

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.2(91).15526

В. А. ВОЙТОВ, К. А. ФЕНЕНКО, А. В. ВОЙТОВ

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. Петра Василенка, Україна*

МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТРИБОСИСТЕМ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

У представленій роботі розроблено методику діагностування різних конструкцій трибосистем методом акустичної емісії. В основу розробки методики покладено такі припущення. Активність акустичної емісії в процесі роботи трибосистеми буде залежати від швидкості деформації матеріалів на плямах фактичного контакту. Сумарний акустичний сигнал із зони тертя формується як результат інтерференції первинних акустичних сигналів від плям фактичного контакту з поверхні тертя, які відповідають умові когерентності. Виходячи з даних припущень в роботі представлено вираз для розрахунку інформативних частот, які буде генерувати трибосистема в процесі роботи. Методика діагностування містить наступні етапи: визначення інформативних частот, на яких необхідно виконувати реєстрацію амплітуд; визначення величин амплітуд, які несуть максимальну інформацію; розподіл загального акустичного сигналу на кластери і встановлення функціонального зв'язку значень пік-фактора кластерів з значеннями коефіцієнта тертя, швидкості зношування і часу припрацювання трибосистем в онлайн-режимі. Використання розробленої методики дозволить підвищити робастність методу діагностування трибосистем та ідентифікувати поверхневі процеси під час зношування.

Ключові слова: трибосистема; акустична емісія; кластерний аналіз; інформативна частота; інформативна амплітуда; методика діагностування; пік-фактор сигналу, швидкість зношування; коефіцієнт тертя; робастність методу.

Вступ. Перші публікації щодо застосування акустичної емісії (АЕ), як методу діагностування вузлів тертя, з'явилися в кінці 1970-х років, як спосіб моніторингу процесів тертя та зношування в реальному часі. При сучасному розвитку засобів реєстрації сигналів застосування такого способу дозволяє отримувати інформацію про стан поверхонь тертя в онлайн-режимі.

Акустичні коливання, які генерує трибосистема в процесі роботи, виникають унаслідок ударної взаємодії шорсткостей поверхонь тертя, їх пружно-пластичної деформації, процесів утворення і руйнування фрикційних зв'язків (режим stick-sleep [1]), структурно-фазової перебудови матеріалів, утворенням і розвитком мікротріщин в поверхневих шарах контактуючих тіл, відділенням частинок зносу.

В даній час під акустичною емісією розуміється вторинний процес, що представляє собою суперпозицію сигналів від величезного числа елементарних джерел АЕ, тобто акустичне випромінювання є наслідком колективних процесів структурних одиниць (дефектів структури матеріалу). Більш того, вважається, що цей вторинний процес є результатом інтерференції первинних акустичних хвиль, які відповідають умові когерентності.

Аналіз останніх публікацій по даній проблемі. У роботах [2, 3] виконано аналіз публікацій щодо застосування АЕ для діагностування різних трибосистем. В них зроблено висновок, що дослідження по акустико-емісійному діагностуванню механізмів ґрунтуються на використанні ознак дискретної емісії. Що стосується безперервної емісії, то її характеризують параметрами – середньоквадратичним відхиленням, пік-фактором, спектром коливань [4]. Крім того, ви-

користуюють тимчасові параметри (тривалість фронту і спаду імпульсів) [4], параметри розподілу імпульсів по амплітуді і вейвлет-перетворення [5].

У роботах [6-8] розглянута модель і результати моделювання результуючого сигналу АЕ при зношуванні поверхневих шарів матеріалів. У наведених роботах модель результуючого сигналу ґрунтується на моделях сигналів АЕ, які формуються при руйнуванні вторинних структур I і II типу, такі результати наведені в роботі [6]. При розробці моделі автори прийняли припущення, що в межах одної плями контакту поверхонь тертя існують вторинні структури I і II типів одночасно і їх руйнування в процесі зношування теж відбувається одночасно. З урахуванням динамічних змін плям контакту і зменшення часу руйнування вторинних структур I і II типу, відбувається перехід від результуючого імпульсного до результуючого безперервного випромінювання сигналів АЕ. Результуючий сигнал представляється у вигляді суми сигналів, що виникають у випадкові моменти часу [7, 8].

