

УДК 621.891;621.316

В.М. Чернявський, Р.М. Джус, С.В. Степанов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РЕЗУЛЬТАТИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗРАЗКІВ ОБТ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті наведено результати дослідної експлуатації засобів наземного обслуговування загального застосування із застосуванням методу акустичної емісії для контролю технічного стану найбільш відповідальних агрегатів та вузлів.

**Ключові слова:** контроль технічного стану, акустична емісія.

### Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. На сучасному етапі розвитку ЗС України основним напрямком забезпечення справності ОБТ, у тому числі і засобів наземного обслуговування (ЗНО), що застосовуються в авіації Повітряних Сил, є збільшення термінів служби. Для цієї мети проводиться комплекс заходів із дослідження технічного стану, проведення аналізу його зміни, переведення ОБТ на експлуатацію за станом.

Однак, використання методів контролю технічного стану, що застосовують при планово-попереджувальній системі в умовах зниження рівня надійності не забезпечує можливості оцінки фактичного стану агрегатів та є однією з причин збільшення кількості відмов, зниження коефіцієнта технічної готовності ЗНО загального застосування.

У зв'язку з цим задача дослідження можливості впровадження в експлуатації неруйнівних методів контролю (НМК) для безрозбірної діагностики технічного стану найбільш важливих вузлів та агрегатів спеціальних автомобілів є актуальною.

**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.

Роботи з дослідження процесів і вивчення руйнування матеріалів та конструкцій з використанням методу АЕ проводяться в США, Японії, Великобританії, ФРН, Росії. Опубліковані результати, висвітлюють широке коло аспектів у вивченні явища АЕ та торкаються теоретичних розробок в моделюванні механізмів формування і розповсюдження, зберігання і аналізу інформації про процеси об'ємного і поверхневого руйнування [1 – 5].

**Мета статті** полягає у представленні результатів апробації методу акустичної емісії для діагнос-

тування зразків ОБТ в умовах експлуатації.

### Виклад основних положень матеріалу статті

При використанні методу АЕ для діагностики технічного стану агрегатів ОБТ реєстрацію акустичної емісії пружних хвиль, які викликані локальною перебудовою матеріалу при його деформуванні та місцевому руйнуванні проводять датчиками встановленими на поверхні об'єкту [1, 4].

Для обробки сигналу АЕ при діагностуванні технічного стану силової установки та трансмісії ЗНО, авторами запропоновано використання приладу акустичної емісії АЕ-109М, що дозволяє посилити та перетворити сигнал АЕ з аналогового в цифровий. Використання ПЕОМ і розробленого програмного забезпечення у відповідності з методикою [6-8], що дозволяє реєструвати знос на об'єкті діагностування від моменту виникнення першого дефекту.

Склад та зовнішній вигляд системи контролю параметрів АЕ, представлено на рис. 1. Кріплення датчика до об'єктів контролю виконується через хвилевід 5 у вигляді корпусу з різьбовим виступом, який загвинчувався до елемента кріплення 4 та встановлюється на об'єкт контролю 3.

Характеристики акустично-емісійного приладу АЕ-109М, що використовувався для виміру швидкості зношування рухомих спряжень наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики приладу АЕ-109М

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

На підставі попередньо проведеного аналізу конструкції об'єкту діагностування були визначені місця встановлення пьезодатчиків:

двигун – корпус блоку циліндрів двигуна (горизонтальна площина);  
коробка передач – нижня частина корпусу (ве-

ртикальна площина);

задній міст – центральна частина, вузол кріплення карданного валу (вертикальна площина).

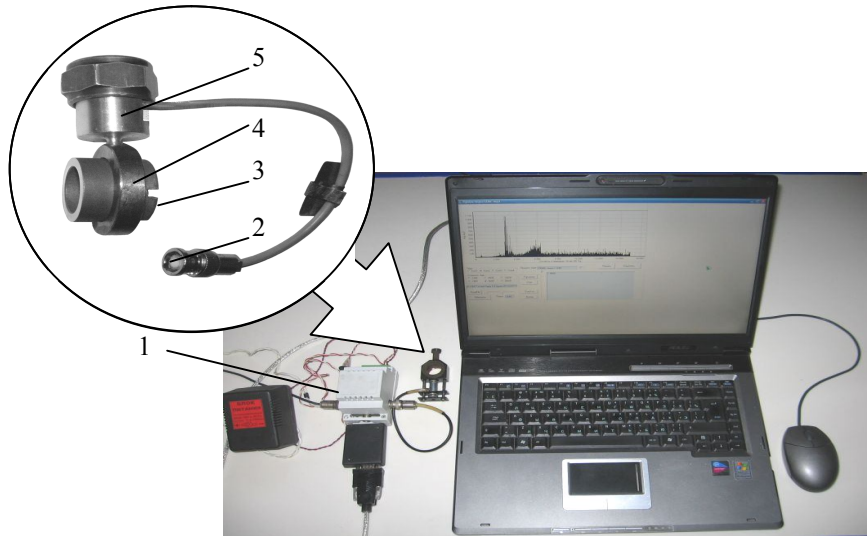


Рис. 1. Склад системи контролю параметрів АЕ:

