

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ЛОГАРИФМІЧНИМ ДЕКРЕМЕНТОМ ЗАТУХАННЯ

Поджаренко В.О., Васілевський О.М.

Кафедра „Метрологія та промислова автоматика”,

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

E-mail: wasilevskiy@mail.ru

Abstract

Podzharenko V.O., Vasilevsky O.M. The method of diagnostics of a technical condition of electromechanical systems with the help of logarithmic decrement of attenuation. The method of diagnostics of a technical condition of electromechanical systems with the help of logarithmic decrement of attenuation is considered. The algorithm of diagnosing is developed and experimental researches are induced.

Вступ. Як відомо вібраційний сигнал (ВС) має складну структуру, причому вплив технічного стану електромеханічної системи (ЕМС) на ВС не можна однозначно оцінити зміною амплітуд дискретних складових на визначених частотах і вибраних ділянках спектру. На відміну від класичних об'єктів вібродіагностики – роторних механізмів, вібрація яких обумовлена в основному обертанням валу у статичному режимі, в зв'язку з чим досить точно можуть бути визначені частоти збудження, на яких слід очікувати зміну спектральних складових, обумовлених часом їх напрацювання, тобто технічним станом, ЕМС, яка складається із електродвигуна та шпинделя, є більш складною системою. Ефекти, зумовлені значною протяжністю електрошпинделя, нелінійним характером залежності різних параметрів ЕМС від часу та просторових координат, призводить до того, що спектр сигналу носить не набагато менш стохастичний характер, ніж сам ВС. Наявність дефектів впливає на форму сигналу в цілому, тому інформативними ознаками є не енергетичні характеристики ВС, а ряд параметрів, які слабо пов'язані з енергетичним балансом сигналу. Тому оцінювати ці параметри доцільно за логарифмічним декрементом затухання (ЛДЗ).

Аналіз стану досліджень та публікацій. Використання даного методу діагностики технічного стану ЕМС за ЛДЗ в динамічних режимах роботи останнього, ще малодосліджене. Відомі роботи [1, 2] в яких подібним чином діагностувалися механічні системи за віброакустичними принципами в статичних режимах роботи.

Формування цілей статті. Метою даної статті є розробка алгоритму формування діагностичних ознак за ЛДЗ, отриманими через авто-кореляційні функції (АКФ) та представлення експериментальних досліджень на основі розробленої математики, алгоритму і програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи те, що спектр є широкосмуговим і містить значущі складові у всьому діапазоні частот, причому частоти, на яких спостерігаються максимальні значення амплітуд, не можна визначити на основі відомих діагностичних моделей ЕМС, можна зробити висновок про те, що спосіб представлення діагностичної інформації за допомогою спектру є недостатньо ефективним. Розроблені математичні моделі не дають можливості моделювати різні дефекти ЕМС в тому сенсі, щоб можна було передбачити характер зміни ВС, а з іншого боку, на даний час відсутня достатня кількість експериментальних даних про вібраційні процеси в ЕМС на різних стадіях деградації вузлів і деталей електрошпинделя. Тому для формування діагностичної ознаки (ДО) ВС можна використовувати лише для отримання деякої інтегральної ознаки, яка характеризуватиме технічний стан ЕМС по степені зносу.

Попередньо проведені дослідження показали, що серед найбільш вживаних ДО технічного стану різноманітних машин і механізмів може бути вибрана АКФ вібраційного процесу [3 – 5]. АКФ несе ту ж інформацію, що і спектральна щільність, оскільки ці функції пов'язані між собою парою перетворень Фур'є, але на практиці часто зустрічаються випадки, коли поведінка АКФ більш наочно відображає зміну стану об'єкта діагностування, наприклад, при зміні співвідношення енергії періодичної та шумової компонент сигналу. Зокрема, при явищах зносу, пов'язаних із зміною геометрії контактуючих поверхонь, зростає роль шумової компоненти, що відображається на вигляді АКФ, зменшуючи відношення сигнал-шум, відповідно збільшується коефіцієнт затухання, який може служити діагностичною ознакою [5, 6]. Оскільки, саме знос у більшості випадків є первинною причиною найбільш поширених дефектів ЕМС, використання АКФ для формування ДО дозволить адекватно оцінювати її технічний стан.

