

Войтов В.А.

Бекіров А.Ш.

Войтов А.В.

Харківський національний технічний
університет сільського господарства
імені Петра Василенка,

м. Харків, Україна

E-mail: vavoitovva@gmail.com

**ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
ШВИДКОСТІ ЗНОШУВАННЯ ТРИБОСИСТЕМИ
НА ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ**

УДК 621.891

Войтов В.А., Бекіров А.Ш., Войтов А.В. «Вибір інформативних параметрів акустичної емісії для визначення швидкості зношування трибосистеми на перехідних режимах»

Розглянуті напрямки застосування методу акустичної емісії (АЕ) для дослідження перехідних процесів в трибосистемах під час припрацювання. Застосування такого методу дозволить отримувати інформацію про стан поверхонь тертя та швидкість зношування під час перехідних процесів (припрацювання) в онлайн-режимі.

Для обґрунтування вибору інформативних параметрів АЕ проаналізовано вид АЕ - фреймів сигналу, знятих під час перехідного процесу в характерних точках. Після завершення перехідного процесу (сталий режим роботи), фрейм сигналів АЕ приймає вид, який значно відрізняється від перехідного режиму. Показано, що при оцінці швидкості зношування на перехідних режимах найкраще використовувати потужність акустико-емісійного випромінювання.

Експериментальні дослідження представлені у вигляді експериментальних залежностей, які відображають середнє значення потужності сигналів АЕ, де по осі X розміщені експериментальні значення потужності сигналів акустичної емісії з зони тертя, одиниця виміру – $\text{mB}^2/\text{с}$. По осі Y відкладено відповідні розрахункові значення швидкості роботи дисипації в трибосистемах, одиниця виміру - $\text{Дж}/\text{с}$. Залежність дозволяє по виміряній в процесі експерименту потужності АЕ розрахувати значення швидкості зношування в трибосистемі в реальний момент часу.

Для визначення максимальних значень швидкості зношування під час перехідного процесу обґрунтовано метод АЕ і інформативний параметр - потужність сигналів АЕ. Експериментальним шляхом встановлено, що потужність АЕ корелює зі швидкістю зношування, коефіцієнт кореляції $R = 0,98$ і адекватно відображає процес припрацювання. Отримані залежності дозволяють визначати швидкість роботи дисипації в трибосистемах під час перехідного процесу за значеннями потужності сигналів акустичної емісії, що дозволило розробити методику розрахунку величини швидкості зношування під час припрацювання в будь-якій точці перехідного процесу.

Ключові слова: трибосистема; швидкість зношування; акустична емісія; потужність акустичного випромінювання; перехідні процеси; припрацювання.

Войтов В.А., Бекіров А.Ш., Войтов А.В. «Выбор информативных параметров акустической эмиссии для определения скорости изнашивания трибосистем на переходных режимах»

Рассмотрены направления применения метода акустической эмиссии (АЭ) для исследования переходных процессов в трибосистемах во время приработки. Применение такого метода позволит получать информацию о состоянии поверхностей трения и величину скорости изнашивания во время переходных процессов (приработки) в онлайн-режиме.

Для обоснования выбора информативных параметров АЭ проанализирован вид АЭ - фреймов сигнала, снятых во время переходного процесса в характерных точках. После завершения переходного процесса (установившийся режим работы), фрейм сигналов АЭ принимает вид, который значительно отличается от переходного режима. Показано, что при оценке скорости изнашивания на переходных режимах лучше использовать мощность акустико-эмиссионного излучения.

Экспериментальные исследования представлены в виде экспериментальных зависимостей, которые отражают среднее значение мощности сигналов АЭ, где по оси X размещены экспериментальные значения мощности сигналов акустической эмиссии с зоны трения, единица измерения - $\text{mB}^2/\text{с}$. По оси Y отложено соответствующие расчетные значения скорости работы дисипации в трибосистемах, единица измерения - $\text{Дж}/\text{с}$. Зависимость позволяет по измеренной в процессе эксперимента мощности АЭ рассчитать значение скорости изнашивания в трибосистеме в настоящий момент времени.

Для определения максимальных значений скорости изнашивания во время переходного процесса обоснован метод АЭ и информативный параметр - мощность сигналов АЭ. Экспериментальным путем установлено, что мощность АЭ коррелирует со скоростью изнашивания, коэффициент корреляции $R = 0,98$ и адекватно отражает процесс приработки. Полученные зависимости позволяют определять

скорость работы диссипации в трибосистемах во время переходного процесса по значениям мощности сигналов акустической эмиссии, что позволило разработать методику расчета величины скорости изнашивания во время приработки в любой точке переходного процесса.

Ключевые слова: трибосистема; скорость изнашивания; акустическая эмиссия; мощность акустического излучения; переходные процессы; приработка

Vojtov V.A., Biekirov A.Sh., Voitov A.V. «Selection of informative parameters of acoustic emission for determining the speed of wear in a tribosystem at transitional modes»

Areas of application of acoustic emission method are considered (AE) for the study of transients in tribosystems during grinding in. Registration of acoustic signals allows to determine with high precision the time of occurring events, which include the elastic interaction of microvision of connected surfaces, the formation and destruction of adhesion bonds, the appearance of microcracks and the separation of particles of wear. Application of this method will allow to receive information on the state of the surfaces of friction during the transients (grinding in) in the online mode.

