

**Р.П. МИГУЩЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХП»

## **ОЦІНКА СТАЦІОНАРНОСТІ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

Розглянуто питання оцінки стаціонарності вібраційних сигналів, отриманих з трубки паливного насосу високого тиску. Перевірка на стаціонарність виконувалась за допомогою медіанного критерію, критерію висхідних і низхідних серій, критерію інверсій. Результати оцінки можуть бути використані для розробки алгоритмів діагностики паливної системи дизельних двигунів.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль, дизельний двигун, паливна апаратура, вібраційний сигнал.

**Постановка проблеми.** Неруйнівний контроль та безрозбірна діагностика є найбільш перспективними напрямками при побудові сучасних систем контролю і управління. Алгоритми, які реалізують названі технології, основані на опрацюванні вимірювальної інформації від датчиків, що встановлені на важливі вузли складних промислових агрегатів. Одними з найбільш поширених сигналів, які використовують при безрозбірній діагностиці, є вимірювальні вібраційні сигнали [1, 2].

Вібраційні сигнали завжди мають суттєву випадкову високочастотну складову, тому оцінка характеристик названої складової є важливим моментом при опрацюванні вимірювальних сигналів. В першу чергу такі сигнали необхідно перевірити на стаціонарність. В залежності від результату перевірки, для опрацювання вимірювальних сигналів застосовуються різні методи, серед яких *перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення* тощо [3, 4].

В статті наведені розрахунки при оцінюванні стаціонарності вимірювальних вібраційних сигналів, отриманих з трубки паливного насосу високого тиску дизельних двигунів, які в подальшому використовуються для діагностики стану паливної системи дизелів [5].

**Мета статті** полягає у визначенні стаціонарності вимірювальних вібраційних сигналів, отриманих з трубки паливного насосу високого тиску дизельних двигунів за допомогою *медіанного критерію, критерію висхідних і низхідних серій, критерію інверсій*.

**Аналіз об'єкту дослідження.** Вимірювальний вібраційний сигнал, який було отримано з паливної системи дизельних двигунів за допомогою віброакселерометра АП18, поданий на рис.1 [5]. Цей сигнал однозначно свідчить про справність – несправність форсунок дизеля – одних з найбільш важливих вузлів такого агрегату [6]. На даний час при визначенні придатності форсунок

для подальшого використання, як правило, застосовують розбірні діагностичні технології. Заміна розбірних на безрозбірні бездемонтажні технології здатна суттєво покращити техніко-економічні показники при діагностиці дизелів.

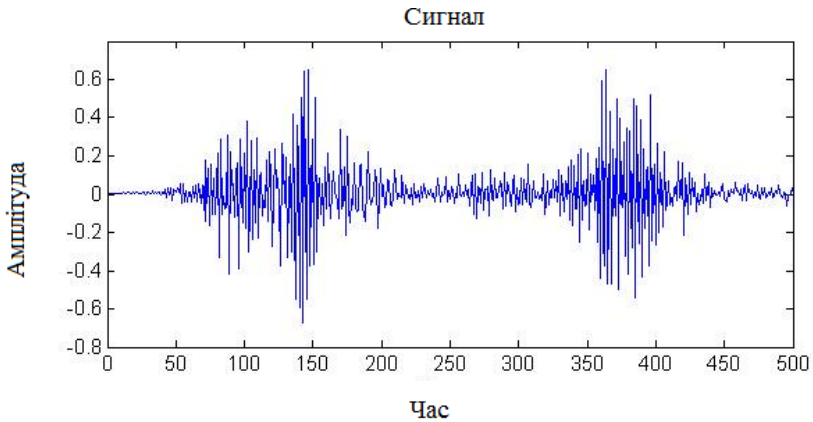


Рис. 1 – Вимірювальний вібраційний сигнал.