За ДО було прийнято ЛДЗ АКФ сигналу вібрації. Такий вибір є правомірним, оскільки ЛДЗ уже використовувався для оцінки технічного стану ЕМС, обумовлених їх зносними дефектами [1].

Логарифмічний декремент затухання визначимо за формулою:

$$\alpha = \ln \left[\frac{R(t)}{R(t+T)} \right] = \beta \cdot T, \quad (1)$$

де $R(t) = R(0)e^{-\beta t}$ – амплітуда затухаючих коливань;

T – період затухаючих коливань;

β – коефіцієнт затухання.

Алгоритм авто-кореляційної обробки за ВС, які вимірюються по осям X та Y однієї ЕМС має наступний вигляд [7]:

$$R(T) = \frac{K_{ВП}}{t_a} \int_0^{t_a} S_X(t) S_Y(t-T) dt, \quad (2)$$

де $K_{ВП}$ – коефіцієнт передачі вимірювального каналу (ВК) вібрації;

S_X, S_Y – СКЗ виміряних параметрів ВС відповідно по осі X та Y ;

t_a – час вимірювання.

При цифровій обробці ВС для створення АКФ рівняння (2) прийме наступний вигляд:

$$R(T) = K_{ВП} \sum_{\nu=1}^n S_X^2 \cos(\nu \omega_0 T). \quad (3)$$

Характеристики зміни АКФ (3) для вібраційного процесу в ЕМС, яка експлуатувалась місяць та вісім місяців зображені на рис. 1.

Як видно із проведених експериментів, АКФ має вигляд затухаючих модульованих коливань, причому характер модуляції та ступінь затухання змінюються з напрацюванням ЕМС. Так, для АКФ на рис. 1, б затухання є помітно більшими (АКФ різко спадає до 0.2 – 0.3 від початкового значення), що свідчить про значну ступінь зносу ЕМС.

Оскільки для сигналу такої форми досить складно визначити період затухаючих коливань, при розробці програмного забезпечення було використано алгоритм визначення ЛДЗ, який передбачає знаходження спадаючої послідовності максимумів АКФ з наступною апроксимацією цієї послідовності показниковою функцією: $ae^{(-bt)} + c$. Значення ЛДЗ приймається рівним коефіцієнту b , який знаходиться шляхом оцінки параметрів відповідної лінійної регресії моделі за методом найменших квадратів. Отримане значення не залежить від періоду коливань, тобто відповідає коефіцієнту затухання β у формулі (1).