Вибору інформативних параметрів АЕ для діагностики трибосистем присвячена робота [9], де теоретично і експериментально встановлено, що інформативні частоти залежать від наступних груп факторів: конструктивних; технологічних і експлуатаційних. Встановлено ступінь впливу перерахованих факторів на зміну частотного діапазону. Експлуатаційні фактори (швидкість ковзання і навантаження) змінюють діапазон частот від 106 до 584 кГц, технологічні фактори (шорсткість поверхонь тертя), змінюють діапазон частот від 118 до 618 кГц, конструктивні фактори (величина площі тертя нерухомого трибоелемента), змінюють діапазон частот від 140 до 530 кГц. Зроблено висновок, що для ефективного діагностування трибосистем необхідно попередньо визначати інформативний частотний діапазон з урахуванням перерахованих вище факторів.

Для обґрунтування вибору інформативних амплітуд АЕ в роботі [10] виконано кластерний аналіз фреймів сигналів АЕ із зони тертя трибосистеми з розподілом сигналу на групи джерел його генерації. Встановлено кореляційні залежності між швидкістю зношування, коефіцієнтом тертя і значеннями пік-фактора різних кластерів. Експериментальним шляхом доведено, що кластерний аналіз сигналів акустичної емісії з зони тертя трибосистеми дозволяє ідентифікувати поверхневі процеси під час зношування, тим самим підвищити робастність і інформативність методу АЕ. Автор робить висновок, що даний аналіз може бути основою для розробки методики діагностування трибосистем під час їх експлуатації, що дозволить вимірювати швидкість зношування в будь-який момент часу і розраховувати ресурс трибосистеми.

На підставі виконаного аналізу робіт можна зробити висновок, що для визначення швидкості зношування і коефіцієнта тертя в процесі роботи трибосистем (в онлайн-режимі), необхідно попередньо визначати інформативний частотний діапазон і в межах даного діапазону виконувати розподіл сигналу АЕ на складові – кластери. Аналіз кожного кластера дозволить отримати інформацію про окрему групу процесів, що відбуваються в поверхневих шарах матеріалів трибосистеми.

Мета дослідження. Метою даного дослідження є розробка методики діагностування різних конструкцій трибосистем з обґрунтуванням інформативних частот і амплітуд при реєстрації сигналів АЕ із зони тертя.

Методичний підхід в проведенні досліджень. Для обґрунтування вибору інформативного частотного діапазону для аналізу фреймів сигналів АЕ із зони тертя

трибосистеми з розподілом сигналу на групи джерел його генерації, скористаємося основними висновками опублікованих раніше робіт [9, 10].

1. Активність акустичної емісії в процесі роботи трибосистеми буде залежати від швидкості деформації матеріалів на плямах фактичного контакту, розмірність $1/c$, [9].

2. Сумарний акустичний сигнал із зони тертя формується як результат інтерференції первинних акустичних сигналів від плям фактичного контакту з поверхні тертя, які відповідають умові когерентності [1-5]. Джерела акустичного сигналу обґрунтовані в роботах [6-8].

Виходячи з даних умов і обмежень в роботі [9] представлено вираз для розрахунку інформативної частоти, яка буде генеруватися трибосистемою в процесі роботи:

$$f_{AE} = n_{\phi_{нк}} \cdot \dot{\epsilon} \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu), 1/c, \quad (1)$$

де f_{AE} – інформативна частота сигналів АЕ із зони тертя, розмірність $1/c$; $n_{\phi_{нк}}$ – сумарна кількість плям фактичного контакту на поверхні тертя трибоелемента з меншою площею тертя; $\dot{\epsilon}$ – значення швидкості деформації на одиничній плямі контакту, розмірність $1/c$; μ – коефіцієнт Пуасона.

Методика розрахунку кількості плям контакту $n_{\phi_{нк}}$ на меншій поверхні тертя F_{min} одного з трибоелементів, а також значень швидкості деформації на одиничній плямі контакту, визначимо в наступній послідовності, яка складає основу методики діагностування різних конструкцій трибосистем з обґрунтуванням інформативних частот і амплітуд при реєстрації сигналів АЕ із зони тертя.

