

Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт
з галузей знань і спеціальностей

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ АГРЕГАТИВ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ НА ОСНОВІ МЕТОДА АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Шифр: «Діагностика»

Галузь науки: "Авіаційний транспорт"

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЕ	— акустична емісія;
АСФД	— автоматизована система функціональної діагностики;
АТ	— авіаційна техніка;
АЦП	— аналого-цифровий перетворювач;
ЕОМ	— комп'ютер;
ЗАТЗПА	— засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації;
ІВС	— інформаційно-вимірювальна система;
ІДС	— інформаційно-діагностична система;
ККД	— коефіцієнт корисної дії;
КО	— кількісна ознака;
МЕО	— метод експертних оцінок;
ОД	— об'єкт діагностування;
ОП	— операційний підсилювач;
ПМЗ	— програмно-математичне забезпечення;
ЛА	— літальний апарат;
СД	— система діагностики;
ТОП	— технічного обслуговування з контролем параметрів;
ТОР	— технічне обслуговування за ресурсом;
ТС	— трибосистема.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАСОБИ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ
АВІАЦІЇ, АКУСТИЧНА ЕМІСІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА,
АГРЕГАТИ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, БЕЗРОЗБІРНА ДІАГНОСТИКА.

Зміст

Вступ	4
1. Світовий досвід, використання методу акустичної емісії для безрозбірної діагностики агрегатів машин і механізмів.	5
2. Конструктивна схема та програмне забезпечення ІДС	10
2.1 Блок реєстрації і обробки сигналів АЕ	10
2.2 Конструктивна схема та програмне забезпечення ІДС.....	15
2.3 Блок накопичення та збереження інформації АЕ	17
3. Метрологічні особливості перетворення сигналу по каналу прийому і перетворення і реєстрації сигналів АЕ в ІДС	21
4. Правила користування ІДС	24
5. Оцінка ефективності використання ІДС для контролю технічного стану агрегатів на прикладі насосу НП-52М	26
Висновки	28
Список використаних джерел	29

Вступ

Переведення авіаційної техніки (АТ) на експлуатацію за станом неможливе без впровадження сучасних методів діагностування, застосування яких дозволить істотно підвищити ефективність контролю. Тому розробка методики безрозбірної контролю технічного стану та інформаційно-діагностичної системи (ІДС) являється актуальною задачею. Це і було об'єктом дослідження.

Найбільш прийнятним для рішення даної задачі є метод акустичної емісії (АЕ), який має ряд переваг перед іншими неруйнівними методами контролю: можливість автоматизації, діагностування дефектів на ранніх стадіях, проведення діагностування без проведення сканування поверхні об'єкту діагностування.

Методи дослідження – теоретичний аналіз використання методу АЕ в задачах безрозбірної діагностики в агрегатах АТ. Відпрацювання технічного завдання і створення опитного зразка ІДС. Проведення лабораторних та стендових випробувань ІДС для подальшого удосконалення.

В процесі досліджень проведено: аналіз існуючих методик безрозбірної діагностики агрегатів АТ, світовий досвід їх застосування, оцінка ефективності та галузі впровадження. Розроблена ІДС контролю має просту конфігурацію у порівнянні з зарубіжними аналогами, і тому має низьку вартість і малі габарити.

Безперервний контроль технічного стану агрегатів авіаційної техніки в реальному часі її експлуатації дозволяє суттєво збільшити її ресурс.

Аналіз різних підходів до прийому обробки і аналізу сигналів АЕ в різних вимірювальних системах дозволив зробити висновок, що найприйнятнішою концепцією створення ІДС є поєднання в ній аналогово-цифрової і цифрової обробки сигналів від об'єкту контролю. Згідно цієї концепції в ІДС передбачається три складових: датчик, блок прийому і обробки і блок накопичення інформації. Обробка інформації про стан технічного об'єкту контролю обробляється на ЕОМ за стандартними програмами статистичної обробки. Такий підхід дозволяє спростити програмне забезпечення, мінімізувати габарити ІДС, максимально зменшити її вартість та бути реалізований як в одно каналній, так і багатоканальній системі контролю.

1. Світовий досвід, використання методу акустичної емісії для безрозбірної діагностики агрегатів машин і механізмів

Можливість отримання інформації про процеси пружньопластичної деформації і руйнування в матеріалах зумовило до широкого використання методу АЕ в трибологічних дослідженнях і діагностики технічного стану ТС [1].

Як інформативні параметри використовують різноманітні параметри сигналів АЕ [1]:

- загальну кількість імпульсів і швидкість підрахунку;
- амплітуду; енергію сигналу;
- амплітудний розподіл сигналів АЕ;
- спектральну щільність сигналів тощо.

Кожний з цих параметрів характеризує певні сторони процесу, що вивчається.

Так, авторами роботи [1-2] отримана залежність між інтенсивністю зношування та загальною кількістю імпульсів АЕ:

$$I_h = \frac{k \cdot N_{\Sigma}^b}{W} \cdot P_a, \quad (1.1)$$

де I_h – інтенсивність зношування;

W – середня потужність сигналів АЕ;

P_a – навантаження.

Однак авторами цієї роботи не встановлений час на якому визначається усереднення потужності АЕ випромінювання та не розроблено методику розрахунку запропонованого параметру АЕ.

Крім того, одночасний багатопараметричний аналіз не уявляється можливим, і тому прагнуть використати невеликий набір параметрів, що б достатньо повно характеризували трибологічну систему.

Систематизація основних досягнень [3] в цій області, здійснена в роботах Свиридзонка А.И. що дозволила провести розмежування джерел АЕ при фрикційній взаємодії вузлів тертя.

Встановлено, що водночас з сигналами АЕ від процесів фрикційної взаємодії в приймально-підсилювальний тракт апаратури, що реєструє надходять сигнали від електромагнітних, акустичних і механічних перешкод. Сигнали з великою амплітудою і малим числом викидів виникають в результаті впливу зовнішніх електромагнітних перешкод. Сигнали з відносно невеликими амплітудами але з більшим числом викидів характерні для механічних шумів.

Для виділення сигналів АЕ з шумів найбільш часто використовують частотну фільтрацію і амплітудну дискримінацію [1-2]. Амплітудна дискримінація сигналів АЕ здійснюється шляхом введення в апаратуру рівня порогу, тобто апаратура пропускає на вихід тільки ті сигнали, амплітуда яких перевищує деякий заданий рівень. Однак обґрунтування рівня порогу дискримінації за амплітудою є важливою умовою отримання достовірних результатів.

В роботі [4] запропонований підхід щодо обґрунтування рівня амплітудної дискримінації, який оснований на адаптації системи «об'єкт дослідження – прилад». Рівень амплітудної дискримінації встановлювався в даній роботі за умови отримання максимального значення коефіцієнта кореляції між досліджуваними параметрами АЕ та параметрами, що характеризують роботу ТС. Енергія сигналів АЕ в цій роботі розраховується в умовних одиницях:

$$w = k_d A^2, \quad (1.2)$$

де A – максимальна амплітуда імпульсу АЕ;

k_d – безрозмірний коефіцієнт, що пропорційний тривалості сигналів.

