

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ВІБРОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНИХ СИСТЕМ

**Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Ігнатенко О.Г.**

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,  
кафедра Метрології та промислової автоматики

E-mail: wasilevskiy@mail.ru

### *Abstract*

*Vasilevskiy O.M., Kucheruk V.U., Ignatenko O.G. Informational-Measuring System Estimation of Rotors Systems Vibrating Parameters Experimental researches of vibration with which help cross-correlation functions on which frequencies rotation of rotors are determined are formed are lead, and also is investigated measurement algorithm.*

**Вступ.** Розробка і дослідження систем оцінювання вібраційних параметрів роторних систем, які дозволяють одержувати своєчасну та достовірну інформацію про частоти обертання та фактичний стан роторних систем (РС), є одним із компонентів стратегії підвищення ефективності промислових технологічних комплексів та зниження затрат на їх огляд в процесі експлуатації.

Вібрація в даній ІВС є головним параметром, який необхідно вимірювати. Комплексний підхід до одночасного вимірювання частот обертання вала та контролю технічного стану РС раніше не використовувався. Тому розробка методу вимірювання частот обертання за вібросигналами (ВС), методу контролю технічного стану є на сьогоднішній день актуальною задачею, вирішення якої дозволить оцінити технічний стан та знизить затрати на ремонт.

**Аналіз стану досліджень та публікацій.** На сьогоднішній день одночасне вимірювання частот обертання за вібраційними параметрами та контроль технічного стану, ще малодосліджені. Відомі окремі роботи з високочастотної вібродіагностики [1] та із систем контролю частот обертання [2], які не дозволяють одночасно вимірювати частоту обертання РС за їх ВС та контролювати технічний стан.

**Формування цілей статті.** З огляду на вище сказане, метою статті є розробка конструктивної схеми реалізації методу вимірювання частот обертання, алгоритму вимірювання за вібраційними параметрами та методу одночасного контролю технічного стану РС.

**Вирішення задачі та результати досліджень.** Безупинний ріст вимог до ефективності сучасного промислового виробництва обумовлює необхідність пошуків нових шляхів зниження затрат і, в першу чергу, пов'язаних з відмовою, аваріями і позаплановим простоєм обладнання. Широке впровадження вібродіагностики РС, що супроводжується високим рівнем вібрації, пов'язані з частотою обертання ротора і кратними до неї гармонійними складовими. Тому, пропонується метод вимірювання частот обертання РС за допомогою ВС, що одержують через закріплені на основі РС акселерометри, які вимірюють віброприскорення по двом осям — абсцисі і ординаті (X та Y). Це дозволяє вимірювати частоти обертання РС, без додаткового закріплення на вал модулятора, і одночасно контролювати технічний стан вібраційний стан РС.

Сенсори вібрації необхідно розмістити концентрично під певним кутом  $\varphi$  так як це представлено на рис. 1. Знаючи кут  $\varphi$  між осями за якими здійснюються вимірювання віброприскорення стає можливим утворення взаємно-кореляційної функції (ВКФ) між двома вібросигналами в залежності від їх взаємного зсуву у часовій області. Час, при якому

досягається максимум ВКФ відповідає часу затримки двох вимірних ВС, який необхідно визначити.

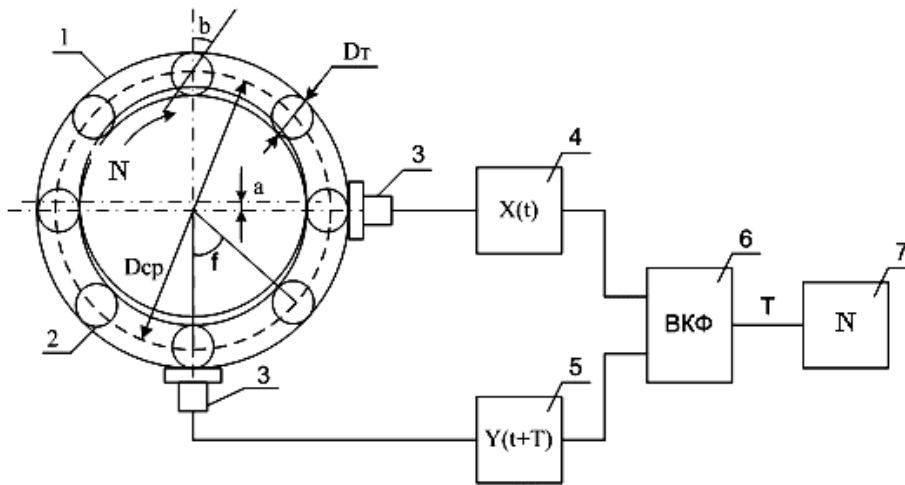


Рисунок 1 — Конструктивна схема реалізації методу вимірювання частот обертання вала за за віброметричними параметрами:

- 1 — підшипниковий вузол РС; 2 — тіло кочення; 3 — сенсори вібрації;
- 4, 5 — блоки перетворення механічних коливань у сигнали віброприскорення;
- 6 — блок визначення часу затримки  $T$  через утворену ВКФ між вимірними сигналами віброприскорення; 7 — блок визначення частоти обертання  $N$

При відомому куті  $\Delta\varphi$  та визначеному часові затримки  $T$ , частоту обертання вала  $N$  визначимо за формулою:

$$N = \frac{60 \cdot \Delta\varphi}{2\pi \cdot T} \tag{1}$$

ВКФ, що використовується для обчислення частоти обертання РС можна представити у вигляді [3]:

$$R_{XY}(T) = \sum_{\nu=1}^n S_{X_\nu} S_{Y_\nu} \cdot \cos(\Psi_\nu - \nu \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot T), \tag{2}$$

де  $S_X$ , і  $S_Y$  — середнє квадратичне значення ВС  $X(t)$  та  $Y(t)$ ;  $\Psi_\nu$  — фазовий зсув між  $\nu$ -ми гармоніками досліджуваних сигналів;  $\nu$  — кількість вимірних параметрів;  $f_0$  — частота дискретизації вхідної напруги;  $T$  — час затримки між ВС, який потрібно визначити;  $n$  — кількість відліків (вибірка).

Тоді, час досягнення максимуму ВКФ можна розрахувати за формулою [4]:

$$T = \frac{1}{n} \int_0^{t_g} R_{XY}(T) / (S_X \cdot S_Y) dT \tag{3}$$

Алгоритм вимірювання частоти обертання вала за допомогою віброметричних параметрів представлено на рис. 2.

Експериментальні данні утворених ВКФ між двома вимірними ВС на зразково заданій частоті обертання 50 та 72 Гц наведено на рис. 3.

Визначений за формулою (3) експериментальний час затримки на частоті 50 Гц (рис.3, а) складає 4,997 мс, а на частоті 72 Гц (рис. 3, б) — 3,481 мс. Знаючи кут між осями вимірювання та час затримки, частоти обертання, розраховані за формулою (1), відповідно будуть дорівнювати: 50,03 Гц та 71,8 Гц. Таким чином, як видно із

експериментально визначених частот, зведена похибка вимірювання частоти обертання не перевищує 0,28 %.

Оскільки в даній ІВС використовуються акселерометри, які вимірюють віброприскорення за яким будується ВКФ, то доцільно разом із визначенням частот обертання одночасно утворювати і авто-кореляційну функцію, яка б дозволила контролювати технічний стан РС.