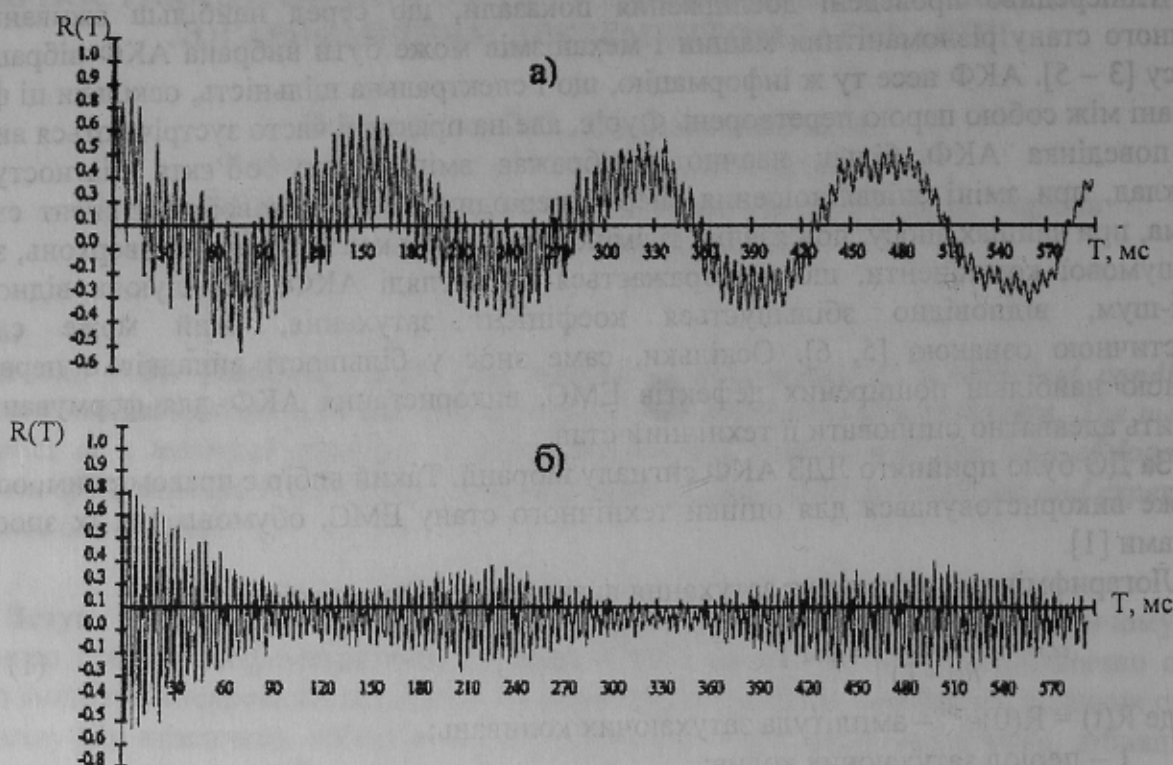


Рис. 1 - АКФ для вібраційного процесу ЕМС, яка експлуатувалась на протязі: одного місяця (нова) - (а), восьми місяців (зношена) – (б)

Експериментальні дослідження, свідчать про те, що зміна математичного очікування є випадковою величиною і обумовлена дрейфом нуля. А зміна дисперсії виявляє певну залежність від фази періоду качань. Тобто, дисперсія ВС має нестационарний процес, вона зростає при розгоні (пуску) та зупинці (гальмуванні) ЕМС (рис. 2). Причиною підвищення віброактивності в ці моменти часу є інерційні навантаження ЕМС при різкій зміні напрямку її руху. Крім того, необхідно відмітити, що дисперсія при гальмуванні, починаючи з подання сигналу зупинки, приймає більші значення і змінюється за іншим законом, ніж при пуску, за рахунок різного напрямку сил тертя та демпфуючого впливу.

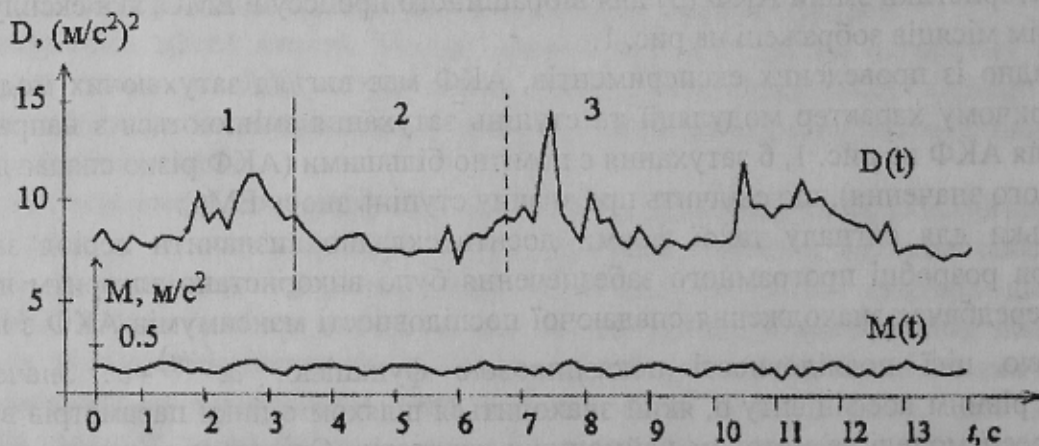


Рис. 2 - Характеристики зміни в часі математичного очікування $M(t)$ та дисперсії $D(t)$ вібраційного процесу

Логічно припустити, що в зв'язку з нестаціонарністю ВС як значення, так і степені інформативності вибраної ДО також змінюються на протязі періоду роботи ЕМС. Тому найбільш доцільно обчислювати АКФ і ДО не для всієї реалізації, а для окремих інтервалів (розгону та гальмування). З рис. 2 видно, що дисперсія $D_x(t)$ вібросигналу зростає в процесі розгону – фаза 1, і в процесі гальмування – фаза 3.