Вейвлет-перетворення сигналу, поданого на рис.1 з застосування *вейвлетів Морле*, показано на рис.2. Таке перетворення допомагає виділити діагностичні параметри для оцінки придатності форсунок для подальшого використання. Проте застосування такого перетворення є доцільним при умові нестационарності височастотної складової вхідного сигналу.

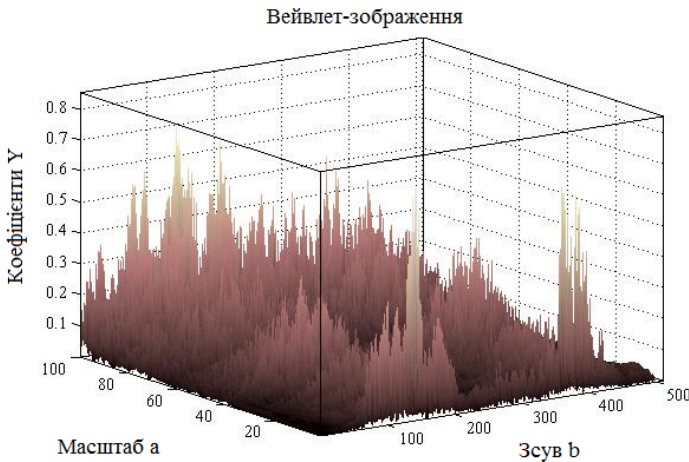


Рис. 2 – Безперервне вейвлет-перетворення.

Математична модель сигналу з рис.1 має вигляд [7]:

$$v(t) = s'(t, \lambda(t)) + s''(t) + \xi(t) + n(t), \quad (1)$$

де  $s'(t, \lambda(t)) + s''(t)$  – модель штатного режиму діагностованого обладнання (корисна складова);  $\xi(t)$  – випадкова складова діагностичного сигналу;  $n(t)$  – вплив первинного перетворювача на сигнал.

Корисна складова сигналу є відображення фізичного процесу спрацювання форсунок (відкриття та закриття) (рис.3) і описується коливальною ланкою з запізненням [8]:

$$W_{ij}(p) = \frac{k_{ij}}{T_{1ij}^2 p^2 + T_{2ij} p + 1} e^{-p\tau_{ij}}. \quad (2)$$

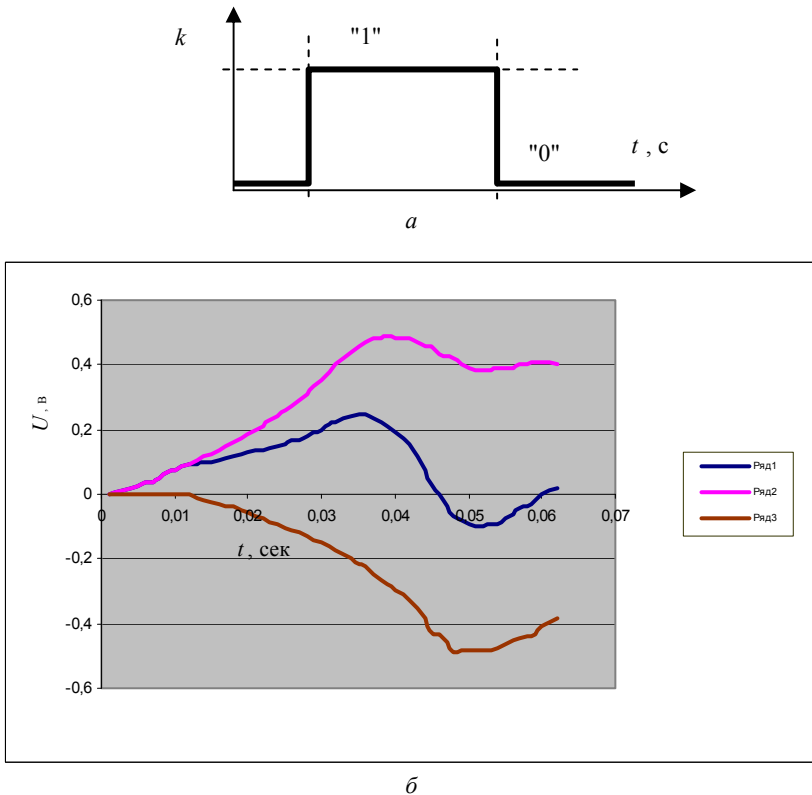


Рис. 3 – Математична обробка сигналу: *a* – вихідна характеристика; *б* – вихідні перехідні функції.

