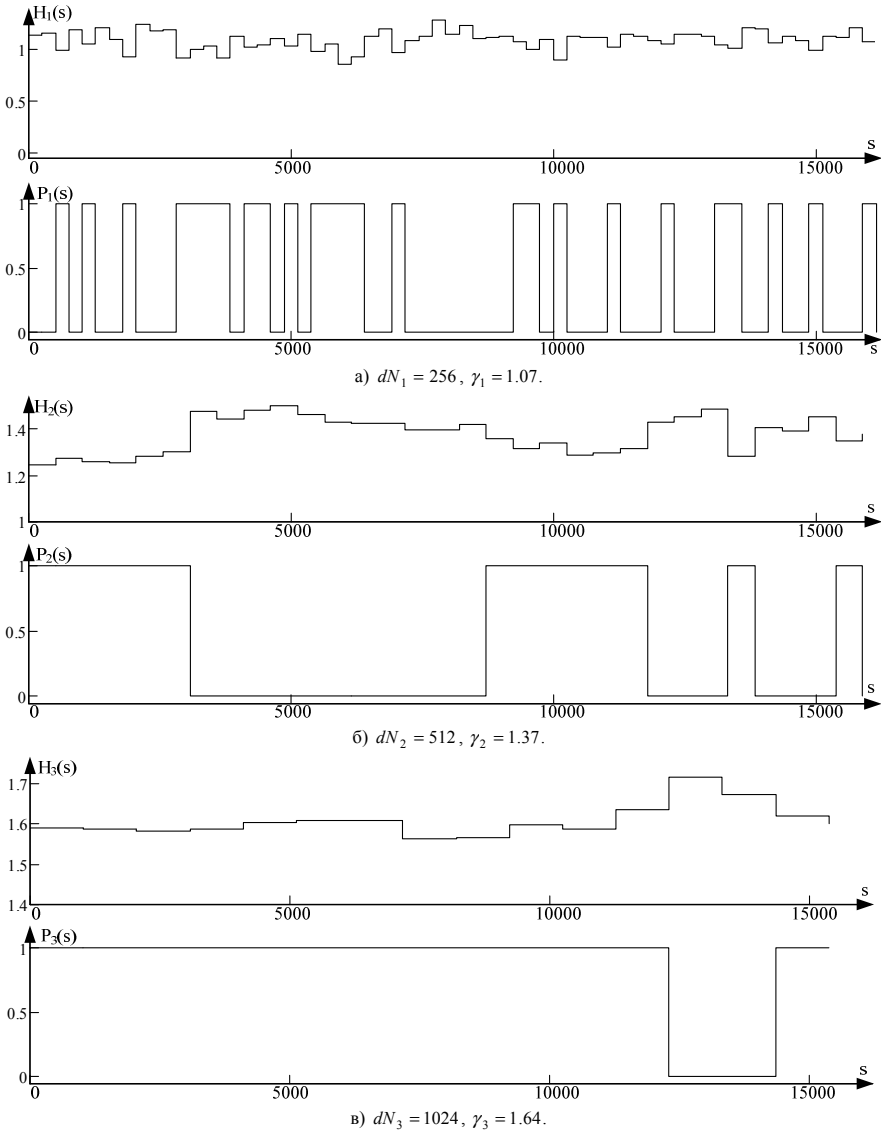


Рис.3. Результати розрахунків спектральної ентропії та логіко-часової обробки

Аналіз результатів обробки експериментального акустичного сигналу показав існування інформативних ознак у наступних діапазонах частот: 200-400 Гц, 700-800 Гц, 1700-1800 Гц. Довжина фрейму суттєво впливає на результати оцінки спектра, що викликає необхідність проведення додаткових досліджень з метою виявлення раціонального розбиття сигналу на фрейми.

Analysis of the acoustic signal informativity in the mechatronic systems technical diagnostics

Rudakova H., Kondratieva I., Polyvoda O.

***Abstract.** The article is associated with the problems of analyzing the in systems of functional diagnostics of mechatronic systems. The methods and means of diagnosing the technical state of mechatronic systems are analyzed. The method of determining the frequency range of the informative part of the signal characterizing a specific working device, based on the normalized energy spectrum and spectral entropy, is proposed. A sequence of the range determination steps of the signal informative part, consisting of the calculation of the signal spectrum and the normalized energy spectrum, its digital processing, the calculation of the entropy of the spectrum, the median smoothing, logical-time processing are shown. The analysis of the experimental acoustic signal processing results for different values of the frame size has been carried out. The graphic representations of the acoustic signal, the values of spectral entropy and the logic function are presented.*

***Keywords:** technical diagnostics; acoustic signal informativity; energy spectrum; spectral entropy; frame.*

Анализ информативности акустических сигналов в системе технической диагностики мехатронных систем

Рудакова А.В., Кондратьева И.Ю., Поливода О.В.

***Аннотация.** Статья посвящена проблемам анализа информативности акустических сигналов в системе функциональной диагностики мехатронных систем. Проанализированы методы и средства диагностики технического состояния мехатронных систем. Предложен метод определения частотного диапазона информативной части сигнала, характеризующего конкретный работающий узел, на основе оценки нормированного энергетического спектра и спектральной энтропии. Приведена последовательность этапов определения границ информативной части сигнала состоящая из вычисления спектра сигнала и нормированного энергетического спектра, его цифровой обработки, вычисления энтропии спектра, медианного сглаживания, логико-временной обработки. Проведен анализ результатов обработки экспериментального акустического сигнала для различных значений длины фрейма. Приведены графические изображения акустического сигнала, значений спектральной энтропии и логической функции.*

***Ключевые слова:** техническая диагностика; информативность сигнала; энергетический спектр; спектральная энтропия; фрейм.*

Список літератури:

1. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстаів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Пятибратов Г.Я. История развития и современные проблемы электроэнергетики и электротехники: учебное пособие /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).–Новочеркасск: ЮРГТУ, 2013. – 122 с.
3. Малайчук В.П. Математическая дефектоскопия / В.П. Малайчук, А.В. Мозговой. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. –180 с.
4. Кондратьева И.Ю. Аналіз акустичних сигналів в прирошеннях для функціональної діагностики багатопровідних установок / І.Ю. Кондратьєва, Г.В. Рудакова, О.В. Поливода, Н.В. Сарафаннікова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (123). – Дніпро, 2019. – С. 77 – 85.
5. Безвесільна О.М. Перетворюючі пристрої приладів. Технологічні вимірювання та прилади / О.М. Безвесільна, В.Ю. Ларін, Н.І. Чичикало, С.С. Федоров, О.О. Добрянський. – Житомир: ЖДТУ, 2011.–542 с.