Однак, з роботи не ясно, яким чином відбувається адаптація та визначається k_d . Крім того, даний підхід вимагає великого обсягу трібологічних досліджень і матеріальних витрат.

Наведені дані з адаптації системи «об'єкт дослідження – прилад» [4] суперечать раніше зробленим допущенням автора, що статистичні характеристики амплітудного розподілу АЕ не залежать від коефіцієнта підсилення приймально-підсилювального тракту. Однак вплив коефіцієнта підсилення приймально-підсилювального тракту на статистичні параметри АЕ є складним і недостатньо вивченим питанням.

Найбільш повно розроблена теоретична модель АЕ при ударній взаємодії мікронерівностей [5], що дозволила встановити залежність енергії джерел АЕ від фізико-механічних властивостей матеріалів і умов взаємодії елементів ТС.

З усіх опублікованих робіт з використання методу АЕ більша частина присвячена питанням руйнування [5]. Це пояснюється, передусім тим, що при розповсюдженні тріщини в виділяється значна пружна енергія, що полегшує її реєстрацію.

Стосовно до фрикційного руйнування (зношування) матеріалів в роботах здійснена спроба встановити взаємозв'язок між параметрами АЕ і кількістю часток зношування. За вхідну передумову була прийнята наступна: кожна пляма дотикання є джерелом акустичного випромінювання, параметри якого визначаються його площею і напруженим станом. Реальними джерелами АЕ, в цьому випадку, можуть бути плями контакту, що руйнуються з відокремленням часток матеріалу. В результаті встановлено, що енергія, яка виділяється при відокремленні частки зношування, пропорційна енергії елементарного акустичного джерела, що виникає на цій плямі.

Згідно з даними робіт [5-6], серед чинників, що виявляють значний вплив на характер зміни параметрів АЕ при поверхневому руйнуванні є геометричні, фізико-механічні, механічні і хімічні. Серед них найбільш важливим є геометричний чинник, бо він визначає розподіл контактних напруг на поверхневих шарах взаємодії мікрооб'ємів і, як наслідок, змінює амплітудні і спектральні характеристики АЕ.

В роботі [6] зроблено спробу пояснити вплив масштабного чинника на прикладі дослідження залежності параметрів АЕ від зміни фактичної площі контакту (ФПК). Встановлено, що характер залежності сумарної лічби АЕ від величини ФПК зберігається для всіх досліджуваних матеріалів і характеризується її непропорційним зростанням. Це пояснюється зростанням обсягу пластично деформованих областей і підвищенням взаємного впливу плям контакту.

Відсутність даних з взаємозв'язку параметрів АЕ з геометричними параметрами зразків дали підставу (як основну вимогу щодо використання методу АЕ у трибологічних дослідженнях) дотримуватися незмінності умов контакту ТС

на протязі всієї серії експериментів. В подальшому вся різноманітність геометрії пар тертя узагальнена авторами роботи [7] коефіцієнтом форми ТС. Встановлення взаємозв'язку між параметрами АЕ і коефіцієнтом форми ТС дозволило б застосувати результати модельних досліджень для вирішення прикладних задач діагностики реальних ТС.

Другим чинником є фізико-механічний чинник, який характеризується відношенням тангенціальної міцності молекулярного зв'язку до межі плинності матеріалу основи.[5]

Зокрема, якщо міцність зв'язку вище міцності нижче розташованого матеріалу, то порушення зв'язку відбувається не на поверхні розподілу двох тіл, а у глибині основного матеріалу і супроводжується імпульсами великої амплітуди .

Для того, щоб врахувати вплив фізико-механічних властивостей матеріалів на показники АЕ, в роботах[5-6] визначали питомі параметри, що є коефіцієнтами в лінійних рівняннях, які встановлюють зв'язок між зносом і значеннями параметрів АЕ, що реєструються.

До механічних чинників потрібно віднести вплив швидкості ковзання на параметри АЕ. Встановлено, що енергія акустичного випромінювання пропорційна квадрату швидкості розвитку дефекту.

Багато з дослідників вважають, що оцінити вклад різноманітних джерел у загальну енергоємність АЕ не є можливим. Однак в роботі вперше здійснена спроба такого розподілу при реєстрації АЕ в процесі припрацювання ТС при котінні з проковзуванням. Авторами[5] була отримана залежність між інтенсивністю акустичної емісії з трибологічними параметрами у вигляді:

$$j_w = \eta \frac{k_\phi \sigma_0^2 v n_s}{f_\tau (1 - k_\phi)} \exp \left\{ - \left[\frac{\sigma_0}{b f_\tau} + 8 \pi^2 \gamma R_2 (1 - k) \right] \right\}, \quad (1.3)$$

де n_s – концентрація осциляторів;

η – частина потоку акустичного випромінювання, яка досягає зовнішню поверхню трибосистеми;

b – поперечний розмір осцилятора;

k_ϕ – коефіцієнт форми;

v – переміщення поверхонь тертя.

Зменшивши рівень проковзування авторам роботи [8] вдалося знизити рівень активації поверхонь тертя і чітко зафіксувати чотири етапи припрацювання. На першому етапі в процесі навантаження відбувалася інтенсивна пластична деформація, що супроводжувалася випромінюванням сигналів АЕ з великою амплітудою.

На другому етапі відбувалося утворення захисних вторинних структур і зміцнення підповерхневих шарів. Ці процеси супроводжувались значним зниженням рівня сигналів АЕ.

Третій етап, названий автором роботи, «латентним», мав тривалість від 5 до 20 хв при різноманітних умовах випробувань, і супроводжувався випромінюванням сигналів АЕ на дуже низькому рівні, який був обумовлений процесами пружньопластичної деформації і накопичуванням мікропошкоджень.

На четвертому етапі відбувався лавиноподібний зріст параметрів АЕ з наступною стабілізацією після припрацювання. Рівень сигналів в цьому випадку зростав у порівнянні з латентним періодом на декілька порядків.

Таким чином, вдалося експериментально підтвердити результати теоретичних досліджень, згідно з якими рівень сигналів АЕ від пружньопластичної деформації на декілька порядків нижче рівня сигналів від поверхневого руйнування.

Значний рівень сигналів АЕ у процесі навантаження можна пояснити когерентним спрацюванням джерел АЕ при пластичній деформації у великих об'ємах, що надає можливість контролювати її рівень під час експлуатації широкого класу фрикційних вузлів.

Отже, висока чутливість методу АЕ до процесів поверхневого руйнування робить перспективним його використання для контролю технічного стану та діагностики ТС ряду вузлів машин і механізмів.