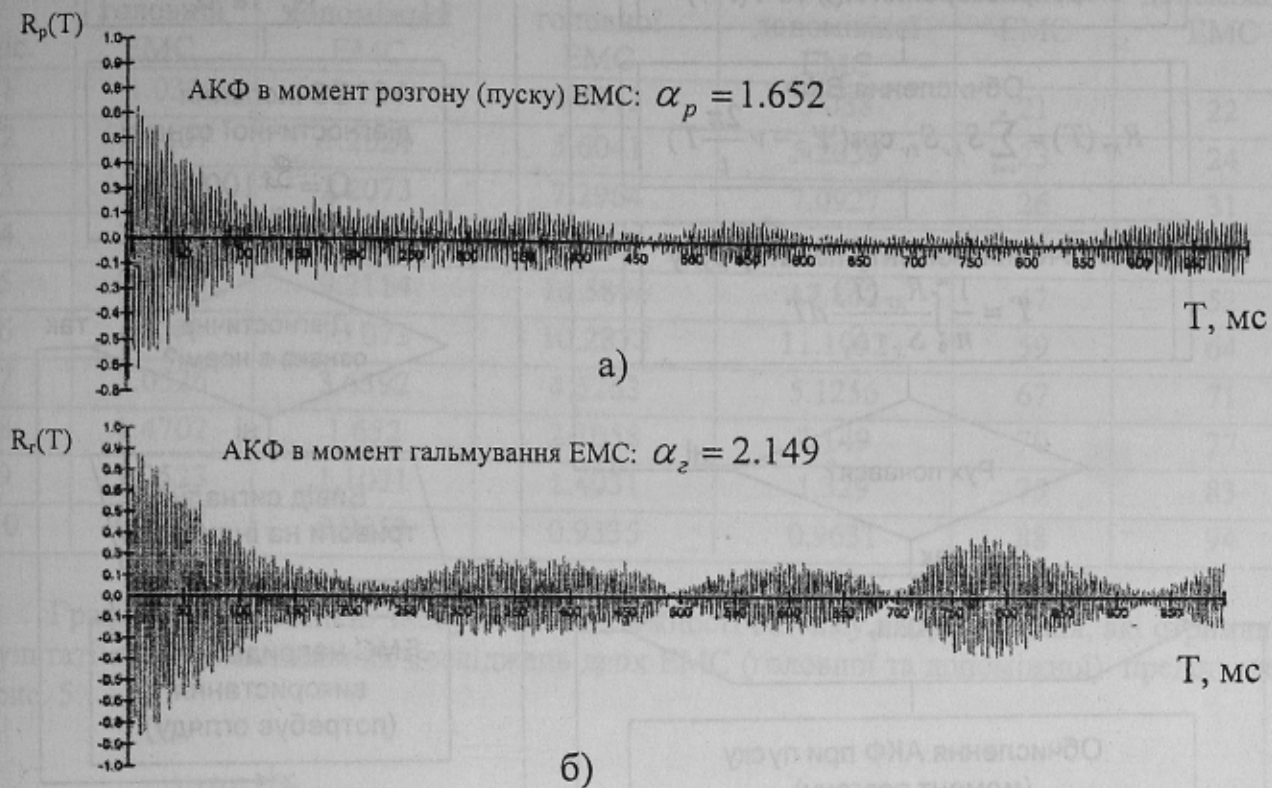


Рис. 3 - АКФ і ЛДЗ для інтервалів розгону - (а) та гальмування - (б)

Для виділених фаз було побудовано АКФ та обчислено ЛДЗ (рис. 3). Розраховані за рівнянням (1) значення ЛДЗ зношеної ЕМС при пуску дорівнює $\alpha_p = 1.652$, а при гальмуванні – $\alpha_2 = 2.149$.