To substantiate the choice of informative parameters AE during the control of the processes of wear in the tribosystem, the change in the speed of wear of the tribosystem in the process of grinding in and the view is presented AE - frames of the signal, taken during the transition process tribosystems in the characteristic points. After completion of the transition process (stable operating mode), frame of signals AE takes a kind that differs significantly from the transition mode. A large number of experiments carried out on the analysis of the process of trimming of trbosystems have shown that in assessing the rate of wear at transitional modes it is best to use the power of acoustic emission radiation.

Experimental studies are presented in the form of experimental dependencies, which represent the average signal strength AE for three repetitions of the same type and three tribosystems with different combinations of materials, where along the axis X The experimental values of the power of acoustic emission signals from the friction zone are placed, the unit of measurement – mV^2/s . Along the axis Y Postponed corresponding calculation values of the speed of dissipation in tribosystems, unit of measurement - $J./s$. Dependence allows the power measured during the experiment AE calculate the value of the wear rate in the tribosystem at a real time point. From the analysis of the obtained experimental values it follows that the variance of the amplitudes and the signal strength AE adequately reflect the wear process and are in a functional relationship with the wear rate. This allows us to put forward the assumption that the size of the power AE one can judge the value of the rate of wear at any time of the work of the tribosystem, namely in transitional modes.

The method is used to determine the maximum values of the wear rate during the transition process AE and an informative parameter - signal strength AE. Experimentally established that power AE correlates with the speed of wear, the correlation coefficient $R = 0,98$ and adequately reflects the process of working. The obtained dependences allow to determine the speed of dissipation in tribosystems during the transient process by the values of the power of the signals of acoustic emission, which made it possible to develop a method for calculating the rate of wear during grinding in at any point in the transition process.

Keywords: tribosystem; wear rate; acoustic emission; power of acoustic radiation; transients process; grinding in

Актуальність проблеми

Сучасні уявлення про природу тертя і зношування свідчать про те, що цей процес не є стаціонарним. Акустичні коливання при терті ініціюються ударною взаємодією мікроступів і пружньопластичною деформацією поверхонь, що труться, процесами руйнування фрикційних зв'язків і структурно-фазовою перебудовою матеріалів, утворенням і розвитком мікротріщин в поверхневих шарах взаємодіючих тіл, відділенням частинок зносу. Реєстрація акустичних сигналів дозволяє з високою точністю визначити час подій, що відбуваються, які включають в себе пружню взаємодію мікроступів сполучених поверхонь, утворення і руйнування адгезійних зв'язків, появу мікротріщин і відділення частинок зносу.

Акустична емісія (АЕ), як спосіб діагностування при механічних випробуваннях, широко використовується з початку 1980-х років в якості ефективного методу отримання інформації про зміну стану матеріалу в процесі навантаження. Застосування такого методу дозволить отримувати інформацію про стан поверхонь тертя під час перехідних процесів (припрацювання) в онлайн-режимі.

Аналіз останніх досліджень

Огляд літературних джерел, який виконано в роботі [1], дозволяє зробити висновок, що дослідження з акустико-емісійного діагностування механізмів здебільшого ґрунтуються на використанні ознак, які походять зі споріднених галузей техніки. Перед усім це ознаки дискретної емісії: рахунок (кількість імпульсів, зареєстрованих за весь час випробувань); активність (кількість імпульсів за одиницю часу) [2]. Що стосується неперервної емісії (коли окремі імпульси розрізнити неможливо), то її характеризують параметрами, широко використовуваними у вібраційній діагностиці – середньоквадратичним значенням, пік-фактором, спектром коливань [3]. Крім того, використовують часові параметри (тривалість фронту та спаду імпульсів) [3], параметри розподілу імпульсів за амплітудою та застосовують вейвлет-перетворення [4].

На підставі аналізу робіт західних вчених [5-11], автором роботи [11] робиться висновок, що перспективним напрямком досліджень є обґрунтування акустико-емісійних ознак дефектів підшипників кочення, інваріантних до масштабування сигналу по амплітуді. Обумовлено це тим, що флуктуації загасання емісії, відмінності амплітудно-частотних характеристик датчиків емісії та інші фактори, впливають на результат вимірювання енергетичних параметрів емісії, таких як енергія, середньоквадратичне значення, спектр і результат вейвлет-перетворення. Перераховані фактори впливають на параметри акустичної емісії, при обчисленні яких здійснюється порівняння сигналу з деяким пороговим рівнем. На думку автора роботи [11], процедура вибору такого рівня часто недостатньо формалізована або ґрунтується на факторах, які самі є мінливими (наприклад, власний шум підсилювача або фоновий рівень емісії). Тому при вимірюванні часових параметрів акустичної емісії доцільно пороговий рівень вибирати відповідно до порядку квантиля розподілу амплітуд, що визначається з умови мінімуму ймовірності похибки діагностування.

Підводячи підсумок аналізу виконаних досліджень по вибору інформативних параметрів АЕ для діагностування трибосистем можна зробити висновок, що для реєстрації швидкості зношування на перехідних режимах (під час припрацювання), найбільш інформативним і інваріантним параметром може виступати потужність сигналу АЕ, яка генерується поверхнями тертя, які знаходяться в контакті і взаємному переміщенні. Потужність сигналів АЕ корелює з величиною реєстрованих амплітуд за певний проміжок часу (рівень квантування).