1 – акустично-емісійний прилад АЕ-109М; 2 – п'єзоелектричний датчик; 3 – об'єкт контролю; 4 – елемент кріплення на об'єкті; 5 – корпус хвильоводу

В процесі дослідної експлуатації ЗНО були отримані масиви даних значень АЕ відповідних вузлів. Чутливість методу стосовно перерахованих об'єктів технічних систем визначалася за результатами математичного моделювання при різних умовах застосування приладу. Вона знаходиться в межах діапазону зміни питомої емісійної активності  $\xi_{AC} = 1,2 \cdot 10^{-11} \dots 1,45 \cdot 10^{-11}$  Г/байт.

Для обробки даних дослідної експлуатації, що полягали у визначенні значень міри пошкоджень (зносу) для різних елементів автомобіля, нами були застосовані відомі статистичні підходи. Будувалися та аналізувалися залежності, що характеризували зміну названої величини у відносних інформаційних одиницях від кількості вимірювань, що проводили із інтервалом  $\Delta t = 5$  хв, для випадків запуску двигуна, початку руху та руху автомобіля із постійною швидкістю.

На рис. 2 представлені графіки міри пошкоджень коробки передач автомобіля від часу.

В процесі обробки результатів досліджень ставилися і вирішувалися наступні задачі:

- ідентифікація ділянки стабілізації параметрів зносу (пошук перманентності);
- визначення найкращої оцінки шуканої величини;
- визначення максимальних похибок визначення шуканої величини.

Для вирішення цих задач було використано поняття емпіричного середнього, яке можна отримати використовуючи вихідну числову послідовність [9]:

$$\{MP(I)\}^N = \{MP(1), \dots, MP(m), \dots, MP(N)\}, \quad (1)$$

де  $I$  – номер випробування;  $m$  і  $N$  – відповідно поточна (яка розглядається в даний момент) і загальна кількість проведених випробувань.

Обґрунтованість такого рішення полягає у тому, що емпіричне середнє вихідної величини в більшості практичних випадків виявляє належну стійкість в тому сенсі, що розкид значень  $M_m$  [МП] в кінці кінців відчутно зменшується по мірі зростання  $m$ .

Таким чином, використовуючи вираз:

$$M_m \text{ [МП]} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m MP(i); \quad m = \overline{1, N}, \quad (2)$$

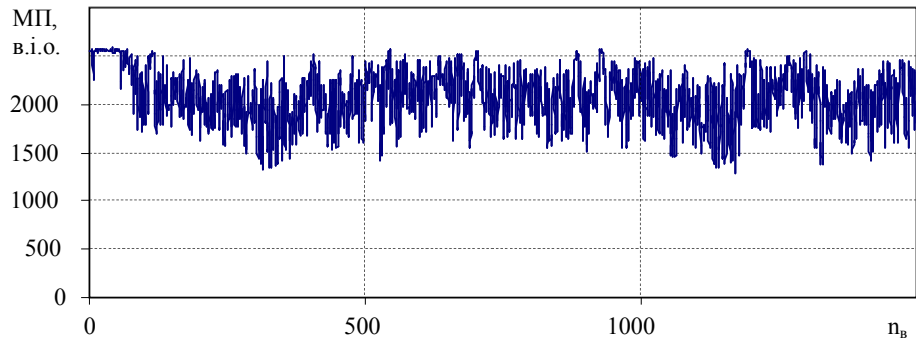
за схемою серії, що подовжується, можна виявити ділянку перехідного та квазістаціонарного режиму роботи агрегату (в сенсі зміни зношування). Останнє можна формалізувати та представити наступним чином:

$$M_m \text{ [МП]} \cong M \text{ [МП]} \quad \text{при } N \geq m \geq m_\varepsilon,$$

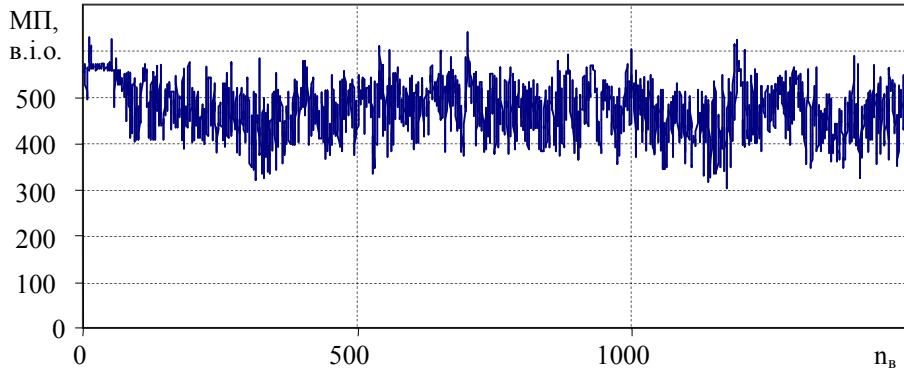
$$\text{при умові, що } N \gg m_\varepsilon \quad (3)$$