З метою отримання єдиної ДО технічного стану Θ , яка враховує обидва показники прийемо наступне відношення:

$$\Theta = \frac{\alpha_p}{\alpha_2} 100\% . \quad (4)$$

Згідно із (4) ступінь зносу ЕМС, що експлуатувалась 8 місяців складає $\Theta_8 = \frac{1.652}{2.149} 100\% \approx 77\%$, а та що експлуатувалась 1 місяць - $\Theta_1 = \frac{1.124}{5.038} 100\% \approx 22\%$.

Для визначення моменту початку руху пропонується використати взаємо кореляційну функцію (ВКФ) та час досягнення першого максимуму [8]. Блок-схема алгоритму визначення ДО представлена на рис. 4.

Таким чином, формування ДО технічного стану ЕМС за допомогою ЛДЗ можна проводити за параметром Θ , який є відношенням ЛДЗ АКФ ВС на інтервалах розгону та гальмування ЕМС. Дана ознака адекватно відображає технічний стан ЕМС і дозволяє оцінити ступінь зносу її вузлів. Розроблена ДО підтверджена експериментальними дослідженнями, які проводилися за допомогою інформаційно-вимірювальної системи для автоматичного контролю несинхронності обертання та вібродіагностики ЕМС, яка складається з головної та допоміжної ЕМС, що представлені в табл. 1 та покладена в основу методу діагностики технічного стану ЕМС за ЛДЗ.