Результати досліджень. 1. Середнє арифметичне відхилення точок профілю рухомої і нерухомої поверхонь тертя (еквівалентні параметри шорсткості), визначється виразом:

$$Ra = \sqrt{Ra_p^2 + Ra_n^2}, \text{ м}, \quad (2)$$

де Ra – середнє арифметичне відхилення точок профілю, розмірність м; Ra_p , Ra_n – середнє арифметичне відхилення точок профілю рухомого і нерухомого трибоелементів, розмірність м;

Середній крок нерівностей по середній лінії:

$$Sm = \frac{Ra}{\sqrt{\left(\frac{Ra_p}{Sm_p}\right)^2 + \left(\frac{Ra_n}{Sm_n}\right)^2}}, \text{ м}. \quad (3)$$

де Sm_p , Sm_n – середній крок нерівностей по середній лінії профілю рухомого і нерухомого трибоелементів, розмірність м;

2. Градієнт поверхні визначається виразом:

$$q = \pi^2 \frac{Ra}{Sm}. \quad (4)$$

3. Наведений модуль Юнга контактуючих матеріалів:

$$\frac{1}{E} = \frac{1 - \mu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \mu_n^2}{E_n}. \quad (5)$$

де μ_p та μ_n – коефіцієнт Пуасона матеріалів рухомого і нерухомого трибоелементів; E_p та E_n – модуль Юнга матеріалів рухомого і нерухомого трибоелементів, розмірність Па.

4. Комплекс умов контактування поверхонь тертя визначають виразом:

$$K = \frac{2,22\sigma_n}{E_q}, \quad (6)$$

де $\sigma_n = N/F_{min}$ – номінальне напруження при контактуванні трибоелементів, Па; N – навантаження на трибосистему, розмірність Н; F_{min} – площа тертя трибоелемента, який має меншу робочу поверхню, розмірність м²;

5. Відносна фактична площа контакту:

$$\eta = 1 - \exp(-K). \quad (7)$$

6. Фактичне напруження на одиничній плямі контакту:

$$\sigma_{фнк} = \frac{\sigma_n}{\eta}, \text{ Па} \quad (8)$$

7. Рівень деформації матеріалу визначається виразом:

$$h = \begin{cases} 3,95 \ln(5,25 - \ln K) - 6,982, & K \leq 0,6827 \\ \frac{0,422}{\ln K + 1} - 0,845, & K > 0,6827. \end{cases} \quad (9)$$

8. Щільність плям контакту визначається виразом:

$$d_c = \frac{1}{Sm^2} \left(\frac{\pi}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right) \left(\sqrt{h^2 + 0,4} + h \right), \frac{1}{m^2} \quad (10)$$

9. Середня площа одиничної фактичної плями контакту (ФПК):

$$A_c = \frac{\eta}{d_c}, \text{ м}^2. \quad (11)$$

10. Середній діаметр одиничної ФПК визначається виразом:

$$d_{фнк} = \sqrt{\frac{4A_c}{\pi}}, \text{ м}. \quad (12)$$

11. Знаючи величину меншої площі тертя одного з трибоелементів F_{min} , середню площу одиничної плями контакту, формула (11) і відносну фактичну площу контакту, формула (7), визначимо кількість фактичних плям контакту на меншій поверхні тертя:

$$n_{фнк} = \frac{F_{min}}{A_c} \eta. \quad (13)$$

Швидкість деформації матеріалу рухомого трибоелемента на одиничній фактичній плямі контакту розраховується за формулою:

$$\dot{\epsilon}_p = 75 \cdot (1 + \mu_p) (0,86 - 1,05\mu_p) \frac{\sigma_{фнк} \cdot v_{ков}}{E_p \cdot d_{фнк}}, \text{ 1/с}, \quad (14)$$

для матеріалу нерухомого трибоелемента:

$$\dot{\epsilon}_n = 75 \cdot (1 + \mu_n) (0,86 - 1,05\mu_n) \frac{\sigma_{фнк} \cdot v_{ков}}{E_n \cdot d_{фнк}}, \text{ 1/с}, \quad (15)$$

де $v_{ков}$ – швидкість ковзання, м/с.