Виділення з загального вібраційного сигналу (1) корисної складової (2) допомагає отримати графічне представлення шумової складової.

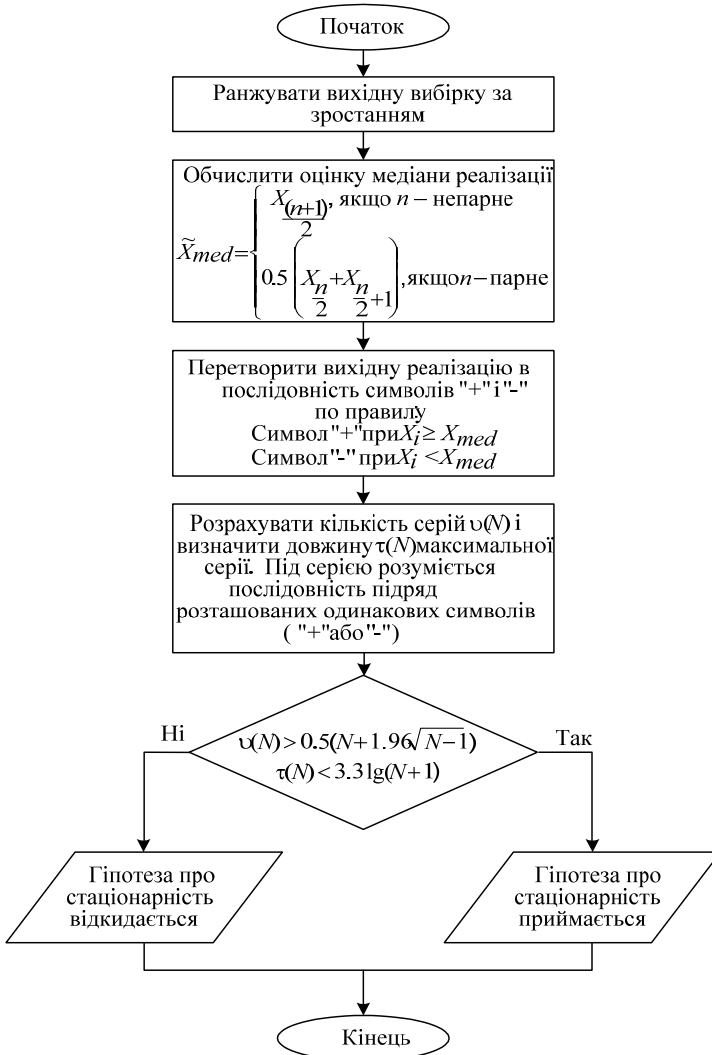


Рис. 4 – Алгоритм медіанного критерію.

Для досліджуваного сигналу (рис.1) виключно шумова складова наводиться між сплесками цього сигналу і розташовується в діапазоні (200-350) мс. Саме сигнал у вказаному діапазоні доцільно перевірити на стаціонарність.

**Оцінка стаціонарності.** Цифровані значення шумової складової вимірювального вібросигналу подані в таблиці.

Таблиця – Цифровані значення вхідного сигналу

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_i$	-0,16	-0,14	0,04	0,01	0,38	-0,09	-0,26	-0,10	0,02
№	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$X_i$	0,20	-0,11	0,13	-0,06	-0,14	0,22	-0,07	0,02	0,06
№	19	20	21	22	23	...	88	89	90
$X_i$	0,01	0,01	-0,09	0,06	-0,06	...	0,20	0,03	0,01

Оцінка стаціонарності сигналу (таблиця) здійснюється за допомогою медіанного критерію (рис.4), критерію висхідних і низхідних серій (рис.5), критерію інверсій (рис.6). В статті подані відповідні алгоритми перевірки на стаціонарність.