Формулювання мети дослідження

Одним із завдань цього дослідження є розробка способу і методики визначення швидкості зношування трибосистем при нестационарних режимах під час припрацювання в онлайн-режимі, що дасть можливість вивчати перехідні процеси в різних конструкціях трибосистем.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Для обґрунтування вибору інформативних параметрів АЕ при контролі процесів зношування в трибосистемі розглянемо зміну швидкості зношування трибосистеми в процесі припрацювання, рис. 1 і виду АЕ - фреймів сигналу, знятих під час перехідного процесу (припрацювання) трибосистеми в характерних точках, рис. 2. З представлених фреймів сигналу видно, що амплітуда АЕ, в подальшому $A(t)$, може бути задана як функція дійсної змінної t .

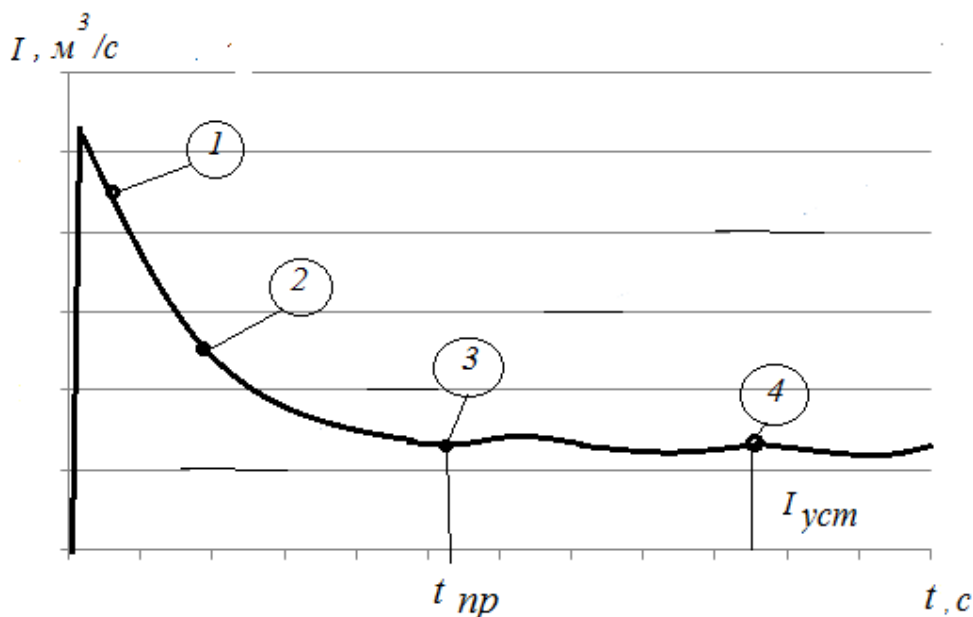


Рис.1. Характер зміни швидкості зношування трибосистеми в процесі припрацювання: $t_{пр}$ - час припрацювання; $I_{уст}$ - швидкість зношування після завершення припрацювання: 1-2-3-4 - характерні точки припрацювання

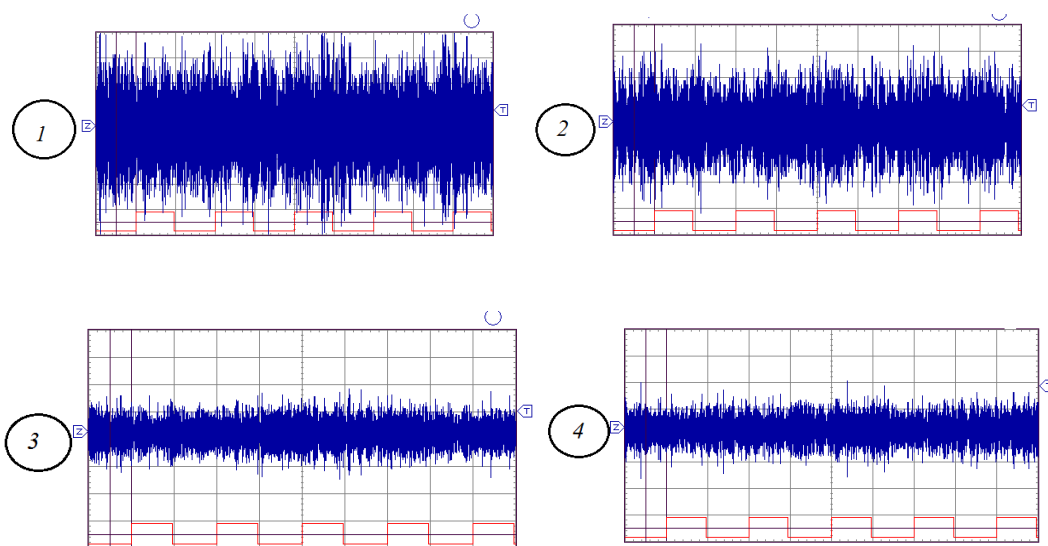


Рис.2. Фрейми сигналів АЕ в характерних точках на кривій припрацювання згідно рис. 1

Після завершення перехідного процесу (сталий режим роботи), фрейм сигналів АЕ приймає вид, представлений на рис. 2, точка 3 і точка 4. Вивчення структури сигналів АЕ, представлених на рис. 2, дає підставу стверджувати, що на сталому режимі процес тертя і зношування має коливання.

Для виділення сигналів АЕ з шумів найбільш часто використовують частотну фільтрацію і амплітудну дискримінацію [12]. У даній роботі застосовувалася амплітудна дискримінація сигналів АЕ, яка здійснювалася шляхом введення в апаратуру порогового пристрою, що пропускає на вихід тільки ті сигнали, амплітуда яких перевищує деякий заданий рівень - рівень дискримінації.

Обґрунтування рівня дискримінації здійснювалося експериментально і є важливою умовою отримання достовірних результатів.

