

УДК 691.891:621.316

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

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков***ИНФОРМАТИВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ УЗЛОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

*В данной статье рассмотрена методология применения метода акустической эмиссии при решении задач диагностики и прогнозирования трибосистем. Произведена оценка информативного содержания диагностируемых параметров.*

**Ключевые слова:** трибосистема, акустическая эмиссия, износ, чувствительность, погрешность, прогнозирование.

**Введение**

**Постановка проблемы.** С учетом постановки задачи на эксплуатацию авиационной техники (АТ) гражданской и военной авиации по техническому состоянию возникает проблема существенного повышения эффективности ее контроля.

Появление в настоящее время быстродействующих цифровых вычислительных машин, а также создание теории идентификации позволили проводить мониторинг состояния объекта контроля по результатам наблюдений над входными и выходными сигналами при его функционировании.

В настоящее время в авиационной, ракетно-космической и энергетических отраслях эту задачу решают путем широкого внедрения систем встроенного автоматизированного контроля и наземных диагностических комплексов [1].

Отказы агрегатов топливной и гидравлических систем в основном обусловлены износом подвижных сопряжений, поэтому задачи безразборной диагностики таких узлов сводятся к контролю технического состояния и скорости их изнашивания с целью прогнозирования их долговечности (ресурса).

Входные и выходные параметрами данных систем контроля, как правило, имеют различную физическую природу, и установление взаимосвязи между ними представляет достаточно трудную задачу, как с технической, так и с метрологической точки зрения.

Такого рода работы, как правило, выполняются при лабораторных или стендовых испытаниях авиационной техники. В качестве методов диагностирования агрегатов самолета и двигателя в процессе их эксплуатации в настоящее время широко используется метод акустической эмиссии (АЭ). Однако информативное содержание контролируемого параметра (мощность АЭ) обосновано недостаточно. Это создает неопределенности при анализе получаемой информации при безразборной диагностике по-

движных сопряжений агрегатов АТ. Уточнению этого вопроса и посвящена данная статья.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Работы по исследованию физики процессов и изучению разрушения материалов и конструкций с использованием метода АЭ проводятся во многих странах, прежде всего в США, Японии, Великобритании, ФРГ, России и других государствах мира. Результаты, опубликованные за последние десятилетия, затрагивают широкий круг аспектов в изучении явления АЭ, которые касаются теоретических работок в моделировании механизмов формирования и распространения, хранения и анализа информации о процессах объемного [2] и поверхностного разрушения [3]. В работе [4] впервые была сделана попытка оценить информативное содержание энергетических критериев оценки скорости изнашивания при нормальных и патологических видах изнашивания трибосопряжений (ТС). Здесь в качестве критерия в уравнении оценки скорости изнашивания по параметрам АЭ

$$I_h = \frac{W_L}{W \cdot \mu} \cdot \frac{1}{\xi_{АЭ}}, \quad (1)$$

где  $I_h$  – скорость изнашивания;

$W_L$  – подведенная к ТС мощность;

$W$  – мощность АЭ, регистрируемая в процессе изнашивания ТС;

$\mu$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий индивидуальные особенности акустико-эмиссионной системы трибодиагностики (коэффициент усиления, уровень дискриминации сигнала и т.д.);

$\xi_{АЭ}$  – удельная эмиссионная активность – величина изнашивания ТС, отнесенная к интегральному значению мощности АЭ за тот же интервал времени испытаний выбрана величина, обратная первому множителю в (1):  $W \cdot \mu / W_L$ , названная коэффициентом диссипации внешней подводимой энергии.

Этот коэффициент оценивает в процентах долю подводимой к ТС мощности, которая преобразуется

в процессы разрушения поверхностных слоев. С учетом высокой чувствительности метода АЭ к процессам поверхностного разрушения, эта величина может быть параметром оценки видов изнашивания (как нормальных, так и патологических).

Метрологическая оценка, проведенная авторами в дальнейшем [5], позволила установить, что погрешности данного метода находятся в пределах величины удельной эмиссионной активности испытываемых материалов (2...2,5%).

Поскольку испытаниям подвергались материалы, близкие по своим физико-механическим свойствам, масштабы изменения этих пределов определены не были.

**Целью данной работы является** проведение исследований по определению возможности использования данного подхода к сравнительной оценке износостойкости ТС, изготовленных из материалов, существенным образом отличающихся по своим физико-механическим свойствам.