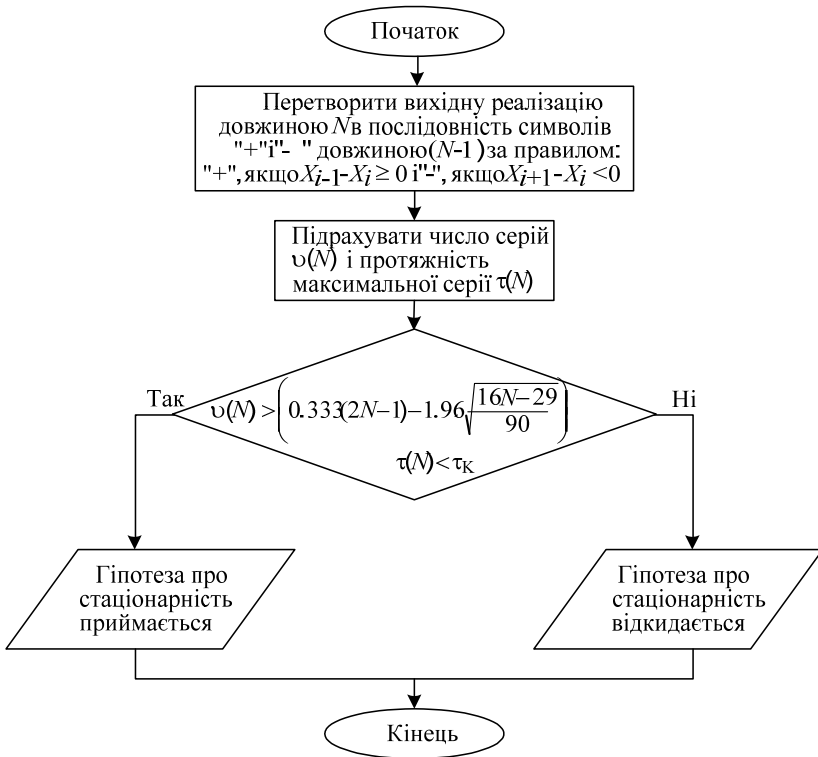


Рис. 5 – Алгоритм критерію висхідних і низхідних серій.

Для медіанного критерію оцінка медіани дорівнює:

$$X_{med} = 0.5(X_{45} - X_{46}) = -0,02 .$$

Відповідно до вихідної реалізації (таблиця) за алгоритмом (рис.4) буде нова реалізація, з якої визначені параметри:

$$\nu(90) = 35; \tau(90) = 9.$$

За формулами алгоритму (рис.4) знаходяться контрольні значення параметрів:

$$\nu_k(90) = 0.5 \cdot (90 + 1.96\sqrt{90-1}) = 36.25, \tau_k(90) = 3.3 \cdot \lg(90+1) = 6.46.$$