Нестационарний процес характерний тим, що має певну тенденцію розвитку в часі і характеристики такого процесу залежать від початку відліку та від тривалості реєстрації. Однак для кожного нестационарного процесу існують відрізки часу, в межах яких, з відомим наближенням, цей процес може вважатися стаціонарним і ергодичним.

Таким чином, змінюючи інтервал інтегрування (задаючи досить малий інтервал) при зміні фреймів сигналів АЕ, можливо вивчення процесів поверхневого руйнування (швидкості зношування і межі виходу на пошкоджуваність) на етапі припрацювання трибосистем.

Випадкова функція $A(t)$ може вважатися за визначенням стаціонарною, на певному інтервалі часу t , якщо всі її імовірнісні характеристики не змінюються при будь-якому зсуві аргументів, від яких вони залежать по осі t . Проте одна з основних умов, яким повинна задовольняти стаціонарна випадкова функція - це умова сталості дисперсії.

Тому при аналізі перехідних процесів інтервал часу реєстрації t амплітуд сигналів АЕ повинен вибиратися таким, щоб забезпечувалося умова сталості дисперсії. Даний інтервал в роботі визначається експериментально.

Велика кількість проведених експериментів з аналізу процесу припрацювання трибосистем показали, що при оцінці швидкості зношування на перехідних режимах найкраще використовувати потужність акустико-емісійного випромінювання, яка визначалася за виразом:

$$W_{AE} = \frac{A_{\Sigma}^2}{t_p}, \quad (1)$$

де A_{Σ}^2 – сумарне значення квадрата амплітуд всіх імпульсів АЕ, mB^2 за час реєстрації t_p ;

t_p – час реєстрації, с.

Експериментальні дослідження проводилися в два етапи і мали на меті визначити кореляційний зв'язок між швидкістю зношування – I_v , м³/год и потужністю сигналів АЕ

- W_{AE} , $\frac{mB^2}{c}$.

Перший етап експериментальних досліджень мав на меті визначення функціонального зв'язку між перерахованими параметрами під час перехідного процесу.

Другий етап мав на меті визначення кореляційного зв'язку між перерахованими вище параметрами на сталому режимі роботи трибосистеми, тобто після завершення перехідного процесу (припрацювання).

Завершення припрацювання можна визначити по стабілізації наступних параметрів перехідного процесу: моменту тертя M_{mp} , Н•м; температури елементів трибосистеми T , °С; мінімальної дисперсії АЕ випромінювання із зони тертя - D , mB^2 . У даній роботі при проведенні експериментальних досліджень час завершення перехідного процесу визначалося по всім перерахованим вище параметрам.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження проводилися на машині тертя за кінематичною схемою «кільце-кільце», при таких поєднаннях матеріалів.

Перша трибосистема: рухомий трибоелемент сталь 40Х (45 ... 47 HRC), нерухомий трибоелемент Бр.АЖ 9-4 (90 ... 110 НВ).

Друга трибосистема: рухомий трибоелемент сталь 40Х (45 ... 47 HRC), нерухомий трибоелемент СЧМ (293 НВ).

Третя трибосистема: рухомий трибоелемент сталь 40Х (45 ... 47 HRC), нерухомий трибоелемент сталь 40Х (45 ... 47 HRC).

Для всіх трьох трибосистем мастильним середовищем було обране моторна олива М - 10Г_{2к} ($E_y = 3,6 \cdot 10^{14}$ Дж /м³).

Блок-схема експериментального устаткування для реєстрації та обробки сигналів АЕ представлена на рис. 3.

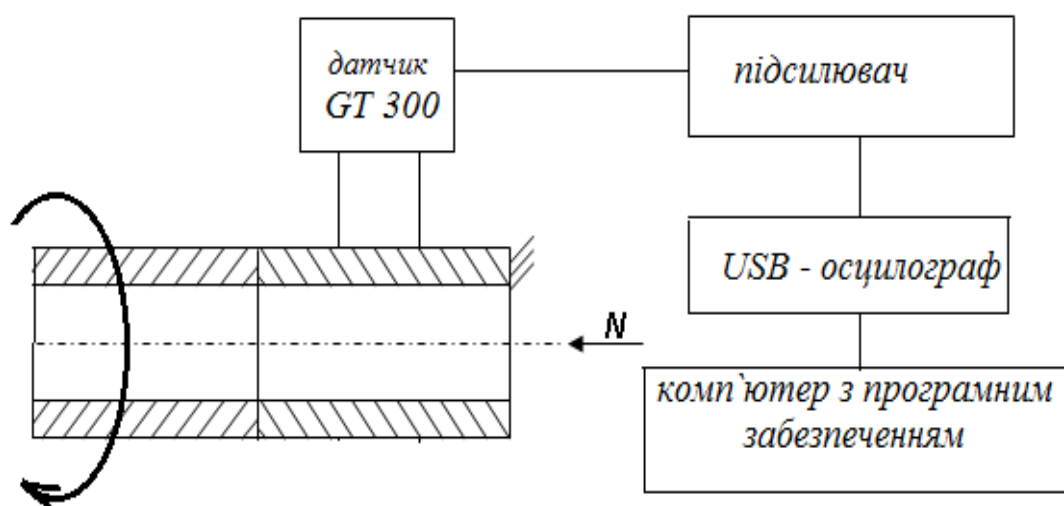


Рис.3. Блок-схема експериментального устаткування для реєстрації та обробки сигналів АЕ

Сигнал акустичної емісії, що генерує трибосистема, сприймається з нерухомого трибоелемента широкопasmовим датчиком акустичної емісії GT300 (100..800 кГц) і надходить в підсилювач, а з виходу підсилювача - в USB-осцилограф PV6501 і далі в комп'ютер.