2. Конструктивна схема та програмне забезпечення ІДС

2.1. Блок реєстрації і обробки сигналів АЕ

Аналіз апаратних засобів показує, що можна виділити три напрями в організації вимірювання і обробки акустико емісійної інформації, що поступає. Вони базуються на загальній концепції, термінах і визначеннях акустичної емісії (АЕ): аналоговий, аналого-цифровий і цифровий.

В блоках аналогової обробки проводиться вимірювання параметрів перетворення сигналів в діагностичний критерій (усереднена спектральна потужність) на певних інтервалах часу і подальший вивід інформації через інтерфейс (8, рис.2.1.1, а)).

В аналоговому способі організації вимірювання і обробки сигналів АЕ для отримання якої-небудь залежності зміни параметрів, що реєструються проводиться жорстка апаратна реалізація обчислювального алгоритму. При цьому передбачається деяка свобода в регулюванні початкових умов [9] : порогу обмеження, частотної смуги пропускання, коефіцієнта посилення і інших, але вона не дозволяє здійснювати принципові зміни самого алгоритму обробки. Жорстка апаратна реалізація алгоритмів володіє достатньо великою швидкістю.

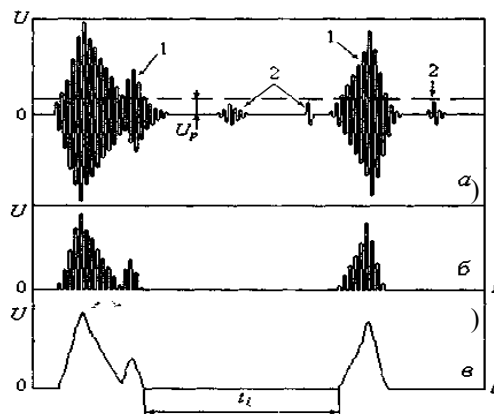


Рисунок 2.1.1 – Сигнали АЕ на виході блоків обробки: а) основного підсилювача (1 – сигнали АЕ, 2 – сигнали перешкод, U – поріг обмеження); б) амплітудного дискримінатора; в) детектора (t_i – часова відстань між сигналами)

В аналого-цифровому способі прийом, посилення і обробка сигналів АЕ проводяться аналогічно вище описаному. Інформація з виходу блоків аналогової обробки (7, рис.2.1.1, б)) перетворюється в цифрові коди, з використанням блоків цифрових перетворень (8), і подальшим їх записом в ЕОМ (9). Фактично в ЕОМ

проводиться запис або введення цифрових значень аналогових діаграм зміни параметрів АЕ з прив'язкою до часу (до конкретних умов роботи об'єкта дослідження) з дискретністю, що дозволяє здійснювати їх відновлення з мінімальними помилками. Перетворення аналогових діаграм в цифровий код дозволяє проводити автоматизацію збору, накопичення і статистичну обробку інформації для пошуку кореляційних зв'язків між параметрами імпульсних потоків АЕ. До параметрами діаграм деформації матеріалів.

Цифровий спосіб є складнішим. Він базується на розробці певних концепцій, створенні жорстких алгоритмів і програмних продуктів для аналізу і висновку інформації, а так само систем управління і систем контролю за станом апаратури. В загальному випадку його схема приведена на рис.2.1.1, в). Прийом, посилення і виділення сигналів АЕ проводиться аналогічно описаному вище. З виходу дискримінатора (5) і детектора (6) сигнали АЕ поступають в блоки цифрових вимірювань (7), які виконують цифрові вимірювання значень параметрів імпульсних потоків, відповідно до прийнятих концепцій [12]. Значення, що вимірюються накопичуються в буфері (9) з подальшою їх передачею ЕОМ (центральний процесор) (10). Управління процесом виділення сигналів АЕ, вимірювання їх параметрів, накопичення даних в буфері і передачі їх значень в центральний процесор здійснюється мікропроцесором управління (8), який працює по жорсткому алгоритму. У цьому випадку найбільш простим варіантом обробки накопиченої інформації в ЕОМ є принцип збору інформації у програмі Excel (наприклад кожного десятого імпульсу), це дає можливість зекономити на часі обробки інформації і впливає на зменшення об'ємів накопичування інформації.

Проведений аналіз різних підходів до прийому обробки і аналізу сигналів АЕ в різних вимірювальних системах дозволив зробити висновок, що найприйнятнішою концепцією створення інформаційно-діагностичної системи (ІДС) є поєднання в ній аналогово-цифрової і цифрової обробки сигналів від об'єкту контролю. Згідно цієї концепції в ІДС передбачається три складових: датчик, блок прийому і обробки і блок накопичення інформації. Обробка інформації про стан технічного об'єкту контролю обробляється на ЕОМ за стандартними програмами статистичної обробки. Такий підхід дозволяє спростити програмне забезпечення, мінімізувати габарити ІДС . і

максимально зменшити її вартість. Даний підхід може бути реалізований як в одноканальній так і багатоканальній системі контролю.[10-11]

Блок схема каналу реєстрації й обробки сигналів АЕ інформаційно-вимірювального комплексу трібодіагностики, відповідно до розглянутого вище, наведена на рис.2.1.2.

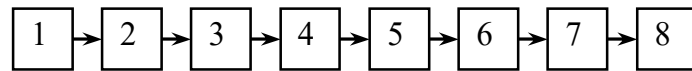


Рисунок 2.1.2 – Структура каналу реєстрації і обробки АЕ в ІДС з оптимізацією параметрів

1 – датчик АЕ; 2 – попередній підсилювач; 3 – смуговий фільтр, 0,2...1 МГц; 4 – підсилювач із порогом нечутливості до власних шумів машини тертя; 5 – випрямляч посиленого сигналу; 6 – блок обчислення середнього значення в ковзному вікні; 7 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 8 – пристрій зв'язку з послідовним інтерфейсом.

Канал реєстрації і обробки сигналів АЕ повинен бути орієнтований на максимальне використання гнучких програмних засобів, які забезпечують контроль стану устаткування, а також управління процесами вимірювань, обробки, аналізу інформації і надання її результатів. Реалізація даної концепції може бути здійснена на поєднанні максимальних можливостей сучасних засобів обчислювальної техніки, і технології «MathCad».

Кожний з даних пристроїв можна розглядати як незалежний модуль, що виконує певні функції. Причому тракт посилення сигналів АЕ працює по «жорсткому незмінному алгоритму», а весь процес вимірювання і обробки інформації будується на забезпеченні спільної роботи спеціалізованого модуля аналогової і попередньої цифрової обробки і ЕОМ.

Зв'язок спеціалізованого модуля аналогової і попередньої цифрової обробки і ЕОМ здійснюється за окремим послідовним інтерфейсом RS 232 за допомогою програмних засобів з використанням спеціального програмно-математичного забезпечення (ПМЗ).