Якщо конструкція трибосистеми (рухомий і нерухомий трибоелементи) складається з матеріалів з різними модулями пружності E і коефіцієнтами Пуасона μ , то вираз (1) для визначення інформативної частоти буде мати наступний вигляд:

– для рухомого трибоелемента:

$$f_{AE(p)} = n_{фнк} \cdot \dot{\varepsilon}_p \cdot (1 + \mu_p) \cdot (1 - 2\mu_p), \quad (16)$$

– для нерухомого трибоелемента:

$$f_{AE(n)} = n_{фнк} \cdot \dot{\varepsilon}_n \cdot (1 + \mu_n) \cdot (1 - 2\mu_n). \quad (17)$$

Отримані вирази (16) і (17) дозволяють розрахунковим шляхом визначити інформативні частоти у фреймі сигналів акустичної емісії з зони тертя, які генерує рухомий і нерухомий трибоелементи трибосистеми. Дані частоти залежать від кількості плям фактичного контакту, швидкості деформації матеріалу на фактичних плямах контакту і фізико-механічних властивостей матеріалу (коефіцієнта Пуасона), це слідує з формул (16) і (17). При цьому, швидкість деформації матеріалу на одиничній ФПК, формули (14) і (15), залежить від навантаження, швидкості ковзання та пружних властивостей матеріалів трибоелементів. Якщо рухомий і нерухомий трибоелементи виготовлені з різних матеріалів, то вони будуть генерувати різні інформативні частоти. Даний висновок необхідно враховувати при розміщенні пьезоелемента на нерухомому зразку трибосистеми для виконання діагностування.

Для обґрунтування вибору інформативних амплітуд у фреймі сигналів АЕ із зони тертя, скористаємося роботою [10], де загальний сигнал АЕ підлягає розподілу на кластери. Це підмножина однотипних імпульсів з однаковою величиною амплітуд A_i , пов'язаних єдиними джерелами генерації.

На підставі роботи [10] запишемо формулу для розрахунку пік-фактора базового кластера KI :

$$P_{AE}^{KI} = \frac{\left\langle \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m (A_1 \cdot A_{max,1}) \right\rangle}{\sum_{n=1}^n |A_1|^2}, \quad (18)$$

де n – загальна кількість імпульсів сигналу АЕ, які належать фрейму базового кластера KI ; m – кількість імпульсів сигналу АЕ, які перевищують середнє значення амплітуд базового кластера KI в $1, 2, \dots, 1, 4$ рази; A_1 – значення амплітуд усіх імпульсів АЕ, які належать фрейму базового кластера KI ; $A_{max,1}$ – значення амплітуд імпульсів АЕ, які належать фрейму базового кластера KI , та перевищують середнє значення амплітуд в кластері в $1, 2, \dots, 1, 4$ рази.

Перший кластер – це базовий пакет сигналів АЕ або базовий фрейм. Джерелами генерації базового пакета сигналів є: ковзання дислокацій при деформації поверхневих шарів на плямах фактичного контакту; міжзеренне ковзання; ротація блоків (зерен); двійникування; структурна перебудова (фазові перетворення через високі температури на плямах фактичного контакту).

Другий кластер – це пакет сигналів АЕ, який характеризується викидами амплітуд, значення яких перевищує середнє значення амплітуд першого (базового) кластера KI в $1, 6 \dots 2, 3$ рази. Це видно з висновків роботи [11].

Джерелами генерації сигналу кластера $K2$ є: стрибки деформації на плямах фактичного контакту в результаті яких утворюються смуги ковзання; стрибкоподібний рух виступів шорсткостей за рахунок зміни сил адгезії, режим stick-sleep.

На підставі роботи [10] запишемо формулу для розрахунку пік-фактора кластера $K2$:

$$P_{AE}^{K2} = \frac{\left\langle \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m (A_1 \cdot A_{\max,2}) \right\rangle}{\sum_{n=1}^n |A_1|^2}, \quad (19)$$

де m – кількість імпульсів сигналу АЕ, які перевищують середнє значення амплітуд базового кластера $K1$ в 1,6...2,3 рази; $A_{\max,2}$ – значення амплітуд імпульсів АЕ, які належать фрейму кластера $K2$, та перевищують середнє значення амплітуд в кластері $K1$ в 1,6...2,3 рази.