Підсилювач складається з вхідного каскаду, триполюсного фільтра верхніх частот і підсилювача з регульованим коефіцієнтом передачі (1 - 100). Загальний коефіцієнт підсилення досягає 1000. Нижня межа смуги пропускання підсилювача обрано рівної 50 кГц, що відповідає низькочастотних датчикам акустичної емісії, що випускаються, наприклад, фірмою ГлобалТест (РФ). Верхня межа смуги пропускання обрано рівної 1,5 МГц, що перевершує відповідну межу серійних високочастотних датчиків акустичної емісії. Дане обмеження пов'язано також зі збільшенням загасання пружних хвиль в металі з ростом частоти.

Смуга пропускання застосованого USB-осцилографа становить 20 МГц, що багаторазово перевищує верхню межу смуг пропускання датчика і підсилювача акустичної емісії. Фільтр верхніх частот призначений для виділення сигналів акустичної емісії, що мають значно меншу інтенсивність, ніж сигнали АЕ. Послабивши проходження сигналів АЕ на вхід USB-осцилографа в 300 разів за допомогою фільтра верхніх частот і пропорційно збільшивши коефіцієнт підсилення, стало можливим виділити сигнал акустичної емісії з переважною частотою 70-600 кГц.

Осцилограф працював в режимі очікування, поріг запуску розгортки позначений символом «Г» на рис. 2. Тривалість попередньої вибірки була встановлена рівної 100 мкс, що дозволяє спостерігати значення сигналу, що передують перевищення порогового рівня.

Результати вимірювань сигналу акустичної емісії USB-осцилографом зберігаються в комп'ютері, дані, що містяться в цих файлах, обробляються програмами статистичного аналізу з визначенням дисперсії квадрата амплітуд – D_A та сумарного значення квадрата амплітуд за час реєстрації – A_{Σ}^2 . Маючи дані значення за формулою (1) визначали W_{AE} . Час реєстрації t_p визначалося експериментально по відтворюваності результатів при рівнозначних повторях.

При перевірці однорідності дисперсій сукупності результатів сигналу АЕ на сталому режимі, що еквівалентно підтвердження їх відтворюваності, в умовах вибірок малого обсягу стандарт ISO 5725 рекомендує використання критерію Кохрена.

Критерій Кохрена дозволяє порівняти однорідність дисперсій результатів аналізу амплітуд сигналів АЕ в різних точках перехідного процесу.

Тестова статистика критерію Кохрена C_p визначається виразом:

$$C_p = \frac{D_{A_{max}}}{\sum_{i=1}^n D_{Ai}}, \quad (2)$$

де $D_{A_{max}}$ - найбільше значення дисперсії амплітуд під час перехідного процесу;

n – кількість вимірювань;

D_{Ai} - поточне значення дисперсії по i -му дослідженню.

Згідно стандарту ISO 5725 гіпотеза однорідності (відтворюваності) перевіряється за наступним виразом:

$$C_p < C_m, \quad (3)$$

де C_p - розрахункове значення критерію Кохрена, формула (2);

C_m - табличне значення критерію для заданого рівня значущості [13].

Якщо умова (3) виконується, то приймається гіпотеза про статистичну однорідності результатів вимірювань.

Експериментальні дослідження проводилися при наступних режимах тертя: навантаження $N = 300 \dots 1200$ Н; швидкість ковзання 0,5 м/с.

В процесі експериментів за допомогою самописців машини тертя реєстрували в часі зміну моменту тертя, температури, та за допомогою комп'ютера розраховували дисперсію і потужність сигналів АЕ.

Результати експериментальних досліджень представлені у вигляді експериментальних залежностей на рис. 4, які відображають середнє значення потужності сигналів АЕ за трьома однотипним повторами і трьома трибосистемами з різним поєднанням матеріалів, де по осі X розміщені експериментальні значення потужності сигналів акустичної емісії з зони тертя, W_{AE} , формула (1), одиниця виміру – mB^2 / c . Значення W_{AE} отримані для різних сполучень матеріалів в трибосистемі, різних навантажень і швидкостей ковзання. По осі Y відкладено відповідні розрахункові значення швидкості роботи дисипації в трибосистемах W_{mp} , які дорівнюють алгебраїчної сумі швидкостей роботи дисипації у рухомого і нерухомого

трибоелементів, одиниця виміру - Дж/с. Формули для розрахунку W_{mp} представлені в роботі [14]:

швидкість роботи дисипації в рухомому трибоелементі;

$$W_p = \sigma_{фнк} \cdot \dot{\epsilon}_p \cdot V_{др}, \text{ Дж/с}, \quad (4)$$

швидкість роботи дисипації в нерухомому трибоелементі;

$$W_n = \sigma_{фнк} \cdot \dot{\epsilon}_n \cdot V_{дн}, \text{ Дж/с}. \quad (5)$$

Швидкість роботи дисипації в трибосистемі:

$$W_{mp} = W_p + W_n, \text{ Дж/с}. \quad (6)$$

У формулах (4) і (5) прийняті наступні позначення:

$\sigma_{фнк}$ - напруження на фактичних плямах контакту, Па;

$\dot{\epsilon}_p, \dot{\epsilon}_n$ - швидкість деформації в рухомому і нерухомому трибоелементах, 1/с;

$V_{др}, V_{дн}$ - об'єм матеріалу рухомого і нерухомого трибоелементів, який бере участь в деформації в процесі тертя, м³.