Такий підхід дозволяє зробити розподіл функцій між пристроями каналу реєстрації і обробки сигналів АЕ за їх призначенням і виконанням операцій, а саме:

проведення вимірювань і передача даних; збереження даних, їх обробка і формування результатів, аналіз і відображення інформації, контроль і управління всіма процесами. Розподіл функцій забезпечує поєднання різних пристроїв, яке направлене на отримання максимальної початкової інформації в первинному вигляді з можливістю наступної багаторазової вторинної обробки.

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 АЕ в процесі зношування трибосистеми (ТС), з послідовним записом і збереженням кожного результату вимірювання на пристрої запам'ятовування (жорсткому диску ЕОМ).

В безперервному режимі роботи об'єм первинної інформації, який реєструється, визначається частотою опитування датчика АЕ. При збереженні інформації у вигляді низькочастотного сигналу, з частотою опитування 25...50 Гц, об'єм даних, який отриманий протягом 100 годин випробувань на тертя і зношування, складає 50...100 Мбайт. При збільшенні частоти опитування, пропорційно збільшується об'єм даних і може обчислюватися десятками Гбайт, що обмежуватиметься об'ємом запам'ятовування і можливістю обробки великих масивів даних обчислювальною технікою.

При цьому збереження початкової інформації на пристрої запам'ятовування дозволяє проводити гнучку, багаторазову вторинну обробку з використанням ПМЗ. Такий підхід забезпечує отримання максимальної кількості оброблюваних параметрів АЕ. Таким чином, важливою задачею є обґрунтований вибір частоти опитування датчика АЕ і датчиків інших параметрів.

Коротко розглянемо принцип роботи каналу. При реєстрації кінетики процесів ТС при терті, пружні зрушення, які виникають у матеріалі, перетворюються датчиком АЕ, виконаному з п'єзокераміки ЦТС-19, у електричний сигнал (1...10 мВ). Аналіз спектра сигналу за допомогою запам'ятовувального осцилографа Rigol DS1052E показує, що основна енергія АЕ випромінювання зосереджена в діапазоні 200...1000 кГц. Далі слабкий сигнал датчика АЕ підсилюється широкополосним попереднім

підсилювачем 2.

Фільтр 3 має смугу пропускання, у якому в меншому ступені позначаються власні шуми машини тертя, що є складовою частиною ІДС. Поріг нечутливості каскаду 4 устанавлюється так, щоб реєструвати тільки сигнал АЕ, що виникає в процесі тертя.

Випрямляч 5 перетворює двохполярний сигнал в однополярний для наступного формування огинаючої (інтеграція) у блоці 6. Отриманий низькочастотний сигнал, що несе інформацію про зміну рівня АЕ, перетворюється АЦП 7 у послідовність цифрових звітів. Ці звіти з модуля 7 надходять у модуль 8, що визначає період АЦП модулем 7, і забезпечує зв'язок із блоком керування, обробки і реєстрації.

До складу ІДС з попереднім перетворенням фізичної величини, що вимірюється, входять наступні основні блоки: вхідний пристрій вимірювальний перетворювач (проводить обробку сигналу, що вимірюється, і формує аналогове значення потужності АЕ), АЦП, блок управління, блок індикації, процесор (або блок вторинної обробки сигналів), пристрій, що запам'ятовує і/або ЕОМ.

Однієї з найважливіших операцій, від якої істотним чином залежить точність і чутливість ІДС, є перетворення аналогового сигналу усередненої спектральної потужності АЕ в цифровий сигнал. АЦП припускає виконання трьох операцій: дискретизацію, квантування і цифрове кодування величини, що вимірюються, і функціонально пов'язаної з нею інформацією. В ІДС використаний АЦП прямого перетворення, побудований по розімкненій структурній схемі, яка не має зворотного зв'язку з виходу на вхід. В той же час окремі елементи структурної схеми ІДС охоплені зворотним зв'язком, типова структурна схема, приведена на рис. 2.1.3.

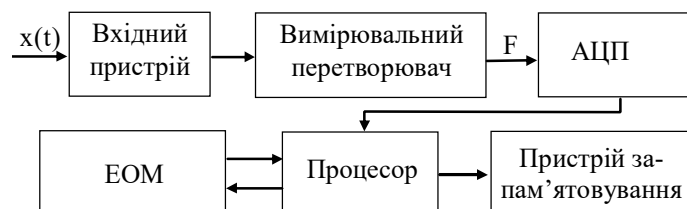


Рисунок 2.1.3 – Структурна схема одноканальної автоматизованої системи функціональної діагностики (АСФД)

Вхідний пристрій для зменшення перешкод має високе вхідне опори, лінійне перетворення вхідного сигналу $x(t)$ з аналогового в цифровий з урахуванням

автоматичного вибору межі вимірювань відбувається в АЦП відповідного рівня розрядності. Від рівня розрядності залежить номінальна ціна одиниці якнайменшого розряду, яка пов'язана з дозволом (чутливістю) ІДС, яка залишається постійною для кожної межі вимірювань.

Залежно від розділової здатності і точності у відліковому пристрої ІДС передбачено певне число десяткових розрядів відліку вимірювання параметра (усередненої спектральної потужності), що діагностується, від якої також залежить чутливість ІДС.

2.2 Конструктивна схема та програмне забезпечення ІДС

Загальна характеристика дослідного зразку вбудованої системи безрозбірної діагностики агрегатів АТ на основі методу АЕ (табл. 1).

Таблиця 1

Показники	Характеристика
Вхідний опір.....	1 МОм
Чутливість входу.....	10 мкВ
Частотний діапазон.....	200...2000 кГц
Коефіцієнт підсилення.....	65...90 дБ
Динамічний діапазон.....	40...65 дБ
Крок дискретизації.....	20 мс
Величина відносної похибки.....	0,7 %

Комплектність:

1. Датчик тип ДИСМ-1 (широкополосний п'єзоелектричний перетворювач) з робочою полосою частот 200...2000 кГц, вхідний опір – $2,3 \cdot 10^{-11}$ Ом, нерівномірність АЧХ – 8,5 дБ, ємність – 1,45 нФ, чутливість – 125 мВ/м·с².

2. Блок реєстрації і обробки сигналів АЕ.

3. Блок накопичення та збереження інформації АЕ.