### Изложение материалов исследований

Для измерения акустической эмиссии при испытании на трение и износ использована информационно-диагностическая система (ИДС), работающая по жесткому алгоритму. Она состоит из пьезоэлектрического преобразователя, который размещается в корпусе волновода и прижимается рабочей поверхностью волновода к неподвижному образцу, образуя линейный контакт. Такая схема приема сигнала сохраняет идентичные условия контакта в каждом из экспериментов, что позволяет достигнуть высоких значений корреляции между износом и параметрами АЭ.

Вторым элементом ИДС является блок предварительной обработки аналогового сигнала, в котором происходит усиление (1:1000), фильтрация по частотам (200...700 кГц, что обусловлено амплитудно-частотными характеристиками датчика), детектирование сигнала (т.е. превращение его в однополярный) и построение огибающей. Для уменьшения влияния на коэффициент усиления температуры использован усилитель с автоматической установкой нуля.

Третьим элементом является микроконтроллер, в котором происходит преобразование амплитуды в энергию и интегрирование этой величины в «скользящем окне» 20 мс.

Далее сигнал, который представляет собой усредненную мощность АЭ, поступает в 12-ти разрядный аналого-цифровой преобразователь ( $n=12$ ). Количество измерений  $N$  в этом случае равняется  $2^n=2^{12}=4096$ .

Преобразование аналогового сигнала в цифровой можно представить следующей схемой (рис. 1).

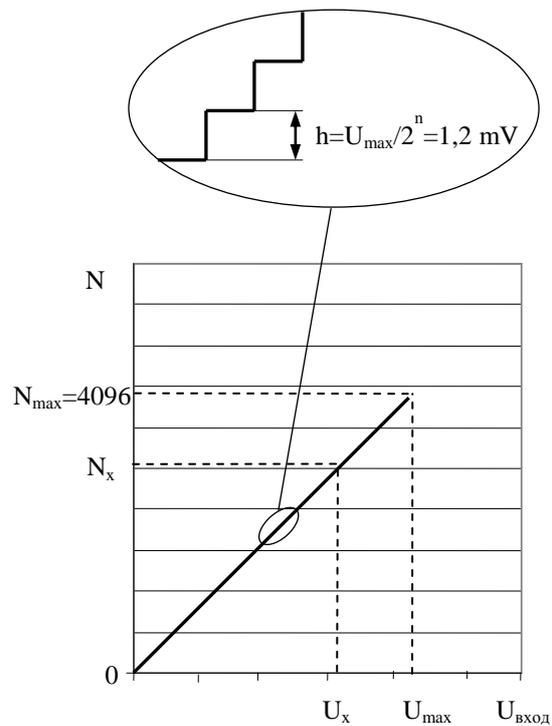


Рис. 1. Схема преобразования аналогового сигнала усредненной спектральной мощности в цифровой сигнал

Таким образом, на файлах регистрации измерения сигналов АЭ оценивается относительными единицами, которые представляют собой уровень усредненной мощности АЭ на интервале 20 мс. Время усреднения определяется частотой среза фильтра низких частот. Обратное преобразование цифрового сигнала  $U_x=N_x h$  при необходимости осуществляется в ЭВМ.

Лабораторные испытания данной ИДС показали, что полностью устранить влияние больших перепадов температуры при данном схемном построении не удастся. Поэтому при усовершенствовании конструкции ИДС предусмотрен дополнительный блок системы самоконтроля, который в каждый момент времени измерений формирует опорный сигнал и на выходе микроконтроллера формируется сигнал отношения текущего значения  $U_x/U_{\text{опорн}}$ . Такое построение ИДС позволяет использовать ее в качестве встроенной системы диагностики технического состояния агрегатов АТ. В настоящее время она проходит лабораторные испытания.

Пиковые значения регистрируемых параметров АЭ оцениваются величиной информации, что делает возможным использование относительных информационных единиц в качестве критерия оценки скорости изнашивания трибосистем. С точки зрения получения информации о кинетике процессов изнашивания с использованием обработки сигналов АЭ, наиболее приемлемой является организация непрерывного режима записи информации. Он заключается в обеспечении непре-

рывного проведения измерений сигналов акустической эмиссии в процессе изнашивания трибосистемы, с последовательной записью и сохранением каждого результата измерения на устройстве запоминания (жестком диске компьютера). Запись информации осуществляется через оперативное запоминающее устройство.