Отримана залежність, рис.4, встановлює лінійний взаємозв'язок між вимірюною в процесі експерименту потужністю сигналів АЕ, формула (1) і швидкістю роботи дисипації в трибосистемі, формула (6). За допомогою методу найменших квадратів було отримано регресійне рівняння:

$$W_{mp} = 0,033 \cdot W_{AE}. \quad (7)$$

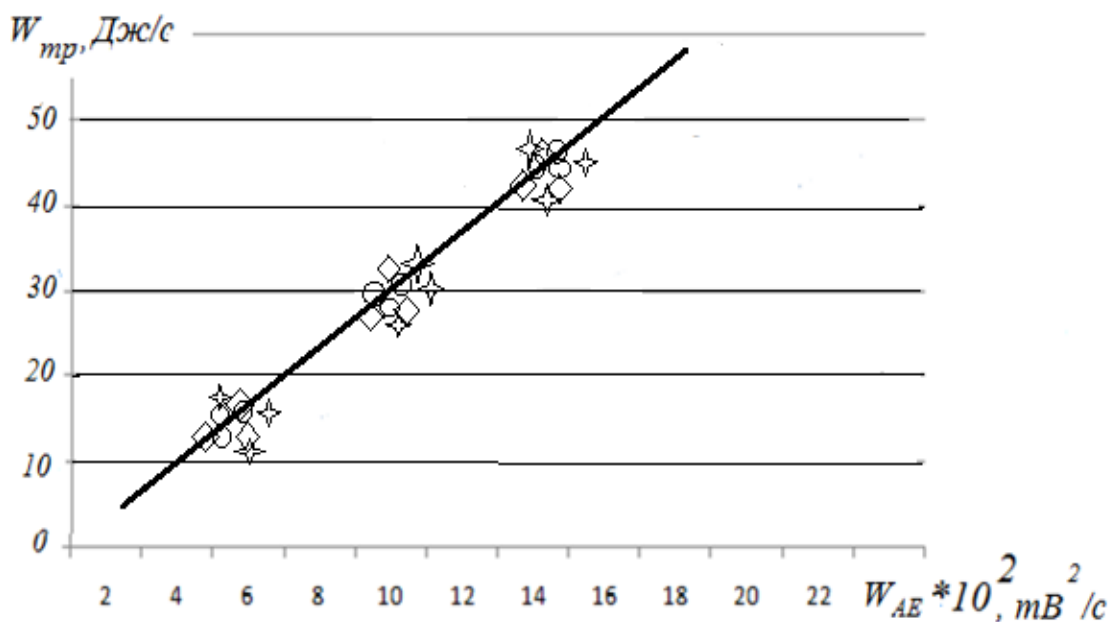


Рис.4. Залежність зміни швидкості роботи дисипації в різних трибосистемах W_{mp} від потужності сигналів акустичної емісії з зони тертя W_{AE}

Залежність (7) дозволяє по вимірній в процесі експерименту потужності АЕ - W_{AE} , розрахувати значення швидкості роботи дисипації в трибосистемі W_{mp} . Використовуючи отримане значення W_{mp} і формулу, яка отримана в роботі [15], можна розрахувати швидкість зношування в трибосистемі в реальний момент часу:

$$I_V = 6 \cdot 10^{-10} \exp(0,795 \cdot 10^{16} \cdot \frac{1}{E_y} \sqrt{\frac{\pi}{\delta_p \cdot \delta_H}} \cdot W_{mp}) \cdot \frac{m^3}{год}, \quad (8)$$

де I_V – об'ємна швидкість зношування, $m^3/год$ в реальний момент часу;

δ_p і δ_H – коефіцієнти, які враховують реологічні властивості структури матеріалу у рухомого і нерухомого трибоелементів.

Другим етапом експериментальних досліджень стало визначити функціональний взаємозв'язок між швидкістю зношування I_V і параметрами АЕ - W_{AE} для зазначених вище трибосистем при зміні навантаження на вузлі тертя від 300 Н до 1200 Н на стаціонарному режимі роботи трибосистеми, тобто після завершення перехідного процесу (припрацювання). Зміна навантаження призводить до зміни швидкості роботи дисипації в трибосистемі - W_{mp} .

Мета досліджень - показати, що за величиною W_{AE} , mB^2/c , можна визначати величину швидкості зношування I_V , $m^3/год$.

Дослідження проводилися на стаціонарних режимах тертя, тобто знос за припрацювання не враховувався. Для цього після завершення припрацювання (після стабілізації параметрів) на поверхні тертя наносилися лунки для вимірювання зносу і після проведення випробувань протягом двох годин методом штучних баз визначався лінійний знос, який перераховували в об'ємний.

Швидкість зношування визначали за формулою:

$$I_V = \frac{\Delta b \cdot A_H}{t_e} \cdot m^3/год. \quad (9)$$

де Δb – величина лінійного зносу, м;

A_H – площа тертя трибоелемента, m^2 ;

t_e – час проведення експерименту, год.

Результати експериментальних досліджень представлені на рис. 5.

Виконаємо оцінку відтворюваності результатів вимірювань сигналів акустичної емісії за допомогою критерію Кохрена, формула (2). Параметри сигналів акустичної емісії при різних значеннях швидкості роботи дисипації для дисперсії амплітуд і дисперсії потужності АЕ зазначених вище трибосистем представлені в таблиці 1.

