

УДК 621.891:621.316

В.М. Стадніченко¹, М.Г. Стадніченко², Р.М. Джус², О.О. Гурін²¹ Національний авіаційний університет, Київ² Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

У статті викладені основні положення використання методу акустичної емісії для вбудованих систем діагностики агрегатів авіаційної техніки. Розроблено дослідницький зразок такої інформаційно-діагностичної системи. Представлено приклад її функціонування.

Ключові слова: трибосистема, акустична емісія, знос, вбудована система діагностики.

Вступ

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку авіації основним напрямком забезпечення справності авіаційної техніки (АТ) є збільшення ресурсних показників. Для цієї мети проводиться комплекс заходів із дослідження технічного стану, проведення аналізу його зміни, переведення АТ на експлуатацію за технічним станом. Переведення АТ на таку експлуатацію неможливе без впровадження сучасних методів діагностування, застосування яких дозволить істотно підвищити ефективність контролю. Розробка методики безрозбірної контролю технічного та інформаційно-діагностичної системи є актуальною задачею.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Аналіз останніх досліджень та публікацій дозволив встановити, що найбільш прийнятним для рішення даної задачі є метод акустичної емісії (АЕ), який має ряд переваг перед іншими НМК [1 – 4]: можливість автоматизації, діагностування дефектів на ранніх стадіях, проведення діагностування без проведення сканування поверхні об'єкту діагностування.

Поява в даний час високошвидкісних цифрових обчислювальних машин, а також створення теорії ідентифікації дозволили проводити моніторинг стану об'єкту контролю за наслідками спостережень над вхідними і вихідними сигналами при його функціонуванні.

В даний час в авіаційній, ракетно-космічній і енергетичних галузях цю задачу вирішують шляхом широкого впровадження систем вбудованого автоматизованого контролю і наземних діагностичних комплексів [1, 2], математична модель функціонування яких визначається в загальному випадку рівнянням:

$$x_0 = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + \dots + k_i \cdot x_i + \dots + k_n \cdot x_n, \quad (1)$$

де k_i – шукані параметри, що характеризують об'єкт контролю; x_i – змінна діагностики.

Відмови агрегатів паливної і гідравлічних сис-

тем в основному обумовлені зносом рухомих сполучень, тому задачі безрозбірної діагностики таких вузлів зводяться до контролю швидкості зношування цих вузлів і прогнозування їх довговічності (ресурсу).

Вхідні і вихідні параметрами у вбудованого автоматизованого контролю і наземних діагностичних комплексів, як правило, мають різну фізичну природу, і встановлення взаємозв'язків між ними представляє достатньо складну задачу, як з технічною, так і з метрологічної точки зору.

Такого роду роботи, як правило, виконуються при лабораторних або стендових випробуваннях авіаційної техніки. Як методи діагностики агрегатів літака і двигуна в процесі їх експлуатації в даний час широко використовується метод АЕ.

Роботи по дослідженню фізики процесів і вивченню руйнування матеріалів і конструкцій з використанням методу АЕ проводяться в багатьох країнах, перш за все в США, Японії, Великобританії, ФРН, Росії і інших держав світу. Результати, опубліковані за останні десятиріччя, торкаються широкого кола аспектів у вивченні явища АЕ, теоретичних розробок в моделюванні механізмів формування і розповсюдження, зберігання і аналізу інформації про процеси об'ємного [3] і поверхневого руйнування [4].

Теоретичні основи використання методу АЕ для вбудованих систем контролю розроблені групою авторів в національному авіаційному університеті [5, 6].

Ціллю даної роботи є розробити теоретичні основи та практичні рекомендації із застосування вбудованих систем діагностики на основі методу акустичної емісії для агрегатів авіаційної техніки.

Виклад матеріалів досліджень

У якості інформативного параметру оцінки швидкості зношування прийнято усереднену потужність АЕ, яка є аналогом параметру MARSE, який представляє собою кількість осциляцій енергії та підраховується за площею під згинаючою сигналу

[7]. Аналіз структури акустико-емісійного випромінювання при зносі показав, що при накладанні сигналів від великої кількості подій (відокремлення часток зносу по всій поверхні трибосистеми) цей випромінювання являє собою безперервну емісію з певними піковими стрибками від середнього значення. Тому для оцінки цієї площі доцільно нормувати інтервал вимірювань (20 мкс).