4. Блок реєстрації і обробки сигналів АЕ

Для посилення і перетворення сигналів АЕ використані операційні підсилювачі. Ведучі позиції в цій області займає фірма Analog Devices. Широкий

діапазон частот, малий рівень шумів, малі габарити, діапазон Rail-to-Rail по входу і виходу, мала споживана потужність визначили використання операційний підсилювач AD8032. Типові схемні рішення для реалізації функцій блоків на операційному підсилювачі пропонуються фірмою-виробником. АЦП із заданими характеристиками, реалізований на MCP3304 з послідовним інтерфейсом. В схемі використовується мікроконтролер з ядром AVR фірми Atmel – Attiny 2313, який має в своєму складі універсальний асинхронний приймач-передавач для зв'язку з послідовним каналом, а також інтерфейс SPI для управління АЦП. Зовнішній вигляд блок реєстрації і обробки сигналів АЕ в ІДС представлений на рис.2.2.1

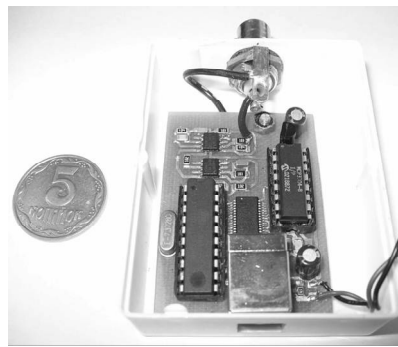


Рисунок 2.2.1 – Блок реєстрації і обробки сигналів АЕ в ІДС

Дане конструктивне рішення блоку реєстрації і обробки ІДС дозволяє накопичувати інформацію за весь час експлуатації об'єкту контролю з урахуванням виконання ремонтно-профілактичних робіт на ньому. Тобто перейти на експлуатацію контрольованих об'єктів по технічному стану.

ІДС дозволяє, реєструвати величину зносу починаючи з відділенням першої частинки з поверхні тертя, це по суті нанотехнологія у вимірюванні швидкості зношування. При реєстрації пошкоджень рівень сигналу зростає на порядки. Таким чином, використання ІДС заданої структурної схеми дозволяє виявити дефекти на ранній стадії їх розвитку.

Перетворення аналогового сигналу в цифровий сигнал у використаному ІДС АЦП має ряд особливостей.[12] Механізм квантування сигналів можна представити наступною схемою(рис. 2.2.2). Реєстрації вимірювання сигналів АЕ оцінюється кодом АЦП (у відносних одиницях n), який є рівнем усередненої потужності АЕ. Час усереднювання визначається частотою зрізу фільтру низьких частот.

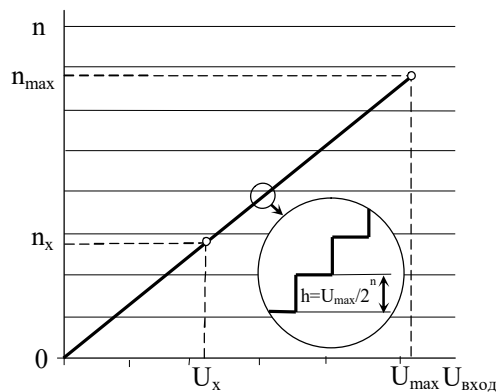


Рисунок 2.2.2 – Схема перетворення аналогового сигналу усередненої спектральної потужності в цифровий сигнал

Цифрове кодування в АЦП здійснюється двійковим кодом. Двійковий код використаний, оскільки він близький до оптимального за часом обчислювальних операцій [12]. Критерієм оптимальності двійкового коду є мінімізація утворення системи числення h на кількість розрядів l , тобто при даній системі кодування hl прагне до мінімуму.

2.3 Блок накопичення та збереження інформації АЕ

В системі блоку накопичення ІДС використовували хост-контролер USB сімейства Vinculum – VNC2 (рис. 2.3.1), який орієнтований на використання у вбудовуваних додатках, де потрібен функціонал USB-хосту, наприклад для роботи з USB флеш-дисками. Ресурсів VNC2 цілком достатньо, щоб грати роль центрального процесора в невеликих і невимогливих до ресурсів додатках. При всій розширених можливостях нового хост контроллера VNC2 його вартість істотно нижче в порівнянні з попередником. Це явилось однією з причин використання даного хост-контроллера в ІДС.[10-11]



Рисунок 2.3.1 – Блок накопичення інформації ІДС
на основі хост-контролера VNC2

Хост-контролер став рішенням, яке дозволило інтегрувати підтримку USB-

хоста у вбудовуванні додатки, реалізовані на базі 8 і 16 розрядних контролерів. Vinculum і є готовим апаратно-програмним рішенням з можливістю вибору виконуваної програми, яка і визначає поточні функціональні можливості.

Хост-контролер Vinculum II є системою на кристалі, що включає:

- 16 розрядне процесорне ядро, виконане по Гарвардській архітектурі;
- два блоки USB, які можуть виконувати функції периферійного пристрою або хост-контролера;
- набір інтерфейсних модулів (UART, 2 SPI slave, SPI master, паралельний 8 розрядний FIFO, інтерфейс налагоджування (рис. 2.3.2));
- мультиплексор, призначений для комутації внутрішніх блоків контролера і зовнішніх висновків;
- 4 канали прямого доступу до пам'яті (DMA);
- флеш-пам'ять розміром 256 кбайт і 16 кбайт ОЗУ.

Розробка програми для Vinculum II нагадує розробку програми для операційної системи Windows або Linux. Фізичні пристрої приховані від програміста, управління ними здійснюється за допомогою драйверів, доступ до яких забезпечується API-функціями.

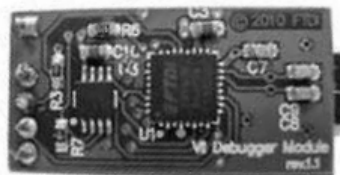


Рисунок 2.3.2 – Налагоджувальний модуль хост-контролера VNC2

Це дозволяє, не вдаючись в труднощі освоєння периферії контролера, повністю концентруватися на розробці свого додатку. В загальному вигляді доступ до драйверів здійснюється за допомогою двох функцій: `vos_dev_write()` і `vos_dev_read()`. Вказані функції звертаються до драйвера необхідного периферійного блоку контролера, а драйвер проводить обмін даними з вказаним блоком. Такий підхід спрощує освоєння контролера і модифікацію додатку, наприклад, при зміні одного інтерфейсу на інший.

Отже, програмне забезпечення комплексу трибодіагностики має ієрархічну структуру. В міру збільшення щільності, росте число рівнів і число програмних

модулів.

Спеціальне ПМЗ для персонального комп'ютера створюється на основі комплексу алгоритмів у вибраному середовищі програмування під управлінням Windows з використанням функцій WinAPI. Функції WinAPI забезпечують:

- обмін по стандартних інтерфейсах – RS-232, LPT порт, USB порт та ін.;
- побудова графічних елементів інтерфейсу користувача (кнопки, елементи вибору, графіки, панелі та ін.);
- створення файлів, запис їх на носії та їх читання;
- організацію таймерів для тимчасової синхронізації процесів;
- обмін даними між додатками через буфер, створення і закриття вікон додатків.