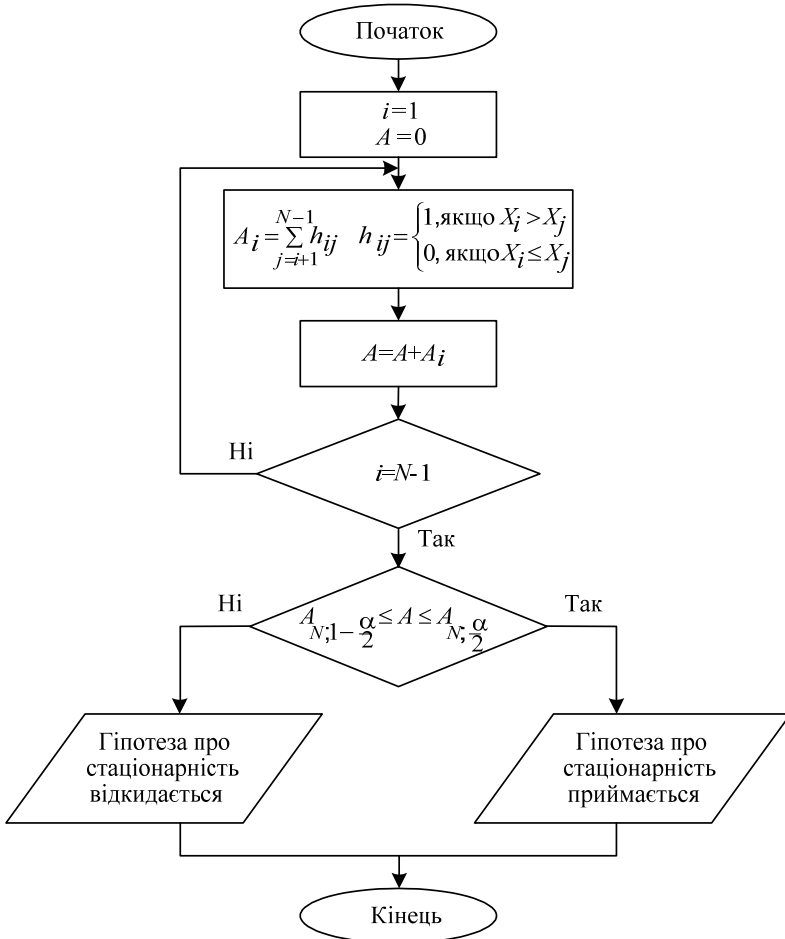


Рис. 6 – Алгоритм критерію інверсії.

Враховуючи невиконання нерівності  $\nu(90) > \nu_k(90)$  та  $\tau(90) < \tau_k(90)$  гіпотеза про стаціонарність відкидається з довірчою ймовірністю 0.95.

Для критерію висхідних і низхідних серій вихідна реалізація (таблиця) перетворюється на нову за правилом, відповідно до алгоритму (рис.5). За новою реалізацією визначаються параметри:

$$\nu(90) = 51; \tau(90) = 4.$$

За формулами алгоритму (рис.5) визначаються контрольні значення:

$$\nu_k(90) = 0.5(90 + 1.96\sqrt{90-1}) = 51.84, \tau_k(90) = 6, N = 26 \div 153.$$

У зв'язку з невиконанням нерівності  $\nu(90) > \nu_k(90)$  гіпотеза про стаціонарність відкидається з довірчою ймовірністю 0.95.

Для критерію інверсій підраховується кількість інверсій відповідно до алгоритму (рис.6):

$$A = \sum_{i=1}^{N-1} A_i, \text{ де } A_i = \sum_{j=1}^{N-1} h_{ij}, h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } X_i > X_j, \\ 0, & \text{при } X_i < X_j. \end{cases}$$

Для вихідної реалізації (таблиця) кількість інверсій дорівнює  $A = 1860$ . З [9] знаходяться контрольні значення інверсій для рівня значущості  $\alpha = 0.025$ . Такими значеннями є

$$A_{90; 1-\frac{\alpha}{2}} = A_{90; 0.975} = 1721, \quad A_{90; \frac{\alpha}{2}} = A_{90; 0.025} = 1721.$$

Враховуючи виконання нерівності  $1721 \leq A \leq 2283$  гіпотеза про стаціонарність приймається з довірчою ймовірністю 0.95.

Результатом дослідження є те, що шумова складова сигналу (рис.1) відноситься до нестационарних та слабостационарних і для опрацювання таких сигналів доцільно використовувати вейвлет-перетворення.