Повна математична модель, що враховує подобиці «тонкої структури» імпульсу достатньо складна, тому при аналізі імпульсів використовуються числові параметри, які дають спрощені уявлення про його форму. До таких параметрів можна віднести: амплітуду A ; тривалість імпульсу τ_n ; тривалість фронту τ_ϕ і тривалість зрізу τ_c імпульсу.

Лінійний простір сигналів L є нормованим, якщо кожному сигналу $U(t) \in L$ однозначно зіставлене число U – норма цього сигналу, причому повинні виконуватися певні аксіоми нормованого простору. Норму сигналів в лінійному просторі вводять різними способами [3]. Так для сигналу $U(t)$, $t \in T$ можна записати:

$$U(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}. \quad (2)$$

Квадрат даної норми є енергією, а після приведення цієї величини до часу дискретизації – потужністю сигналу.

Разом з тим широкі можливості сучасної обчислювальної техніки засновані на операції з дискретними числами (дискретними сигналами). Найпростішу модель дискретного сигналу $U_d(t)$ можна представити як рахункову безліч точок $t_i (i=1, 2, 3, \dots)$ на осі часу, в кожній з яких визначено відлікове поточне значення сигналу U_i . Як правило, крок дискретизації є постійною величиною, тобто $\Delta t = t_{i+1} - t_i = \text{const}$.

Будь-якому аналоговому сигналу можна зіставити його дискретний образ, що має, наприклад, вид послідовності прямокутних відеоімпульсів однакової тривалості, висота яких пропорційна значенню $U(t)$ у відлікових точках. При ідеальній дискретизації час вибірки сигналу нескінченно малий, тобто дискретизація здійснюється за допомогою нескінченно коротких імпульсів, сукупність яких формує так звану гребінчасту функцію $\emptyset(t)$. Якщо заданий сигнал, то дискретизація $x(t)$ з частотою F_a – це множення функції $x(t)$ на суму імпульсів Дірака, розділених проміжками часу $T_a = 1/F_a$

$$\emptyset F_a(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{k}{F_a}\right). \quad (3)$$

Якщо позначити $x_d(t)$ як дискретизований сигнал, то:

$$x_d(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \frac{k}{F_a}\right). \quad (4)$$

Реальні пристрої прийому і обробки сигналів володіють кінцевими шириною смуги пропускання. Тоді для сигналу $x(t)$, спектр якого розподілений в інтервалі, можна записати:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x\left(\frac{k}{F_a}\right) \frac{\sin \pi F_a \left(t - \left(\frac{k}{F_a}\right)\right)}{\pi F_a \left(t - \left(\frac{k}{F_a}\right)\right)}, \quad (5)$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

тобто для частоти дискретизації F_a справедлива нерівність

$$F_a \geq 2f_c,$$

де f_c – найбільша частота спектру функції $x(t)$ однозначно відновлюється по дискретних значеннях $x(k/F_a)$.

Точне значення відліку сигналу у двійковій формі за рівнем має наступний вигляд:

$$x = \sum_{n=0}^{\infty} a_n 2^n, \quad (6)$$

де коефіцієнти $a_n = 0$ або 1.

Проте сигнали після цифрового перетворення представляються у вигляді послідовності чисел з обмеженим числом розрядів (N). Тому виходить машинне представлення відліку сигналу:

$$x = \sum_{n=0}^{N-1} a_n 2^n + \beta_N 2^N, \quad (7)$$

Коефіцієнт β_N , рівний або α_N або α_{N+1} залежно від того, нуль або одиниця міститься в $N+1$ розряді.

Таким чином, безперервний сигнал $x(t)$ на деякому інтервалі $\{0, T\}$ описується своїми відліковими значеннями, узятими відповідно в моменти часу $(0, \Delta t, \dots, (M-1)\Delta t)$, де Δt – крок дискретизації; $M = T/\Delta t$ – повне число відліків, рис. 1.

Наявність цифрових масивів чисел, що описують сигнал $x(t)$, дозволяє визначати всі його основні параметри, включаючи і усереднену спектральну потужність, де інтеграл замінюється підсумовуванням на інтервалі усереднювання дії сигналу. При цьому розмірність по реєстрованому параметру в даному випадку усередненої потужності визначається розмірністю одиниці молодшого розряду для заданого числа розрядів аналого-цифрового перетворювача, а розмірність за часом – розмірністю кроку дискретизації Δt .