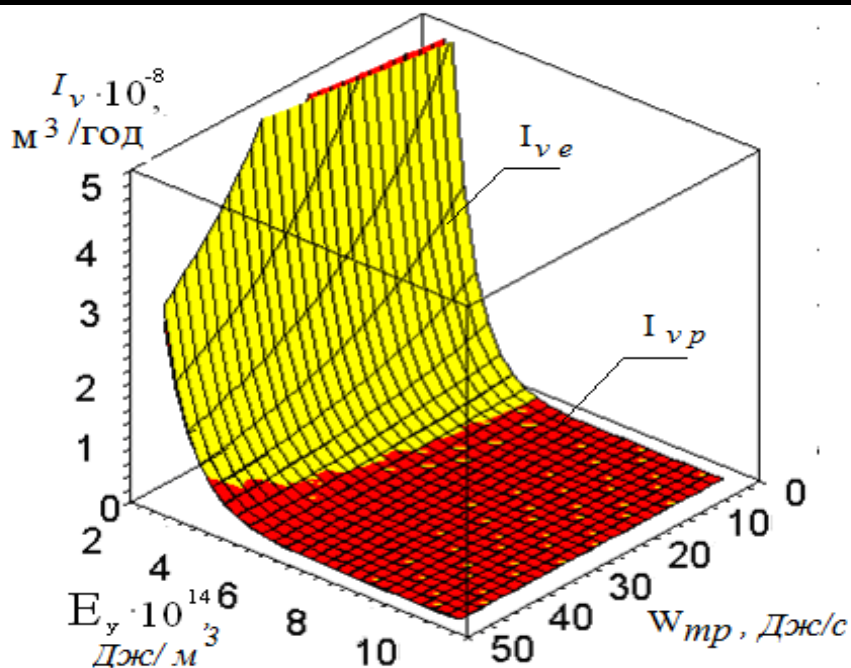


Рис.5. Розрахункові I_{vp} і експериментальні I_{ve} поверхні відгуку об'ємної швидкості зношування при зміні трибологічних властивостей мастильного середовища E_y і швидкості роботи дисипації W_{trp} в трибосистемі сталь 40X + Бр.АЖ 9-4

Таблиця 1

Параметри сигналів акустичної емісії при різних значеннях швидкості роботи дисипації в трибосистемах

$W_{trp}, Дж/с$	D_{Amax}	ΣD_{Ai}	C_p	D_{wmax}	ΣD_{wi}	C_p	C_m
10	47,1	60,41	0,764	309,35	461,22	0,695	0,853
20	57,3	70,75	0,764	315,30	460,08	0,715	0,853
30	70,5	91,30	0,785	430,25	572,67	0,720	0,853
40	113,6	144,76	0,795	613,33	822,14	0,755	0,853

Аналіз розрахункових значень критерію Кохрена - C_p і табличних значень - C_m при заданому рівні значущості 0,95 (кількість оцінюваних параметрів - 2, кількість повторів - 10), дозволяє зробити висновок, що умова (3) виконується, тобто результати вимірювань однорідні і відтворювані.

Для досліджуваних трибосистем коефіцієнт кореляції між залежностями I_V і D_A має значення $R = 0,96$, а для залежностей I_V і W_{AE} має значення $R = 0,98$.

З аналізу представлених значень в таблиці 1 слідує, що дисперсія амплітуд і потужність сигналів АЕ адекватно відображають процес зношування і знаходяться в функціональному взаємозв'язку зі швидкістю зношування. Це дозволяє висунути припущення, що за величиною потужності АЕ можна судити про величину швидкості зношування в будь-який момент роботи трибосистеми, тобто на перехідних режимах.

Практичні рекомендації:

Методика визначення значень швидкості зношування під час перехідного процесу зводиться до наступних операцій.

1. Проводяться випробування конкретної трибосистеми і в процесі перехідного процесу реєструються параметри АЕ і згідно формули (1) розраховуються значення потужності акустичної емісії - W_{AE} .

2. За відомими значеннями W_{AE} , згідно виразу (7), розраховується значення швидкості роботи дисипації в трибосистемі в даний момент часу – W_{mp} .

3. Чисельне значення об'ємної швидкості зношування в даний момент часу - I_V визначають за формулою (8).

Висновки

1. Для визначення максимальних значень швидкості зношування під час перехідного процесу обґрунтовано метод АЕ і інформативний параметр - потужність сигналів АЕ. Експериментальним шляхом встановлено, що потужність АЕ корелює зі швидкістю зношування, коефіцієнт кореляції $R = 0,98$ і адекватно відображає процес припрацювання.

2. Отримано залежності, які дозволяють визначати швидкість роботи дисипації в трибосистемах під час перехідного процесу за значеннями потужності сигналів акустичної емісії, що дозволило розробити методику розрахунку величини швидкості зношування під час припрацювання в будь-якій точці перехідного процесу.

Список використаних джерел

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Faris Elasha., Matthew Greaves, David Mba, Abdulmajid Addali. Application of Acoustic Emission in Diagnostic of Bearing Faults within a Helicopter gearbox, *The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services*. Procedia CIRP, 2015, Vol.38, pp. 30-36.

6. Seyed A. Niknam, Tomcy Thomas, J. Wesley Hines, Rapinder Sawhney. Analysis of Acoustic Emission Data for Bearings subject to Unbalance, *International Journal of Prognostics and Health Management*, 2013, Vol. 15, pp. 1–10.