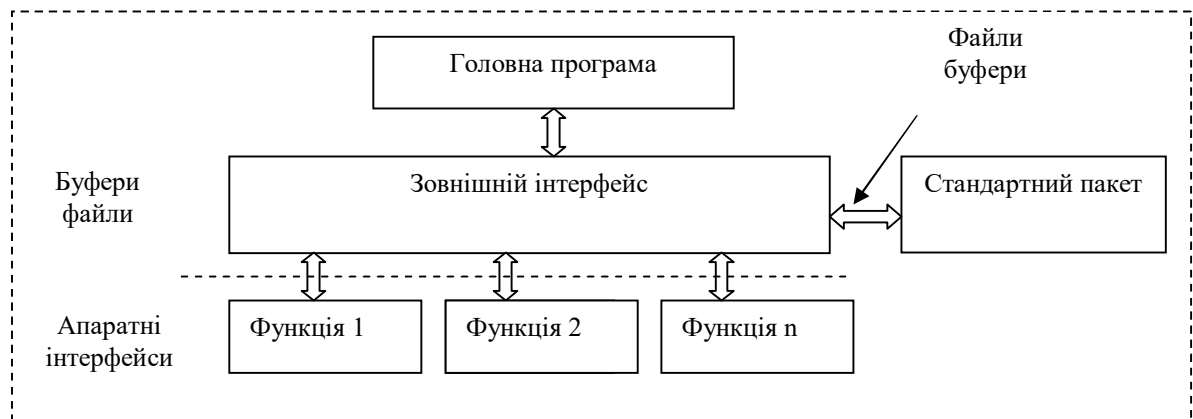


Рисунок 2.3.3 – Структура пакету програм з обміном даних через зовнішні буфери, файли або апаратні інтерфейси

Програмне середовище дозволяє побудувати набір спеціальних програм, що реалізують комплекс алгоритмів, або всі алгоритми, що реалізуються за однією програмою – інтегрованому робочому середовищі. Як показав аналіз проведений в роботі [1] з погляду користувача найзручніше використовувати інтегроване робоче середовище. Проте, в цілях незалежного використання окремих функцій, їх модернізації переважно є використання пакету прикладних програм, при цьому, виникає завдання оптимізації взаємодії елементів пакету програм, синхронізації даних, що використовуються, тобто організації програмного інтерфейсу.

Для мікроконтролерів, що використовуються в ІДС трибодіагностики необхідні засоби налагодження програм з метою досягнення параметрів технічного завдання.

Засоби по налагодженню дозволяють відстежувати хід виконання алгоритму, проміжні стани елементів мікроконтролеру, оцінювати тимчасові параметри ділянок алгоритмів. Ці завдання вирішуються з використанням симуляторів – програмних модулів мікропроцесорних пристроїв. Програмні симулятори входять до складу багатьох компіляторів – IARC, Algorithm Builder, Image Craft C та ін. Їх використання дозволяє виконати аналіз коду виконання програм з метою виявлення логічних помилок і їх усунення.

Як показує досвід створення і експлуатації діагностичних систем і комплексів найскладніше виявляти помилки, що виникають в процесі виконання алгоритмів в реальній системі [1-2]. На цьому етапі застосовуються внутрішньосхемні емулятори, які на апаратному рівні моделюють роботу, дозволяють зупиняти процес обчислення в заданих точках і аналізувати стан комплексів трибодіагностики. Такі апаратні засоби найбільш дорогі, вимагають додаткових програмних засобів підтримки і високої кваліфікації розробника.

Число помилок збільшується у міру ускладнення алгоритмів, тому раціональна побудова алгоритмів полегшує написання і налагодження програм. При побудові ІДС використано програмне середовище Delphi, яке має вбудовані засоби локального налагодження, що полегшує створення ПМЗ ІДС трибодіагностики.

Слід зазначити, що програмне забезпечення також має помилки, які не можливо виявити на етапі налагодження. Велика частина цих помилок вноситься компіляторами, які при певних наборах кодів можуть генерувати помилкові послідовності команд. Таким чином, необхідним етапом створення ПМЗ є тестування як окремих модулів і функцій, так і комплексне тестування, що і вирішене розробленим ПМЗ ІДС трибодіагностики. Це потребувало створення додаткового тестового ПМЗ і методик тестування. Кінцевою метою було отримання комплексу програмно-апаратних засобів, що повною мірою реалізують покладені на ІДС трибодіагностики функції.

3. Метрологічні особливості перетворення сигналу по каналу прийому і перетворення і реєстрації сигналів АЕ в ІДС

Метрологічна оцінка вимірювального тракту ІДС проведеного на підставі методики [13], а також після реалізації заходів щодо зниження похибок викладених вище показали, що похибки вимірювання потужності сигналів АЕ і пов'язаної з нею інформації про швидкість зношування ТС знаходиться на рівні 0,7%. Величина похибки залежить також від характеру залежності міри пошкодження і діагностується параметром, що вимірюється (лінійна, нелінійна залежність).

Статистична похибка через кінцеву тривалість спостереження випадкового процесу без знання виду кореляційної функції δ_f оцінюється за формулою:

$$\delta_f \sqrt{\theta} = \sqrt{2 \sum_{v=1}^n \frac{1}{v!} \frac{[\Phi_v(\xi)]}{[\Phi(\xi)]}}, \quad (3.1)$$

де $\theta = \frac{T}{\tau_{kx}}$, T – тривалість спостереження;

τ_{kx} – інтервал кореляції досліджуваної функції $x(t)$;

$\Phi_v(\xi)$ – похідна інтеграла імовірності $\xi = \frac{x}{\sigma_x}$.

Визначення $\hat{O}_v(\xi)$ здійснюють за допомогою поліномів Ерміта.

Практичні розрахунки показують, що даний вид погрішності δ_f в середньому не перевищує 1,2%.

В роботі показано, що при обмеженні тривалості реєстрації сигналів АЕ, величина похибки енергії і потужності сигналів при різних механізмах руйнування поверхневого шару не перевищує 0,002%.

Оцінка меж допустимих значень основних похибок ІДС, приводиться за формулою:

$$\delta_{ia} = \pm \sum_{i=1}^n |\delta_{ia}|, \quad (3.2)$$

де серед існуючих похибок δ_{ia} можуть бути як адитивні, так і мультиплікативні.

Метод АЕ є непрямим методом і для того, щоб представити результати в одиницях вимірювання зносу необхідно встановити взаємозв'язок зносу і інтегральної характеристики АЕ у вигляді параметра питомої емісійної активності, величина зносу в даній роботі визначалася ваговим методом, який має свою погрішність.

Визначення цих похибок, які носять інструментальний характер зв'язаних, з використанням ІДС зв'язані з визначенням взаємозв'язку інформаційного параметра реєстрованого в процесі діагностики рухомих сполучень з величиною їх швидкості зношування.