Цифровий опис сигналів, що представляється у вигляді цифрових масивів впорядкованих даних, дозволяють проводити обробку і будувати в часі залежності зміни параметрів індивідуальних сигналів (пікових значень параметрів сигналів) або двох-параметричних розподілів залежності сигналів АЕ і характеристик зношування трибоспряджень.

Якщо розглядаються імпульсні потоки за певний час випробувань на знос, то проводиться обробка і побудова залежності зміни усереднених значень

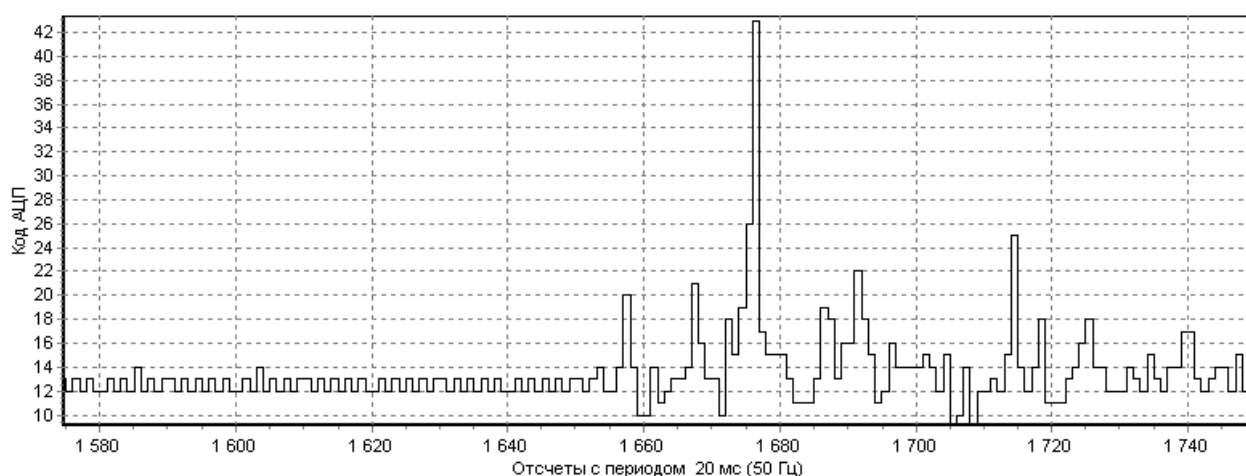


Рис. 1. Діаграма вимірювання усередненої потужності сигналів АЕ при реєстрації зносу

потужності сигналів АЕ як на певних інтервалах (за один файл: 3 – 5 хвилин), так і у всьому діапазоні часу випробувань трибосистеми:

$$\bar{x}(kt) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Pi_{ik}; \quad \Pi_{ik} \in [(k-1)\tau, k\tau], \quad (8)$$

де Π_{ik} – оброблюваний параметр сигналу; τ – тривалість інтервалу усереднювання на даній довжині реалізації $v = T_1/\tau$; n – кількість сигналів на k -му інтервалі усереднювання.

При обробці безперервного сигналу з коливаннями навколо деякого рівня, на інтервалі спостереження $(0, t)$ відлікові цифрові значення $(x_0, x_1, x_2, \dots, x_{M-1}) > 0$, обробка і висновок усереднених значень може здійснюватися відповідно до виразу (8).

Пікові значення реєстрованих параметрів АЕ оцінюються величиною інформації, що робить можливим використання відносних одиниць як критерію оцінки швидкості зношування трибосистем. Це є відношення плинного сигналу до рівня амплітудної дискримінації, який прийнятий за одиницю.

З погляду отримання інформації про кінетику процесів зношування з використанням обробки сигналів АЕ, найприйнятнішою є організація безперервного режиму запису інформації. Він полягає в забезпеченні безперервного проведення вимірювань сигналів акустичної емісії в процесі зношування трибосистеми, з послідовним записом і збереженням кожного результату вимірювання на пристрої запам'ятовування (жорсткому диску ПК).