После полного проведения эксперимента проводится построение итоговых интегральных характеристик изнашивания трибосистем во времени испытаний и их анализ

Экспериментальные исследования предложенной ИДС проводились на материалах, физико-механические свойства которых (твердость, предел прочности и т.д.) изменялись незначительно в пределах 15...20%, поэтому создавались условия, позволяющие проверить возможность прогнозирования скорости изнашивания ТС по диагностическому параметру АЭ.

Для определения максимальных эксплуатационных нагрузок в ТС предварительно проводились испытания этих пар трения на задиростойкость. Эти испытания проводили при ступенчатом изменении нагрузки с шагом 200 Н через каждые 20 мин до величины нагрузки 1200 Н.

Таким образом, нагрузка для испытаний на износостойкость ограничивалась величиной 800Н

Проведенный расчет параметров удельной эмиссионной активности  $\zeta_{АЭ}$  представлен в табл. 1 и показал существенное отличие данного критерия для трибосистем с покрытиями и без него.

Таблица 1

Расчет параметров удельной эмиссионной активности испытываемых пар трения

№ пары трения	1	2	3	4
$\zeta_{АЭ}$ , г/относит. единицы	$5,35 \cdot 10^{-10}$	$1,79 \cdot 10^{-10}$	$8,48 \cdot 10^{-9}$	$1,42 \cdot 10^{-8}$

Из таблицы видно, что для одного и того же сочетания материалов (пары трения №1, 2 и №3, 4) изменение удельной эмиссионной активности  $\zeta_{АЭ}$  обусловлено разницей в скорости изнашивания элементов в прямых и обратных парах трения.

В частности при проведении экспериментальных исследований, методология которых изложена в работах [6], исследовались четыре пары трения:

сталь 30Х3ВА (азотирование) – бронза ВБ23НЦ (прямая пара (№1) и обратная пара (№2));

эта же пара трения, но на сталь 30Х3ВА ионно-плазменным методом наносилось покрытие MoS<sub>2</sub> (прямая пара (№3) и обратная пара (№4)).

Результаты испытаний на износостойкость по параметрам весового износа и акустической эмиссии отображены на рис. 2 – 4.

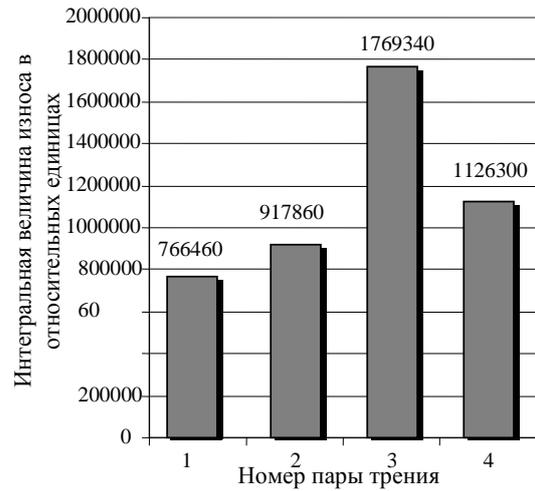


Рис. 2. Сравнительный анализ износостойкости исследуемых пар трения при нагрузке в трибосистеме 800 Н в течении 240 мин

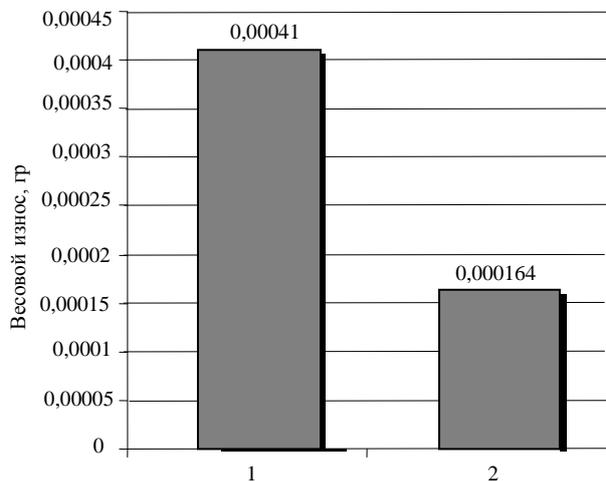


Рис. 3. Сравнительный анализ износостойкости исследуемых пар трения №1, 2 при нагрузке в трибосистеме 800 Н в течении 240 мин