Тут  $m_\varepsilon$  – та найменша кількість значень вимірювальної величини, починаючи з якого на думку дослідника, вже постійно виконується рівність (3), тобто залежність приймає стаціонарний характер.  $M$  [МП] – деяка константа, яка в статистиці має назву «математичне очікування» випадкової величини.

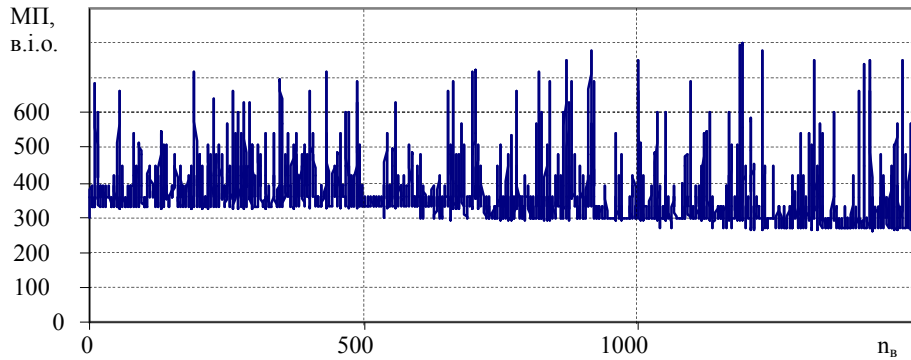
На рис. 3 демонструються результати застосування методу АЕ для діагностування технічного стану вузлів коробки передач автомобіля на різних етапах експлуатації.



а



б



в

Рис. 2. Зміна значення швидкості зношування у відносних одиницях для вузлів коробки передач: а – запуск; б – початок руху; в – рух автомобіля

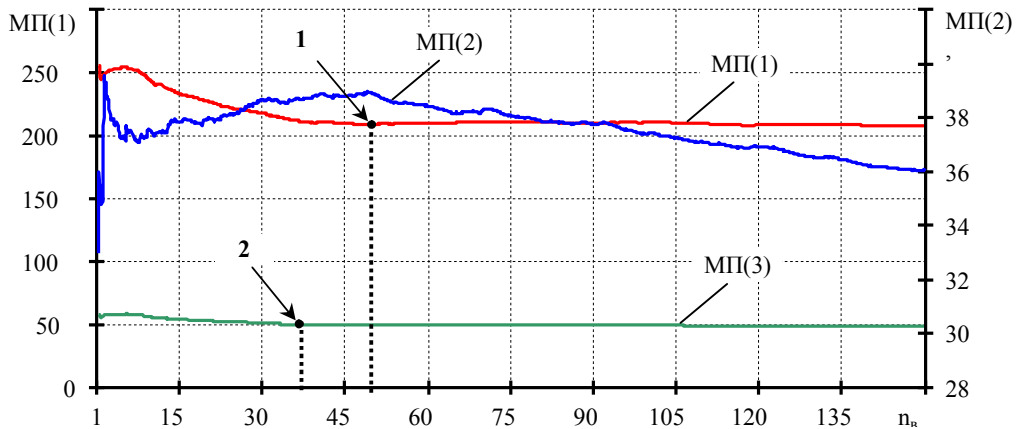


Рис. 3. Обробка даних про зношування вузлів коробки передач для початкового (МП(1)), проміжного (МП(2)) та кінцевого (МП(3)) замірів (експериментів)

На рис. 3 точки 1, 2 на залежностях міри пошкоджень при виконанні початкового та кінцевого

замірів є початком ділянки, що має стаціонарний характер. Якщо наближена рівність (3) виконувалася

у вже проведених випробуваннях, то допустимим є припустити, що при подальшому подовженні серії (1) значення  $M_m[\text{МП}]$  будуть близькими до вже згаданої вище константи  $M[\text{МП}]$ , тобто:

$$M_m[\text{МП}] \cong M[\text{МП}] \quad \forall m > N. \quad (4)$$

Саме це дає змогу стверджувати, що найкраще значення шуканої величини МП знаходиться на ділянці де функція, що аналізується є стаціонарною або квазістаціонарною

Практично, це може бути перевірено шляхом побудови довірчих інтервалів для випадків 1 – 3 з використанням вже відомих статистичних підходів на ділянці відносної стабільності даних показників. У випадках виходу значень вимірюваних функцій за межі довірчого інтервалу, тобто не виконання рівності (3) необхідно збільшити інтервал спостереження або збільшити частоту опитування датчиків з наступною перевіркою виконання умови (3).