Аналіз стану проблеми експлуатації за технічним станом машин і механізмів показує, що існує цілий ряд заснованих на різних фізичних принципах методів об'єктивної оцінки технічного стану трибосистем, що є ключовим для вирішення ряду прикладних задач. Більшість наукових досліджень в цьому напрямі не знайшла практичного використання. Це пов'язано із значною складністю устаткування і методик обробки АЕ випромінювання від об'єкту контролю. Проте дослідження показують, що ефек-

тивність використання методу АЕ значно росте при розробці моделей АЕ випромінювання, які встановлюють взаємозв'язок між характеристиками АЕ сигналів і різними видами пошкодження які можуть накопичуватися в процесі експлуатації у вигляді зносу або носити характер різних видів пошкоджуваності включаючи катастрофічні.

Для вирішення подібних задач авторами створено опитний зразок малогабаритної акустико-емісійної інформаційно-діагностичної системи з багатофункціональним програмним забезпеченням для вирішення задач діагностики широкого кола об'єктів діагностування.

На сьогоднішній день цей опитний зразок пройшов випробування на машинах тертя з моделюванням різноманітних видів пошкоджуваності, рис. 2, 3.

Обробка накопиченої інформації проводиться в стаціонарних умовах на ПЕОМ з використанням оригінального програмного забезпечення, зразок такої обробки відображено на рис. 4.

Можливості сучасної елементної бази за даним напрямком досліджень дозволяє зменшити розміри інформаційно-діагностичної системи контролю до розміру 2x2 см і менше. В якості чутливого елемента використовуються п'єзоелектричні перетворювачі, які мають малі розміри, а також є можливість використання плівкових перетворювачів по аналогії з тими, що використовувались на космічному човні «Буран».

Таким чином дана інформаційно-діагностична система контролю може вживлюватися в конструктивний елемент який діагностується з попередньою адаптацією по живленню, а також з можливістю використання свого джерела живлення. За рахунок того енерговитрати мінімальні.

Висновки

1. Розроблена інформаційно-діагностичної система контролю має просту конфігурацію у порівнянні з зарубіжними аналогами, і тому мають низьку вартість і малі габарити.

2. Багатофункціональність комплексу обумовлена гнучким програмним забезпеченням з можливістю його застосування для різних за своїм функціональним призначенням агрегатів.

3. Обов'язковими умовами розробки програмного забезпечення є моделювання роботи агрегатів в нормальних умовах роботи і з різними видами пошкоджуваності.