Третій кластер – це пакет сигналів АЕ, який характеризується викидами амплітуд, значення яких перевищує середнє значення амплітуд першого (базового) кластера $K1$ в 2,52 ... 3,21 рази, [11].

Джерелами генерації сигналу кластера $K3$ є: розвиток втомних тріщин розташованих паралельно і перпендикулярно поверхні тертя; відділення частинок зносу з поверхні тертя у вигляді лусочок або пелюсток за механізмом утомного зношування; відділення частинок зносу з поверхні тертя за механізмом «скочування» окисидних плівок або вторинних структур.

На підставі роботи [10] запишемо формулу для розрахунку пік-фактора кластера $K3$:

$$P_{AE}^{K3} = \frac{\left\langle \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m (A_1 \cdot A_{\max,3}) \right\rangle}{\sum_{n=1}^n |A_1|^2}, \quad (20)$$

де m – кількість імпульсів сигналу АЕ, які перевищують середнє значення амплітуд базового кластера $K1$ в 2,52...3,21 рази; $A_{\max,3}$ – значення амплітуд імпульсів АЕ, які належать фрейму кластера $K3$ та перевищують середнє значення амплітуд в кластері $K1$ в 2,52...3,21 рази.

Четвертий кластер – це пакет сигналів АЕ, який характеризується викидами великих амплітуд, значення яких перевищує середнє значення амплітуд першого (базового) кластера $K1$ в 3,91 ... 4,6 рази.

Джерелами генерації сигналу кластера $K4$ є: мікрорізання і пластична деформація виступів шорсткостей поверхні тертя, яке характерне для перших етапів припрацювання.

На підставі роботи [10] запишемо формулу для розрахунку пік-фактора кластера $K4$:

$$P_{AE}^{K4} = \frac{\left\langle \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m (A_1 \cdot A_{\max,4}) \right\rangle}{\sum_{n=1}^n |A_1|^2}, \quad (21)$$

де m – кількість імпульсів сигналу АЕ, які перевищують середнє значення амплітуд базового кластера $K1$ в 3,91...4,6 рази; $A_{max,4}$ – значення амплітуд імпульсів АЕ, які належать фрейму кластера $K4$ та перевищують середнє значення амплітуд в кластері $K1$ в 3,91...4,6 рази.

Обговорення результатів дослідження. Нашарування всіх чотирьох фреймів одний на один дає сумарний вигляд фрейму сигналів АЕ в процесі роботи трибосистеми. В роботі [11] експериментально обґрунтовані значення величин інформативних амплітуд кластерів $K2$, $K3$, $K4$ по відношенню до базового кластеру $K1$. Показано, що збільшення інформативної частоти $f_{AE(n)}$ з 250 до 500 кГц, збільшує значення інформативної амплітуди на 17,6 ... 43,75%. Отримані результати свідчать про те, що даний факт необхідно враховувати при розробці методик, що підвищать точність діагностування трибосистем.

На підставі проведених досліджень можна сформулювати послідовність в побудові способу діагностування трибосистем в експлуатації.

1. З аналізу конструкторської документації визначаються матеріали, з яких виготовлені трибоелементи (модуль пружності і коефіцієнт Пуасона), а також параметри шорсткості поверхонь тертя (Ra , Sm) і величина меншої площі тертя одного з трибоелементів F_{min} .

2. З аналізу умов експлуатації визначається експлуатаційний режим трибосистеми (навантаження і швидкість ковзання).

3. За формулами (14) - (15) визначається швидкість деформації матеріалу трибоелемента, а за формулами (16) - (17) визначається інформативна частота, яку буде генерувати трибоелемент в процесі експлуатації. Розрахунки інформативної частоти необхідно виконувати для матеріалу трибоелемента, на якому буде встановлено п'єзоелемент.

4. З урахуванням шумів, які надходять від обладнання, визначається кластер $K1$ у фреймі, а також достатність довжини фрейму, що реєструється. Достатність довжини фрейму встановлюється за допомогою величини коефіцієнта автокореляції, методика розрахунку якого представлена в роботі [11].

5. За формулами, які представлені в роботі [11], визначаються величини інформативних амплітуд кластера $K2$; кластера $K3$; кластера $K4$.