При цьому використання основних положень теорії похибок дозволило визначити погрішність прогнозування, яка забезпечується на рівні не більше 2...2,5% за умови нормального зносу. В умовах переходу до пошкоджуваності похибки різко зростають і застосування методу АЕ в цьому випадку обмежується діагностичними ознаками (різке зростання значень на 2 – 3 порядки).

### Висновки та перспективи подальших досліджень

1. В результаті проведених натурних досліджень агрегатів ЗНО підтверджено можливість застосування методу АЕ для оцінки їх технічного стану.

2. Визначено, що застосування цього методу надає дослідникам інформацію про стан та швидкість зношування агрегатів, що діагностуються, з точністю, яка лежить у межах діапазону зміни питомої емісійної активності матеріалу деталей. Результати вимірювань швидкості зношування та динаміки її зміни в ході обробки даних натурних випробувань збігаються з такими ж показниками при лабораторних випробуваннях модельних пар тертя із відповідних матеріалів. Це дозволяє визначити загальні закономірності механізму зношування

трібосполучень різноманітних агрегатів, розробити критерії оцінки їх технічного стану, а також методики прогнозування ресурсу машин і механізмів.

3. Подальші дослідження доцільно спрямовувати на розробку систем діагностики найбільш критичних агрегатів ОБТ, які можуть бути вбудовані в конструкцію як на етапі проектування агрегату, так і в процесі модернізації техніки.

### Список літератури

1. Серьезнов А.Н. Метод акустической эмиссии при прочностных испытаниях самолетов / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова // Полет. – 2005. – № 11. – С. 14-19.
2. Автоматизированная система сбора 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.-практ. конф. – Новочеркасск: НПО "Темп", 2001. – Ч. 3. – С. 40-42.
3. Джус Р.М. Пристрій для безупинної реєстрації динаміки зміни геометрії зразків при випробуваннях на тертя і знос / Р.М. Джус, В.М. Стадніченко, М.Г. Стадніченко // Вісн. Нац. техн. ун-ту „ХПІ”: зб. наук. пр. Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ „ХПІ”, 2003. – № 12, Т. 1. – С. 58-64.
4. Серьезнов А.Н. Диагностика объектов транспорта методом акустической эмиссии / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Муравьев. – М.: Машиностроение, 2004. – 367 с.
5. Трибология: Исследования и приложения. Опыт США и стран СНГ. – М.: Машиностроение, Нью-Йорк, Алертон пресс. 1993. – 454 с.
6. Filonenko S.F., Stadnichenko N.G., Stadnichenko V.N., Troshin O.N., Stakhova A.P. Research of influence of thermal resistance of elements of tribosystem on wearproofness of friction units Aviation, – 2010. – Vol. 1. – P. 12.1-12.5.
7. Прогнозирование ресурса трибосистем, работающих в режиме наноизнашивания, методом акустической эмиссии / Н.Г. Стадніченко, А.В. Приймак, Е.А. Кисель, Р.С. Веретельников, К.А. Гуржий // Системи озброєння і військової техніки. – Х.: ХУПС. – 2010. – № 4(26). – С. 41-48.
8. Стадніченко В.Н. Методические аспекты применения метода акустической эмиссии в трибодиагностике / В.Н. Стадніченко, Р.Н. Джус, О.Н. Трошин // Військ.-техн. зб. – Львів: АСВ, 2011. – № 1. – С. 73-79.
9. Алимов Ю.И. Альтернатива методу математической статистики / Ю.И. Алимов – М.: Знание, 1980. – 64 с.

Надійшла до редколегії 10.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Войтов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ВВТ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Н. Чернявский, Р.Н. Джус, С.В. Степанов

В статье приведены результаты опытной эксплуатации средств наземного обслуживания общего приложения с применением метода акустической эмиссии для контроля технического состояния наиболее ответственных агрегатов и узлов.

**Ключевые слова:** контроль технического состояния, акустическая эмиссия.

### RESULTS OF APPLICATION OF METHOD OF ACOUSTIC EMISSION FOR DIAGNOSING OF THE STATE OF STANDARDS OF VVT IN EXPLOITATION

V.N. Chernyavskiy, R.N. Dzhus, S.V. Stepanov

In the article the results of installation and check-out phase of facilities of surface maintenance of general application are resulted with the use of method of acoustic emission for control of the technical state of the most responsible aggregates and knots.

**Keywords:** control of the technical state, acoustic emission.