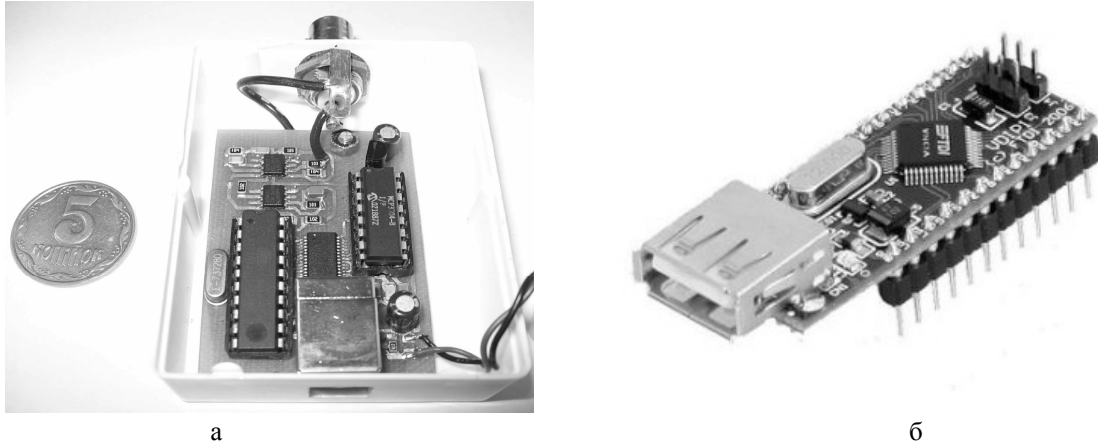
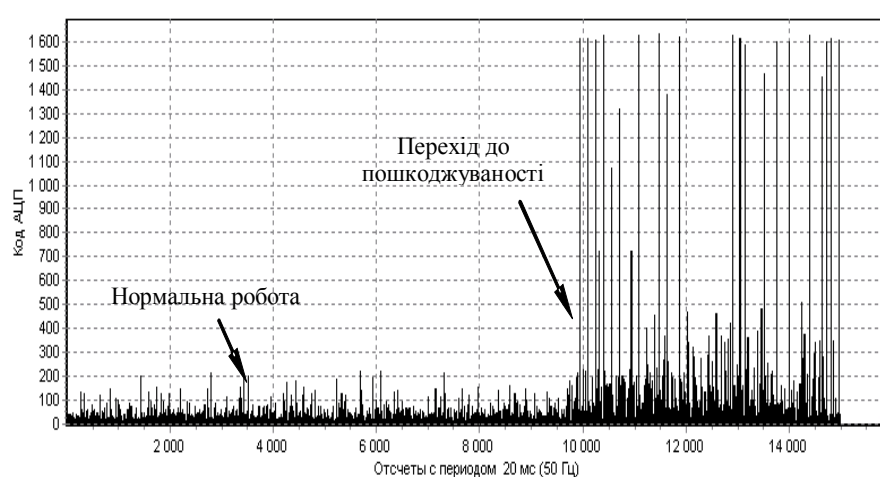
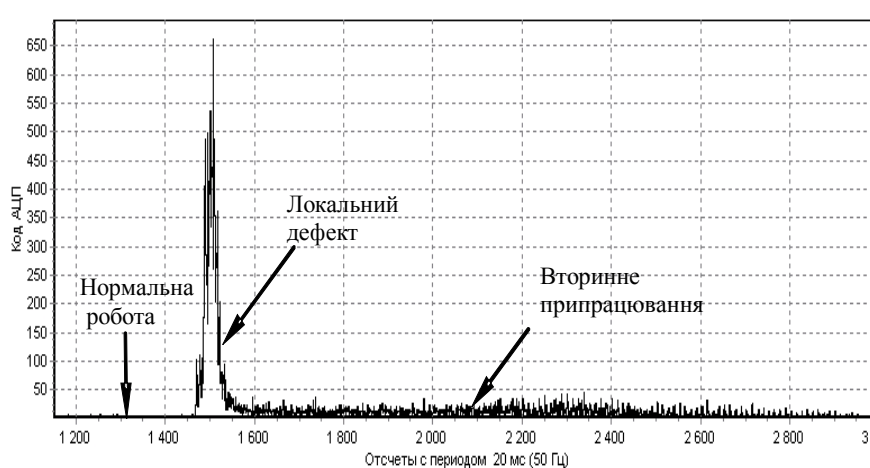


Рис. 2. Дослідний зразок інформаційно-діагностичної системи контролю пошкоджуваності рухомих з'єднань агрегатів і вузлів АТ:
 а – блок реєстрації і обробки сигналів АЕ;
 б – блок накопичення та збереження інформації АЕ



а



б

Рис. 3. Характер зміни швидкості пошкоджуваності у відносних інформаційних одиницях:
 а – при переході від нормальної роботи до пошкоджуваності; б – при локальному дефекті