6. За формулами (19) – (21) визначаються величини значень пік-факторів сигналу АЕ із зони тертя трибосистем і встановлюється зв'язок з числовими значеннями наступних параметрів: величини коефіцієнта тертя – пік-фактор кластера $K2$; величини швидкості зношування - пік-фактор кластера $K3$; час припрацювання - пік-фактор кластера $K4$.

Наведений методичний підхід дозволяє перед виконанням діагностування трибосистем визначити інформативні частоти, на яких необхідно виконувати реєстрацію амплітуд, величини інформативних амплітуд, які несуть максимальну інформацію і встановити їх зв'язок з значеннями коефіцієнта тертя, швидкості зношування та часом припрацювання в будь-який момент часу експлуатації в онлайн-режимі.

Висновки. Розроблено методику діагностування різних конструкцій трибосистем з обґрунтуванням інформативних частот і інформативних амплітуд при реєстрації сигналів АЕ із зони тертя. Методика діагностування має наступні складові: визначення інформативних частот, на яких необхідно виконувати ре-

естрацію амплітуд; визначення величин амплітуд, які несуть максимальну інформацію; розподіл загального сигналу на кластери і встановлення функціонального зв'язку значень пік-фактора кластерів з значеннями коефіцієнта тертя, швидкості зношування і часу припрацювання трибосистем.

Використання розробленої методики дозволить підвищити робастність методу діагностування трибосистем та ідентифікувати поверхневі процеси під час зношування.

Список літератури

1. Ferrer C., Salas F., Pascal M., Orozco J. Discrete acoustic emission waves during stick-slip friction between steel samples, *Tribology International*, 2010, No.43, pp. 1–6.
2. Шевченка С.А. Класифікація та обґрунтування вимог до акустико-емісійних ознак дефектів пар тертя механізмів, *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.П.Василенка*, 2012, вип.121, с. 159-163.
3. Abdullah M., D. Al-Ghamd, Zhechkov, D. Mba. A comparative experimental study on the use of Acoustic Emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size, *Mechanical System and Signal Processing*, 2006, No.7, pp. 1537–1571.
4. Mazal P., V.Koula, F.Hort, F.Vlasic. Applications of continuous sampling of AE signal for detection of fatigue damage, *NDT in Progress*, 2009, No.4. – 8 p.
5. Yanhui Feng. Discrete wavelet-based thresholding study on acoustic emission signals to detect bearing defect on a rotating machine, *The Thirteen International Congress of Sound and Vibration*. Vienna, Austria, 2-6 July, 2006. – 8 p.
6. Бабак В.П. Моделі сигналів акустичної емісії при руйнуванні поверхневих шарів пар тертя / В.П. Бабак, С.Ф. Філоненко, В.М. Стадніченко, А.П. Стахова // *Проблеми тертя та зношування*. – 2007. – Вип.47. – С. 3–8.
7. Філоненко С.Ф. Моделирование сигналов акустической эмиссии при изменении объема материала, вступившего в пластическую деформацию / С.Ф. Філоненко, А.П. Стахова, В.Г. Кравченко // *Технологические системы*. – 2008. – №1(41). – С. 22–27.
8. Філоненко С.Ф. Моделирование сигналов акустической эмиссии при переходе от стадии нормального к стадии катастрофического изнашивания / С.Ф. Філоненко, А.П. Стахова // *Технологические системы*. – 2007. – №4(40). – С. 41–47.
9. Fenenko K.A. The determination of the information frequencies in the frame of the acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 25, No 3/97-2020, 6-13. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-6-13>.
10. Fenenko K.A. Cluster analysis of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 25, No 2/96-2020, 25-33. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-25-33>.
11. Vojtov V.A., Fenenko K.A., Voitov A.V. Substantiation of informative amplitudes during registration of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 26, No 1/99-2021, 6-12. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-99-1-6-12>.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2021.

Войтов Віктор Анатолійович – д.т.н., проф., завідувач кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, vavoitovva@gmail.com.

Фененко Катерина Андріївна – аспірантка кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, zinochka2503@ukr.net.

Войтов Антон Вікторович – к.т.н., старший викладач кафедри деревооброблявальних технологій та системотехніки лісового комплексу Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, K1kavoitov@gmail.com.