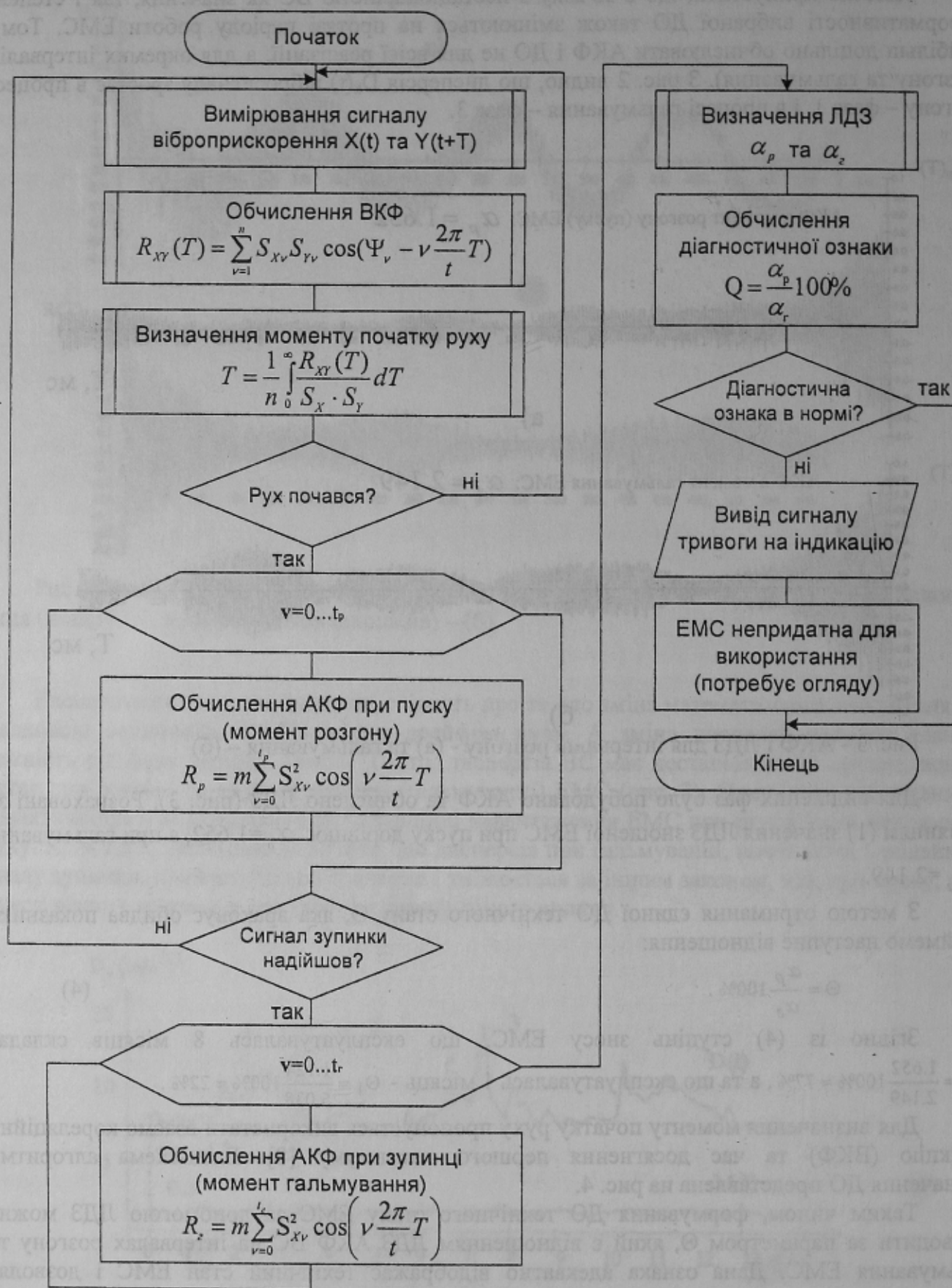


Рис. 4 - Блок-схема алгоритму обчислення діагностичної ознаки за ЛДЗ

Таблиця 1

Експериментальні дослідження значень ЛДЗ та ступені зносу з часом напрацювання

Напря- цю- вання, міс.	Значення ЛДЗ				Степінь зносу, %	
	момент розгону головної ЕМС	момент розгону допоміжної ЕМС	момент гальмування головної ЕМС	момент гальмування допоміжної ЕМС	головної ЕМС	допоміжної ЕМС
1	1.031	1.124	4.9013	5.038	21	22
2	1.2407	1.2021	5.6041	5.2039	23	24
3	1.9102	2.2073	7.2964	7.0927	26	31
4	2.4105	2.0729	7.0897	5.3151	34	39
5	7.8735	9.2114	16.5896	17.862	47	52
6	6.041	7.1073	10.2872	11.1052	59	64
7	3.0326	3.6392	4.5263	5.1256	67	71
8	1.4702	1.652	2.1058	2.149	70	77
9	1.0523	1.1031	1.4031	1.329	75	83
10	0.8215	0.9053	0.9335	0.9631	88	94

Графіки зміни ступені зносу ЕМС в залежності від часу напрацювання, які отримані в результаті експериментальних досліджень двох ЕМС (головної та допоміжної) представлені на рис. 5.