**Висновки.** У даній статті проаналізована модель вимірjuального вібраційного сигналу з трубки паливного насосу високого тиску дизельних двигунів, виділена шумова складова сигналу, здійснена перевірка на стаціонарність сигналу, доведена доцільність використання саме вейвлет-перетворення для виділення контрольних параметрів при подальшій безрозбірній діагностичі стану паливної системи дизелів.

**Список літератури:** 1. Сисак Р.М. Методи та системи статистичної діагностики дизель-генераторів на базі циклічних процесів: Дис. канд. техн. наук: 05.11.16. – К., 2000. – 185с. 2. Крjтов В.И., Горбаневский В.Е. Математическое моделирование впрыска и распыливания топлива дизельной топливной аппаратурой // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 38 – 44. 3. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб: ВУС, 1999. 4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 512с. 5. Валуйская О.Ю. Обработка вибросигналов с целью определения параметров для экспресс-диагностики топливной аппаратуры дизельных агрегатов // Вестник НТУ «ХПИ». Сер. Автоматика и приборостроение. – Харьков. – 2002. – вып. 9. Т.7. С. 31 – 34. 6. Кропачек О.Ю. Методы и устройства контроля виброускорений стенок топливопровода высокого давления дизельных агрегатов: Дис. канд. техн. наук: 05.11.13. – Харьков, 2004. – 214 с. 7. Володарський С.Т., Шантур

Д.С., Шантур С.В. Дворівневий структурний аналіз вібродіагностичних сигналів // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №1. С. 171 – 175. 8. Мигущенко Р.П., Валуйська О.Ю. Методика ідентифікації процесів робочої зони ДГУ // Системи обробки інформації. 2003. – Вип. 3. С.75 – 80. 9. Дж. Бендат, Пирсол А. Прикладний аналіз випадкових даних. – М.: Мир, 1989. – 610 с.

Надійшла до редколегії 05.10.2013

---

УДК 519.254

**Оцінка стаціонарності вібраційних процесів паливної системи дизельних двигунів / Р. П. Мигущенко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №54 (1027). – С. 155 – 162. Бібліогр.: 9 назв.

Рассмотрены вопросы оценки стационарности вибрационных сигналов, полученных с трубки топливного насоса высокого давления. Проверка на стационарность производилась с помощью медианного критерия, критерия восходящих и нисходящих серий, критерия инверсий. Результаты оценки могут быть использованы для разработки алгоритмов диагностики топливной системы дизельных двигателей.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, дизельный двигатель, топливная аппаратура, вибрационный сигнал.

The questions of estimation of stationarity of oscillation signals, got from the tube of petrolift high pressure are considered in the article. Checking for a stationarity was produced by a median criterion, criterion of ascending and descending series, criterion of inversions. Can be drawn on the results of estimation for development of algorithms of diagnostics of the fuel system of diesel engines.

**Key words:** non-destructive testing, diesel engine, fuel injection equipment, vibrating alarm.

УДК 17.27

**Т.А. НЕМЧЕНКО**, асист., НТУ «ХПІ»

**НЕОДНОРІДНЕ РІВНЯННЯ**  $Aw' + f(z) = w$

**І ЙОГО ГОЛОМОРФНІ РОЗВ'ЯЗКИ**

Запропоновано елементарне доведення існування і єдиності розв'язку рівняння  $Aw' + f(z) = w$  у випадку, коли  $f(z)$  голоморфна в околі нуля, а оператор  $A$  задовольняє умові І. В. Тихонова

$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n! \|A^n\|} = 0$ . Вивчені деякі загальні властивості голоморфних розв'язків цього рівняння.

**Ключові слова:** голоморфний розв'язок, лінійний оператор, квазінільпотентний оператор, нільпотентний оператор, поліном, степеневий ряд, банахів простір, експоненціальний тип.

**Вступ.** Задача Коші на півосі для лінійного рівняння з операторним коефіцієнтом при похідній

$$Ax'(t) + Bx(t) = f(t) \quad (1)$$

---

© Т. А. Немченко, 2013