V. A. VOITOV, K. A. FENENKO, A. V. VOITOV

METHODS OF DIAGNOSIS OF DIFFERENT STRUCTURES OF TRIBOSYSTEMS BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

In the presented work, a technique for diagnosing various designs of tribosystems using acoustic emission methods has been developed. The development of the methodology is based on the following assumptions. The activity of acoustic emission during the operation of the tribosystem will depend on the rate of deformation of materials on the spots of actual contact. The total acoustic signal from the friction zone is formed as a result of the interference of the primary acoustic signals from the spots of actual contact with the friction surface, satisfying the coherence condition. Based on these assumptions, the paper presents an expression for calculating the informative frequency, which will be generated by the tribosystem during operation. The diagnostic technique contains the following steps: determination of the informative frequencies at which it is necessary to register the amplitudes; determination of amplitude values that carry maximum information; dividing the general acoustic signal into clusters and establishing a functional relationship between the values of the peak factor of the clusters and the values of the friction coefficient, wear rate and running-in time of tribosystems in online mode. The work substantiates the values of the informative amplitudes of various clusters in relation to the base cluster. It is shown that an increase in the informative frequency from 250 to 500 kHz, increases the value of the informative amplitude by 17,6...43,75%. The results obtained indicate that this fact must be taken into account when developing methods for diagnosing tribosystems. The use of the developed technique will increase the robustness of the tribosystem diagnostics method and identify surface processes during wear.

Keywords: tribosystem; acoustic emission; cluster analysis; informative frequency; informative amplitude; diagnostic technique; peak factor to signal; wear rate; coefficient of friction.

References

1. Ferrer C., Salas F., Pascal M., Orozco J. Discrete acoustic emission waves during stick-slip friction between steel samples, *Tribology International*, 2010, No.43, pp. 1–6.
2. Shevchenka S.A. Klyasifikatsiya ta obgruntuvannya vymoh do akustyko-emisiynykh oznak defektiv par tertya mekhanizmiv, Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im.P.Vasylenka, 2012, vyp.121, s. 159-163.
3. Abdullah M., D. Al-Ghamd, Zhechkov, D. Mba. A comparative experimental study on the use of Acoustic Emission and vibration analysis for bearing defect identification and estimation of defect size, *Mechanical System and Signal Processing*, 2006, No.7, pp. 1537–1571.
4. Mazal P., V.Koula, F.Hort, F.Vlasic. Applications of continuous sampling of AE signal for detection of fatigue damage, *NDT in Progress*, 2009, No.4. – 8 p.
5. Yanhui Feng. Discrete wavelet-based thresholding study on acoustic emission signals to detect bearing defect on a rotating machine, *The Thirteen International Congress of Sound and Vibration*. Vienna, Austria, 2-6 July, 2006. – 8 p.
6. Babak V.P. Modeli syhnaliv akustychnoyi emisiyi pry ruynuvanni poverkhnevyykh shariv par tertya / V.P. Babak, S.F. Filonenko, V.M. Stadnychenko, A.P. Stakhova // *Problemy tertya ta znoshuvannya*. – 2007. – Vyp.47. – S. 3–8.
7. Filonenko S.F. Modelirovaniye signalov akusticheskoy emissii pri izmenenii ob'yema materiala, vstupivshogo v plasticheskuyu deformatsiyu / S.F. Filonenko, A.P. Stakhova, V.G. Kravchenko // *Tekhnologicheskkiye sistemy*. – 2008. – №1(41). – S. 22–27.
8. Filonenko S.F. Modelirovaniye signalov akusticheskoy emissii pri perekhode ot stadii normal'nogo k stadii katastroficheskogo iznashivaniya / S.F. Filonenko, A.P. Stakhova // *Tekhnologicheskkiye sistemy*. – 2007. – №4(40). – S. 41–47.
9. Fenenko K.A. The determination of the information frequencies in the frame of the acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 25, No 3/97-2020, 6-13. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-6-13>.
10. Fenenko K.A. Cluster analysis of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 25, No 2/96-2020, 25-33. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-25-33>.
11. Vojtov V.A., Fenenko K.A., Voitov A.V. Substantiation of informative amplitudes during registration of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems / *Problems of Tribology*, V. 26, No 1/99-2021, 6-12. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-99-1-6-12>.