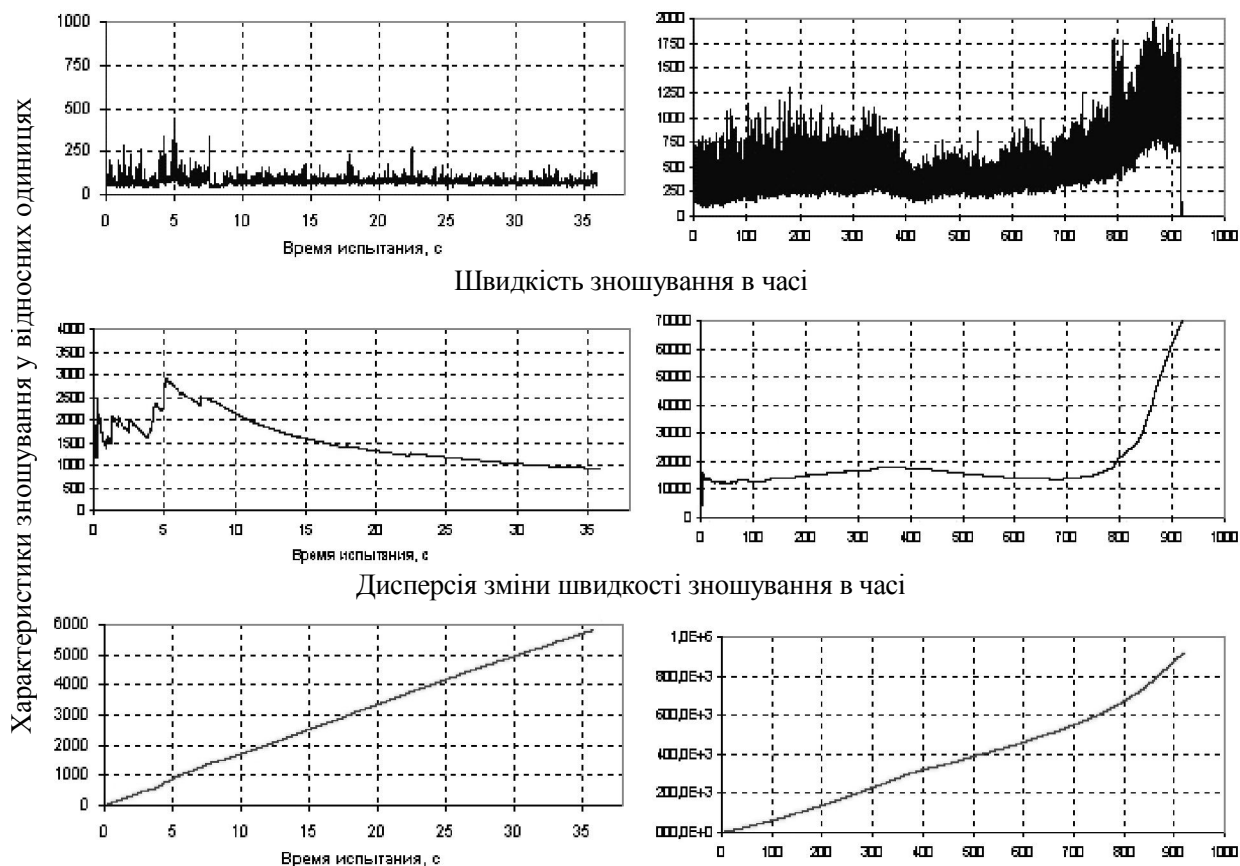


Рис. 4. Інтегральна характеристика зношування в часі

Список літератури

1. Автоматизированная сборка и анализа данных при трибомониторинге / К.В. Подмастерьев, В.В. Мишин, Е.В. Пахолкин, В.В. Марков // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: мат-лы междунар. научн.-пр. конф. – Новочеркасск: НПО «Темп», 2001. – Ч. 3. – С. 40-42.
2. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993. – 454 с.
3. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.
4. Свиреденок А.И. Акустические и электрические методы в триботехнике / под ред. В.А. Белого. – М.: Наука и техника, 1987. – 280 с.

5. Filonenko S.F. Research of influence of thermal resistance of elements of tribosystem on wearproofness of friction units / S.F. Filonenko, V.N. Stadnichenko, O.N. Troshin // Proc/ 4 world congress "Aviation in the XXI-st century" "Safety in aviation and space technology, NAU, 2010, Vol/1. – P. 12.1-12.4.

6. Запорожец В.В. Методология ускоренной оценки износостойкости образцов с электроискровыми покрытиями / В.В. Запорожец, В.Н. Стадниченко // Проблемы трибологии. – 2010. – № 4. – С. 25-32.

7. Поллок А. Металлы / А. Поллок. – 9-ое изд. – Т. 17. – ASM INTERNATIONAL. – 1989. – С. 278-294.

Надійшла до редколегії 9.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Б. Аніпко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВСТРОЕННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

В.Н. Стадниченко, Н.Г. Стадниченко, Р.Н. Джус, О.А. Гурин

В статье изложены основные положения использования метода акустической эмиссии для встроенных систем диагностики агрегатов авиационной техники. Разработан исследовательский образец такой информационно-диагностической системы. Представлен пример ее функционирования.

Ключевые слова: трибосистема, акустическая эмиссия, износ, встроенная система диагностики.

PROSPECT APPLICATION BUILT-IN CONTROL SYSTEM OF THE AVIATION AIRCRAFT TECHNIQUES WHICH BASED ON THE ACOUSTIC EMISSION METHOD

V.N. Stadnichenko, N.G. Stadnichenko, R.N. Dzhus, O.A. Gurin

In article it is considered essential principles of use acoustic emission method for built-in diagnostics systems of the aviation aircraft techniques units. Create research example of this type information-diagnostics system. Introduce example of functional.

Keywords: tribosystem, acoustic emission, wear, sensitiveness, error, built-in diagnostics systems.