Проведена авторами в роботі, дозволила встановити, що похибки даного методу знаходяться в межах величини, питомої емісійної активності випробовуваних матеріалів в даній роботі вона знаходилася в межах 2...2,5%, яка пов'язана як з фізико-механічними властивостями матеріалів, так і з масштабом процесу зношування. Оскільки в цьому випадку випробуванням піддавалися матеріали, близькі по своїх фізико-механічних властивостях, масштаби зміни цих меж визначені не були. Подальші дослідження, проведені на матеріалах які істотним чином відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями показали, що параметри питомої емісійної активності можуть відрізнятися на порядки.

Таким чином, в ІДС жорсткий алгоритм перетворення аналогового сигналу АЕ передбачає встановлення фіксованого рівня дискримінації сигналів АЕ від процесів руйнування в обмеженій смузі пропускання від 200 кГц і більш відповідно до амплітудно-частотної характеристики датчика.

Жорсткий алгоритм роботи АЦП передбачає встановлення смуги дискретизації прийому сигналів за часом реєстрації і квантування їх рівня.[12]

Задана в ІДС дискримінація обумовлена величиною апертурної помилки (інтервал часу $T_{ai} = t'_q - t_q$, в якому зберігається невизначеність між заданим і реальним відліком миттєвого значення сигналу $x(t)$).

Вона пов'язана з кінцевим (не нульовим) часом перетворення в АЦП будь-якого миттєвого значення вхідного сигналу і його зміна за час перетворення в АЦП. Схематично поява даної помилки показана на рис. 3.1.

Апертурна помилка (динамічна) $\Delta\delta_{\text{а}}(t_q)$ у момент дискретизації рівна:

$$\Delta\delta_{\text{а}}(t_q) = x(t'_q) - x(t_q). \quad (3.3)$$

Погрішність запізнювання можна оцінити по формулі:

$$\Delta x_{\text{а}}(t_q) = x'(t_q) T_{\text{ап}}, \quad (3.4)$$

де $x'(t_q)$ – швидкість зміни функції (сигналу) $x(t)$ в точці .

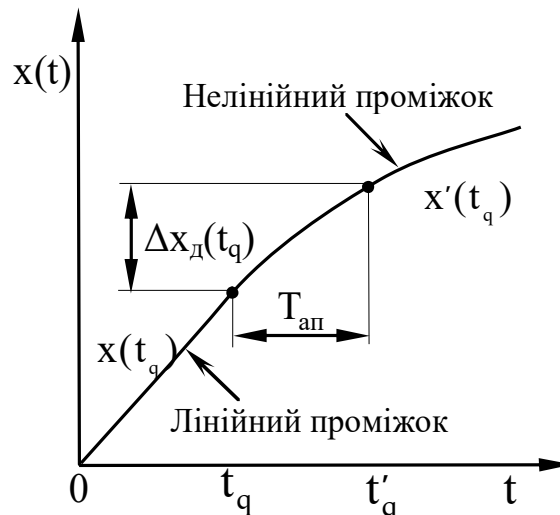


Рисунок 3.1 – Пояснення до апертурної помилки

Для зменшення апертурної помилки в ІДС робоча швидкість АЦП підбиралася виходячи з максимальної швидкості зміни (частотного спектру) вхідного сигналу. Крім того, максимальне значення часу перетворення $T_{\text{ап}}$ в АЦП забезпечується таким, щоб максимальна помилка сигналу $\Delta x_{\text{д max}}$, що вимірюється, за цей період часу не перевищувала рівень квантування $\Delta x_{\text{кк}}$. Тобто умова дискретизації в ІДС записується як:

$$|\Delta x_{\text{а max}}| \leq \Delta x_{\text{кк}}. \quad (3.5)$$

4. Правила користування ІДС

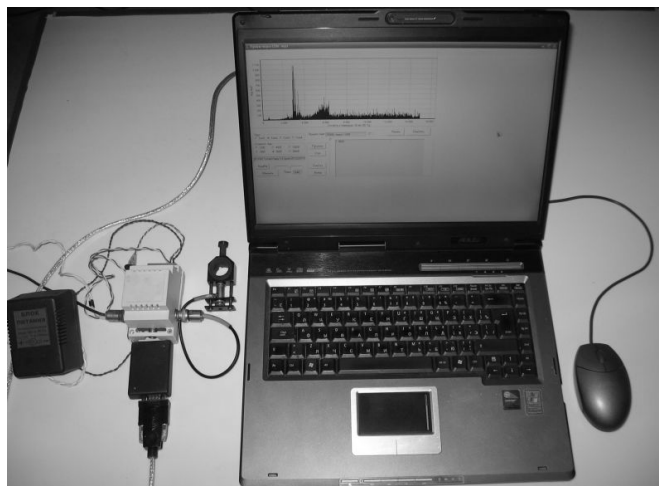
ІДС може бути виконаний в різних варіантах як для роботи в автономному режимі так в складі системі АСФД.

Даний підхід доцільно використовувати на найбільш відповідальних агрегатах АТ. В цьому випадку використання ІДС зводиться тільки до зйому накопиченої інформації в блоці накопичення інформації (наприклад флеш-карта та ін.), після наробітку агрегатів з наступною обробкою на ЕОМ з використання стандартних програм статистичної обробки даних.

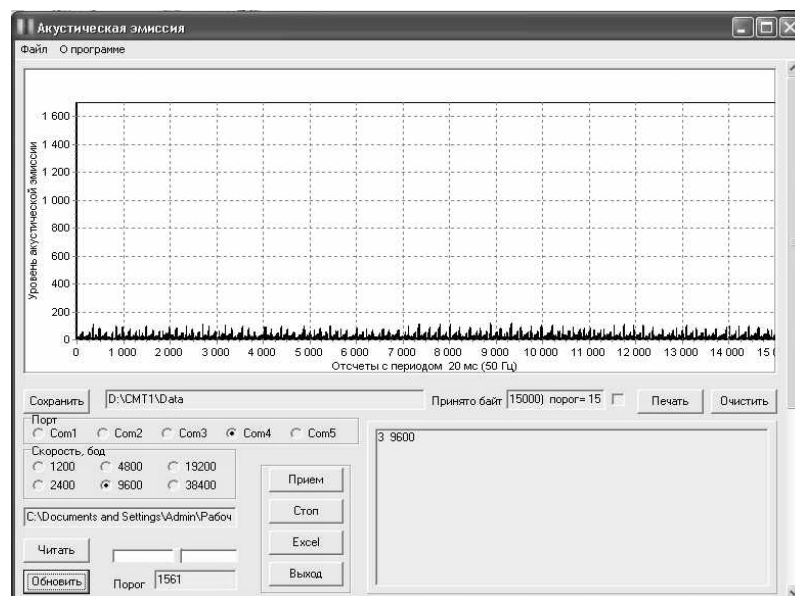
В другому варіанті, яких доцільно використовувати при проведенні лабораторних і стендових випробування направлених на модернізацію конструкцію і матеріалів окремих конструкцій і матеріалів. В цьому випадку правила використання зводиться до звичайного підключення через USB кабель ІДС до ЕОМ в якому попередньо встановлені драйвера приладу. Запуск ІДС відбувається в автоматичному режимі при включенні джерела енергії (через кабель USB). Користувач запускає програму зв'язку з ІСД через яку проводиться збір інформації та її відображення на моніторі ЕОМ (рис. 4.1).