7. Badgujar M.P., Patil A.V. Fault Diagnosis of Roller Bearing Using Acoustic Emission Technique and Fuzzy Logic, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2014, Vol. 3, Issue 4, pp.170–175.

8. Rao V.V., Ratnam Ch. A Comparative Experimental Study on Identification of Defect Severity in Rolling Element Bearings using Acoustic Emission and Vibration Analysis, *Tribology in Industry*, 2015, Vol. 37, No. 2, pp.176-185.

9. Zahari Taha., Indro Pranoto. Acoustic Emission - Research and Applications. Chapter 4 – Acoustic Emission Application for Monitoring Bearing Defects, *InTech*. 2013, pp.71–90. <http://dx.doi.org/10.5772/55434>

10. Nienhaus K., Boos F.D., Garate K., Baltes R. Development of Acoustic Emission (AE) based defect parameters for slow rotating roller bearings, *Journal of Physics: Conference Series*. 364. 2012. 012034. 1-10. doi:10.1088/1742-6596/364/1/012034
11. Yongyong He., Xinming Zhang, Michael I. Friswell. Defect Diagnosis for Rolling Element Bearings Using Acoustic Emission, *Journal of Vibration and Acoustics*, 2009, Vol. 131 / 061012.
12. Свириденко А.И. Акустические и электрические методы в триботехнике; под ред. В.А. Белого. – Минск : Наука и техника, 1987. – 280 с.
13. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента, М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.
14. Войтов В.А., Захарченко М.Б. Моделирование процессов трения изнашивания в трибосистемах в условиях граничной смазки. Часть 1. Расчет скорости работы диссипации в трибо системах, *Проблеми трибології*. – 2015. – № 1. – С. 49-57.
15. Войтов В.А., Захарченко М.Б. Моделирование процессов трения изнашивания в трибосистемах в условиях граничной смазки. Часть 2. Результаты моделирования. В. А. Войтов, М. Б. Захарченко, *Проблеми трибології*. – 2015. – № 2. – С. 36-45.

References

1. Shevchenka S.A. 2012. Klasyfykacya ta obgruntuvannya vy`mog do akustyko-emy`syny`x oznak defekty`v par tertya mekany`zmy`v. *Vy`sny`k Xarky`vs`kogo nacy`onal`nogo texny`chnogo uny`versy`tetu sy`l`s`kogo gospodarstva y`m. P. Vasy`lenka*. – Vy`p.121. – pp.159-163. [in Ukrainian].
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Faris Elasha., Matthew Greaves, David Mba, Abdulmajid Addali. Application of Acoustic Emission in Diagnostic of Bearing Faults within a Helicopter gearbox, *The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services*. Procedia CIRP, 2015, Vol.38, pp. 30-36.
6. Seyed A. Niknam, Tomcy Thomas, J. Wesley Hines, Rapinder Sawhney. Analysis of Acoustic Emission Data for Bearings subject to Unbalance, *International Journal of Prognostics and Health Management*, 2013, Vol. 15, pp. 1–10.
7. Badgujar M.P., Patil A.V. Fault Diagnosis of Roller Bearing Using Acoustic Emission Technique and Fuzzy Logic, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2014, Vol. 3, Issue 4, pp.170–175.
8. Rao V.V., Ratnam Ch. A Comparative Experimental Study on Identification of Defect Severity in Rolling Element Bearings using Acoustic Emission and Vibration Analysis, *Tribology in Industry*, 2015, Vol. 37, No. 2, pp.176-185.
9. Zahari Taha., Indro Pranoto. Acoustic Emission - Research and Applications. Chapter 4 – Acoustic Emission Application for Monitoring Bearing Defects, *InTech*. 2013, pp.71–90. <http://dx.doi.org/10.5772/55434>

10. Nienhaus K., Boos F.D., Garate K., Baltés R. Development of Acoustic Emission (AE) based defect parameters for slow rotating roller bearings, *Journal of Physics: Conference Series*. 364. 2012. 012034. 1-10. doi:10.1088/1742-6596/364/1/012034
11. Yongyong He., Xinming Zhang, Michael I. Friswell. Defect Diagnosis for Rolling Element Bearings Using Acoustic Emission, *Journal of Vibration and Acoustics*, 2009, Vol. 131 / 061012.
12. Svyrydenok, A.Y. Akusticheskye y' elektrycheskye metody v tryboteknyke; pod red. V.A. Belogo, My'nsk, *Nauka y' teknyka*, 1987, 280 p. [in Russian].
13. Zazhygaev L.S., Kysh'yan A.A., Romany'kov Yu.Y. Metody planyrovany'ya y' obrabotky' rezul'tatov fyzycheskogo yekspery'menta, *M, Atomy'zdat*, 1978, 232 p. [in Russian].
14. Vojtov V.A., M. B. Zaxarchenko. Modelyrovany'e processov treny'ya y'znashy'vany'ya v trybosystemax v uslovy'yx grany'chnoj smazky'. Chast' 1. Raschet skorosty' raboty' dy'ssy'pacy'y' v trybosystemax, *Problemy' trybology'yy'*, 2015, No. 1, pp. 49-57. [in Russian].
15. Vojtov V.A., M. B. Zaxarchenko. Modelyrovany'e processov treny'ya y'znashy'vany'ya v trybosystemax v uslovy'yx grany'chnoj smazky'. Chast' 2. Rezul'taty modelyrovany'ya, *Problemy' trybology'yy'*, 2015, No. 2, pp. 36-45. [in Russian]