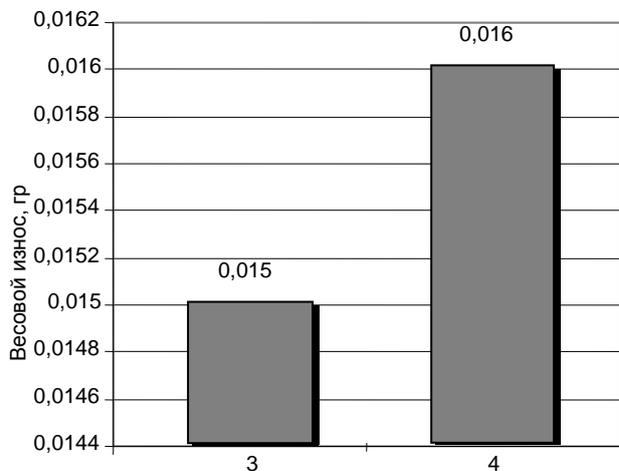


Рис. 4. Сравнительный анализ износостойкости исследуемых пар трения №3, 4 при нагрузке в трибосистеме 800 Н в течении 240 мин

## Выводы

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, что информативным содержанием метода акустической эмиссии при контроле трибосопряжений, существенно отличающихся по своим физико-механическим свойствам, является величина изменения скорости изнашивания за период контроля,

Сравнительную оценку износостойкости таких трибосопряжений практически поводить невозможно.

Таким образом, прогнозирование скорости изнашивания по параметрам акустики может быть проведен только в пределах каждой из трибосистем.

Это согласуется с выводами, сделанными в работе [7] при оценке процессов объемного разрушения

## Список литературы

1. 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: Материалы междунар. научн.-практ. конф. – Новочеркасск: НПО «Темп», 2001. – Ч. 3. – С. 40-42.

2. 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 // Proceeding of the forth world congress "Aviation in the XXI-st century" "Safety in aviation and space technology, NAU, 2010. Volume 1. – P. 12.1-12.4.

3. Запорожец В.В. Методология ускоренной оценки износостойкости образцов с электроискровыми покрытиями / В.В. Запорожец, В.М. Стадніченко // Проблеми трибології. – 2010. – №4. – С. 25-32.

4. Стадніченко В.М. Прогнозування ресурсу трибосистем з використанням інформативних параметрів акустичної емісії / В.М. Стадніченко, М.Г. Стадніченко, В.В. Варваров // Новітні технології для захисту повітряного простору: Матеріали Шостої наукової конференції ХУПС. – Х.: ХУПС, 2010 – С. 55.

5. Прогнозирование ресурса трибосистем, работающих в режиме наноизнашивания, методом акустической эмиссии // В.Н. Стадніченко, О.Н. Трошин, А.В. Приймак, Е.А. Кисель, Р.С. Веретельников, К.А. Гуржий // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – Вип. 4(26). – С. 41-48.

6. Прискорена методика визначення зносостійкості нанопокриттів в трибосистемах з використанням інформативних параметрів акустичної емісії / В.В. Запорожець, В.М. Стадніченко, О.М. Трошін, В.В. Варваров, М.Г. Стадніченко / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Вип. 3(25). 2010. – С. 19-24.

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

Поступила в редколлегию 12.03.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.Б. Анипко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ІНФОРМАТИВНИЙ ЗМІСТ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ДЛЯ БЕЗРОЗБІРНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

О.М. Трошин, М.Г. Стадніченко, Р.М. Джус, О.О. Гурін

В даній статті розглянуто методологію застосування методу акустичної емісії при вирішенні завдань діагностики й прогнозування трибосистем. Зроблено оцінку інформативного змісту діагностуємих параметрів трибосистем.

**Ключові слова:** трибосистеми, акустична емісія, зношування, чутливість, погрішність, прогнозування.

## INFORMATION CONTENT OF ACOUSTIC EMISSION METHOD FOR DEMOUNTABLE DIAGNOSIS OF THE AVIATION AIRCRAFT TECHNICS

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

In article it is considered methodology of application of method of acoustic emission at the decision of tasks of diagnostics and prognostication of resource of tribosystems. The estimation of informing maintenance of the diagnosed pair-meters is produced.

**Keywords:** tribosystem, acoustic emission, wear, sensitiveness, error, prognostication.