Даний прилад дозволяє реєструвати швидкість зношування за час 20 мілісекунд у відносних одиницях про зношування. Таким чином, зношування реєструється з моменту відділення перших частинок зносу з поверхні тертя в реальному масштабі часу за весь період випробування.

Як вимога до користувача ІДС він повинен вміти використовувати ЕОМ в об'ємі середнього користувача.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Интерфейс користувача ІДС

5. Оцінка ефективності використання ІДС для контролю технічного стану агрегатів на прикладі насосу НП-52М

Оцінку ефективності використання ІДС проводили на аксіально-поршневому насосі НП-52М в якому моделювали різноманітні пошкодження. У першому випадку (рис.5.1а) моделювали часткове порушення герметичності, що призводило до суттєвого навантаження на вузлах насосу і руйнування розподільного золотника. У другому випадку (рис. 5.1 б) в магістраль після фільтру вносили металічну частинку, яка призводила до суттєвого підвищення зносу.

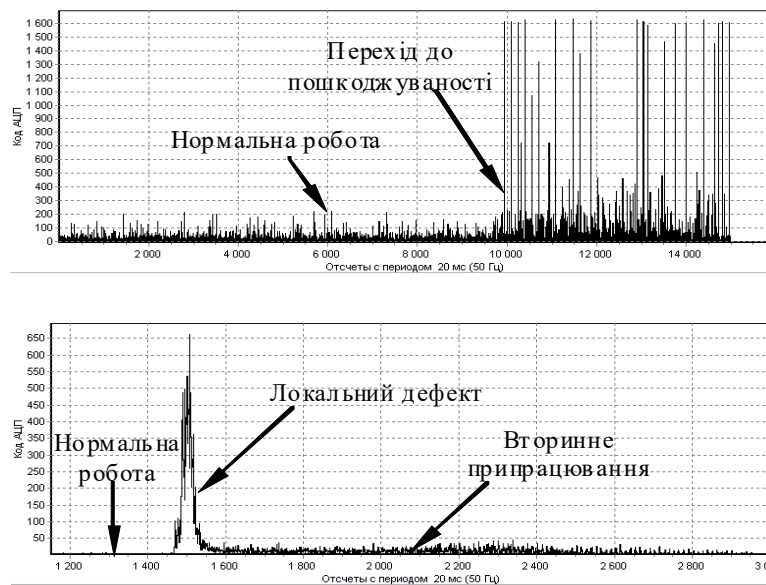


Рисунок 5.1 – Характер зміни швидкості пошкоджуваності елементів аксіально-поршневого насоса НП-52М, у відносних одиницях,: а) – при переході від нормальної роботи до пошкоджуваності; б) – при локальному дефекті

Виходячи з вимог керівних документів в умовах ведення бойових дій, під час залучення автомобільних підрозділів, дана система може використовуватись в польових ремонтних підрозділах, або може бути установлена на кожную одиницю техніки з подальшим збором інформації для визначення технічного стану ОВТ під час технічного обслуговування. Варіант встановлення інформаційно-діагностичної системи на насосі НП-52М наведено на рис. 5.2.



Рисунок 5.2 – Варіант встановлення інформаційно-діагностичної системи на насосі НП-52М: а – датчик АЕ; б – прилад на основі методу АЕ

На основі вищевикладеного метод АЕ може бути використаний для оцінки експлуатаційних та ресурсних показників.[14]

Таким чином, в розділі підтверджено висока ефективність розробленої ІДС для безрозбірної діагностики агрегатів.

Висновки

1. Запропонована фізична модель акустико-емісійного випромінювання при різноманітних руйнуваннях агрегатів ЛА та ЗАТЗПА, в якості критерію контролю технічного стану використовуються усереднена потужність акустичної емісії.
2. Розроблений алгоритм перетворення аналогового сигналу потужності акустичної емісії в цифровий з мінімальними похибками.
3. Обґрунтований склад елементної бази для виготовлення інформаційно-діагностичної системи та розроблена програма (інтерфейс)показу результатів контролю агрегатів.
4. Проведена експериментальна перевірка ефективності розробленої ІДС на прикладі насосу НП-52 з моделюванням різноманітних пошкоджень, які найбільш розповсюджені в експлуатації. Результати контролю показали високу ефективність ІДС ,що дає змогу рекомендувати її як засіб технічного контролю агрегатів при переході АТ та ЗАТЗП на експлуатацію за технічним станом.

Список джерел інформації

1. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.
2. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 137 с.
3. Свириденок А.И., Калмыкова Т.Ф., Холодилов О.В. Исследование фактической площади фрикционного контакта полимер-металл с помощью акустических колебаний // Трение и износ. – 1980. – Т.1, №5. – С. 898-907
4. Жигалов И.А. Диагностика процессов изнашивания конструкционных и смазочных материалов с использованием метода акустической эмиссии: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Киев, 1987. – 20 с.
5. Березняков А.И., Стадниченко В.Н. О взаимосвязи характеристик акустического излучения поверхности трибосопряжения с трибологическими параметрами // Трение и износ. – 1998. – Т.19, №3. – С. 312-317.
6. Войтов В.А., Жерняк А.И., Суханов М.И. Масштабный фактор пары трения и его учет на этапе проектирования машин и механизмов // Трение и износ. – 1994. – Т.15, №1. – С. 109-116.
7. Войтов В.А., Яхно О.М., Аби Сааб Ф.Х. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин. – Киев, 1999. – 190 с.
8. Стадниченко В.Н. Диагностика процессов изнашивания фрикционных узлов трансмиссий авиационных ГТД методом акустической эмиссии // Вопросы проектирования и производства конструкций летальных аппаратов: сб. науч. тр. Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».1(61). – Харьков, 2010. – С. 108-117..
9. Технические средства диагностирования /Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с..
10. Долгушин С. Vinculum II – с чего начать? Работа с портами ввода/вывода // Компоненты и технологии. – 2011. – №5. – С. 40-43..
11. Долгушин С. Vinculum II – новый хостконтроллер USB от FTDI // Компоненты и технологии. – 2010. – №9. – С. 24-27.

12. Чинков В.М. Цифрові вимірювальні прилади / В.М. Чинков. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – 508 с.
13. Львовский Е.А. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1982. – 224 с.
14. Стадніченко В.М. Моделювання сигналів акустичної емісії при різних механізмах руйнування поверхневого шару трибосистем / В.М. Стадніченко // Проблеми тертя та зношування. – 2007. – №1. – С. 30-36.