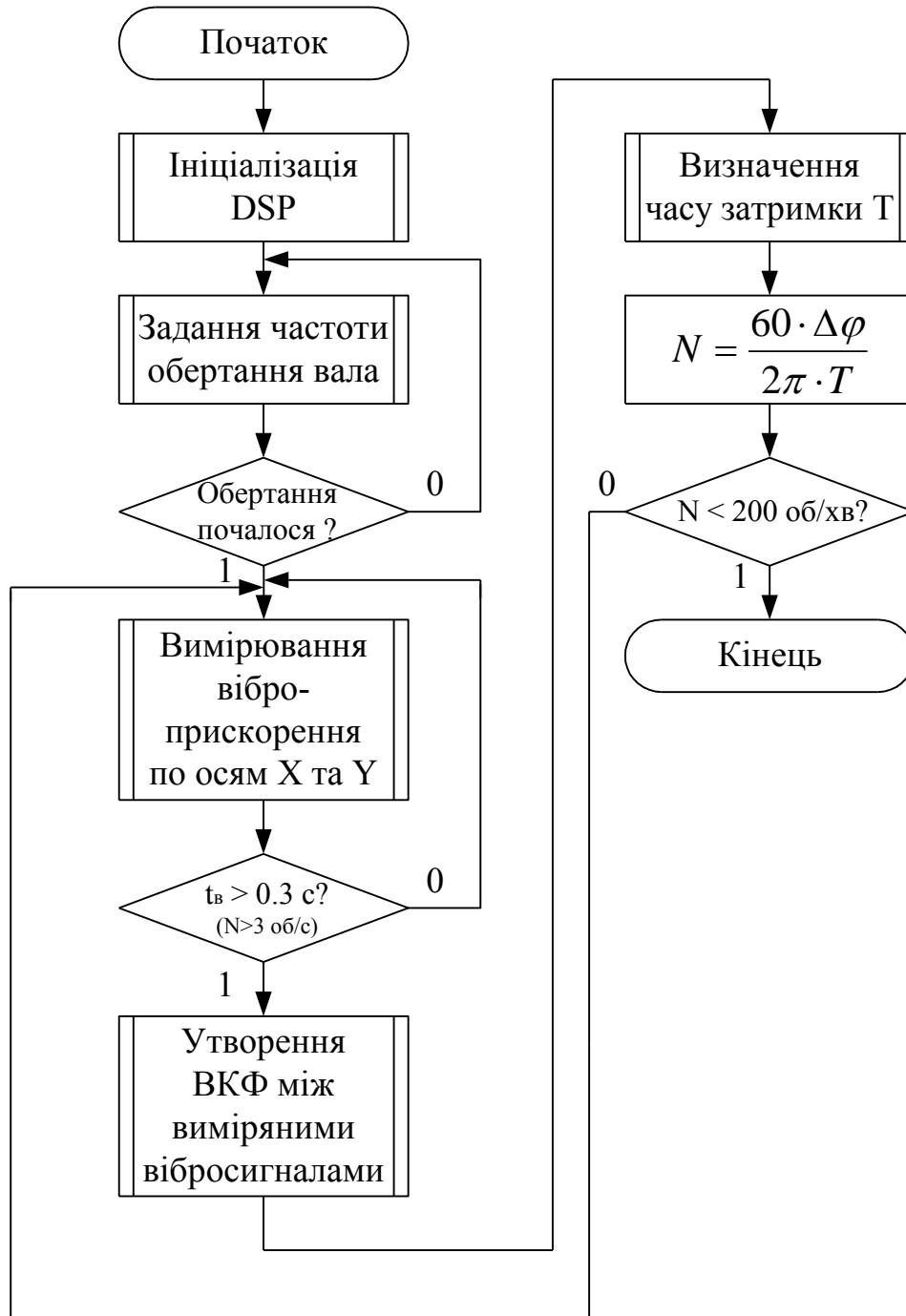


Рисунок 2 — Алгоритм вимірювання частоти обертання вала за вібрацією РС

Попередньо проведені дослідження показали, що серед найбільш вживаних вібраційних параметрів РС може бути вибрана авто-кореляційна функція (АКФ) вібраційного

процесу, яка дозволяє контролювати технічного стану різноманітних машин і механізмів. За інформативний параметр було прийнято логарифмічний декремент затухання (ЛДЗ) АКФ ВС, який можна описати виразом [5]:

$$\alpha = \ln \left[ \frac{R(t)}{R(t+T)} \right] = \beta \cdot T, \tag{4}$$

де  $R(T) = R(0)e^{-\beta T}$  — амплітуда затухаючих коливань;  $T$  — період затухаючих коливань;  $\beta$  — коефіцієнт затухання.

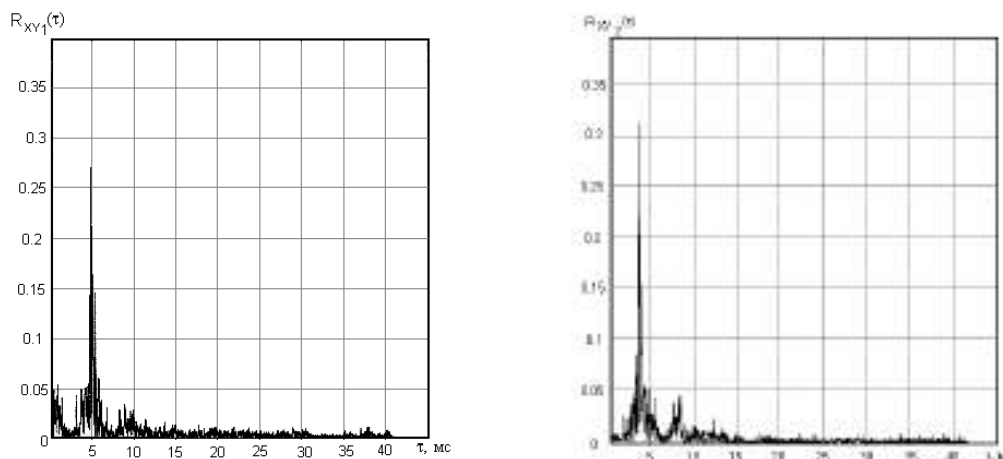


Рисунок 3 — Характеристики ВКФ на частоті 50 Гц — (а) та 72 Гц — (б)

Такий вибір є правомірним, оскільки ЛДЗ уже використовувався для оцінки технічного стану РС, обумовлених їх зносними дефектами у літературі [5].