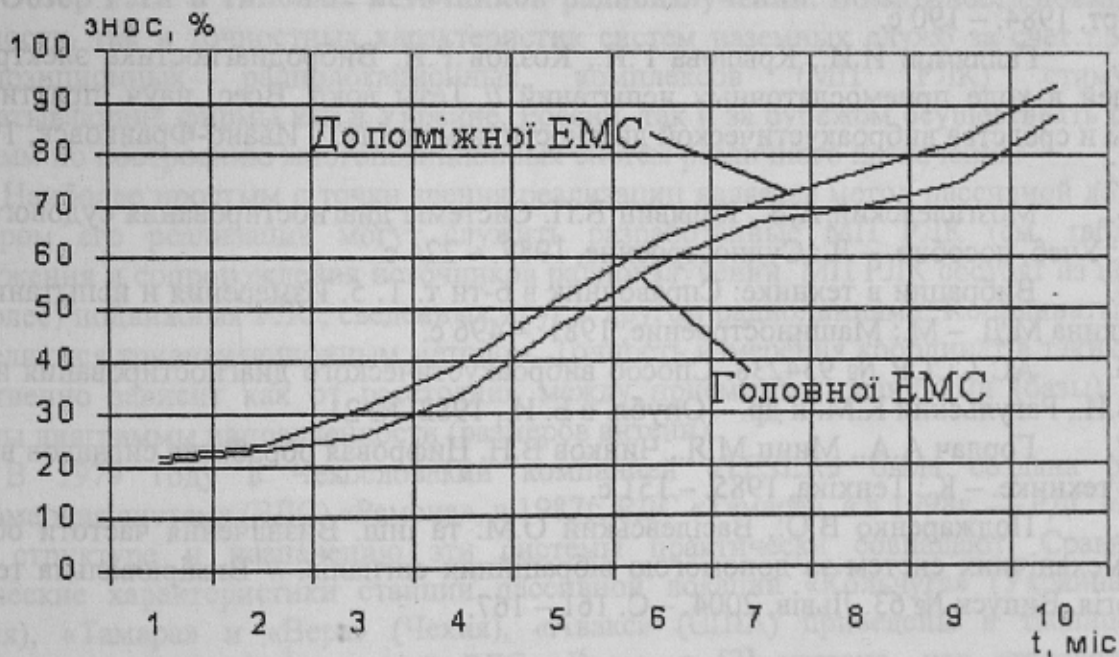


Рис. 5 - Зміна ДО стану головної і допоміжної ЕМС з часом їх напрацювання

Як видно з рис. 5, незалежно від того яких значень набуває ЛДЗ ступінь зносу ЕМС із збільшенням терміну експлуатації також збільшується, причому, знос допоміжної ЕМС відбувається швидше ніж головної – це пояснюється тим, що під час синхронізації частот обертання ЕМС допоміжна ЕМС постійно підстроюється під головну (відслідковує частоту обертання головної ЕМС). Отже, як видно із експериментальних досліджень (таблиця 1 та

рис. 5), при повсякденній роботі ЕМС, повний знос підшипникових вузлів електромеханічних систем відбувається через 10 місяців.

Висновки.

1. Розроблено метод та алгоритм діагностики технічного стану ЕМС за допомогою логарифмічного декременту затухання. Обґрунтовано діагностичну ознаку технічного стану ЕМС, яка формується відношенням логарифмічних декрементів затухання автокореляційних функцій на інтервалах розгону та гальмування ЕМС за допомогою сигналів вібрації.

2. Визначені умови працездатності ЕМС з використанням розробленої діагностичної ознаки за логарифмічним декрементом затухання. Дана ознака адекватно відображає технічний стан ЕМС і дозволяє оцінити ступінь зносу підшипникових вузлів, про що свідчать експериментальні дослідження технічного стану ЕМС, які представлені в таблиці 1 та на рис. 5. З них видно, що найменший степінь зносу ЕМС, яка пропрацювала один місяць складає 21÷22 %, а найбільший (максимальний) степінь зносу настає, при повсякденній роботі ЕМС, що пропрацювали десять місяців – 88÷94%.

3. Залежність (4) та блок-схема алгоритму (рис. 4) можуть бути використані для формування діагностичних ознак при побудові інформаційно-вимірювальних систем для автоматичного контролю несинхронності обертання та вібродіагностики ЕМС чи технічних засобів для діагностики степені працездатності ЕМС.

Литература

1. Кибернетическая диагностика механических систем по виброакустическим признакам. / Под ред. Рагульскиса К.М. – Каунас: Каун. политех. ин-т, 1972. – 121 с.
2. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования / Под ред. Сендеева И.М. Учебн. пособ. для вузов гражд. авиации. – М.: Транспорт, 1984. – 190 с.
3. Галлямов И.И., Крылова Г.И., Козлов Р.И. Вибродиагностика электрических двигателей в ходе приемосдаточных испытаний // Тезы докл. Всес. науч. практич. конф. «Методы и средства виброакустической диагностики машин». – Ивано-Франковск, 1988. – С. 121 – 122.
4. Мозгалецкий А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования: Учеб. пособие. – Л.: Судностроение, 1987. – 224 с.
5. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти т. Т. 5. Измерения и испытания. / Под ред. Генкина М.Д. – М.: Машиностроение, 1981. – 496 с.
6. АС СССР № 934238. Способ виброакустического диагностирования изделий / Жегас В.И., Рагульский К.М. и др. – Оpubл. в Б. И., 1982, № 21.
7. Горлач А.А., Минц М.Я., Чинков В.Н. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике. – К.: Техніка, 1985. – 151 с.
8. 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.