З метою отримання єдиної інформативного параметру, який характеризує зміну технічного стану  $\Theta$ , який враховує показники ЛДЗ ВС при розгоні та гальмуванні РС прийнято таке відношення:

$$\Theta = \frac{\alpha_p}{\alpha_z} 100\% . \tag{5}$$

Згідно із (5) ступінь зносу РС, що експлуатувалась 8 місяців склав 77 %, а та що експлуатувалась 1,5 місяця — 22%. Характеристики зміни технічного стану роторної системи з часом їх напрацювання представлено на рис. 4.

Таким чином, контроль технічного стану РС можна проводити за параметром  $\Theta$ , який є відношенням ЛДЗ АКФ ВС на інтервалах розгону та гальмування РС. Дана ознака адекватно відображає технічний стан РС і дозволяє оцінити ступінь зносу її підшипникових вузлів. Розроблений метод контролю технічного стану РС за ЛДЗ АКФ ВС підтверджений експериментальними дослідженнями та покладена в основу побудови ІВС оцінювання віброметричних параметрів РС.

**Висновки.**

1. Розроблено математичний апарат та алгоритм вимірювання частоти обертання вала роторних систем за віброметричними параметрами. Проведено експериментальні дослідження ВКФ за допомогою якої визначалися частоти обертання вала. В ході експериментів встановлено, що зведена похибка вимірювання частоти обертання вала за допомогою розробленого методу вимірювання частот обертання в діапазоні зміни від 200 до 4300 об/хв не перевищує 0,3 %.

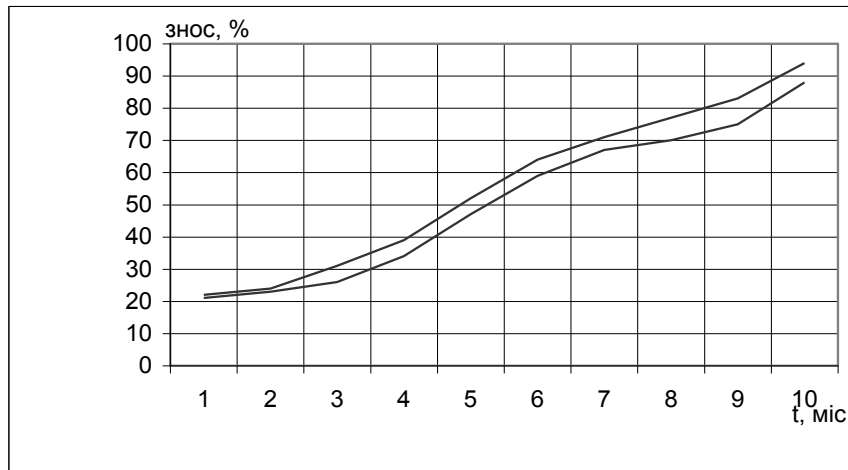


Рисунок 4 — Експериментальні дослідження зміни технічного стану роторних систем за ЛДЗ ВС з часом їх напрацювання

2. Розроблено метод контролю технічного стану РС при розгоні та гальмуванні за ЛДЗ АКФ вібросигналу. Представлено результати експериментальних досліджень ступені зносу РС, що підтверджують адекватність розробленого методу.

3. Запропоновано комплексний підхід до одночасного вимірювання частоти обертання вала та контролю технічного стану РС за допомогою віброметричних параметрів, що дозволяє позбутися додаткового закріплення модулятора на вал, при вимірюванні частоти обертання, який інколи дуже важко чи зовсім неможливо розмістити, здійснювати при цьому контроль технічного стану і проводити ремонт роторних систем за фактичною потребою, що сприяє зниженню затрат на огляд РС в процесі експлуатації та технічне обслуговування при виході з ладу РС.

4. Подальша робота над розробленою ІВС полягає у дослідженні невизначеності вимірювального каналу частоти обертання вала за віброметричними параметрами.

### Література

1. Воронцов А.Г. Элементы теории высокочастотной вибродиагностики роторных машин. — Донецк: РИА ДонНТУ, 2002. — 137 с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А. Управление электроприводами. — Л.: Энергоиздат. Ленингр. Отд-ние, 1987. — 392 с.
3. Поджаренко В.О., Васілевський О.М., Кучерук В.Ю. Оброблення вібросигналів в цифрових вимірювальних пристроях для визначення частоти обертання електромеханічних систем // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — № 5. — 2004. — С. 5–9.
4. Поджаренко В.О., Васілевський О.М. та інш. Визначення частоти обертання електромеханічних систем за допомогою вібраційних сигналів. // Вимірювальна техніка та метрологія. Випуск № 63. Львів, 2004. — С. 161–167.
5. Поджаренко В.О., Васілевський О.М. Діагностика технічного стану електромеханічних систем за логарифмічним декрементом затухання // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — Донецьк: ДонНТУ, 2005. — № 88. — С. 138–144.