

ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ИЗНАШИВАНИЯ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ТРАНСМИССИЙ АВИАЦИОННЫХ ГТД МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Постановка проблемы. При решении комплекса задач, связанных с диагностикой фрикционных узлов авиационной техники, возникает необходимость получения объективной количественной информации о состоянии поверхностей фрикционного контакта в реальном масштабе времени. В число таких задач входят диагностика триботехнических характеристик конструкционных и смазочных материалов на стадии их разработки и лабораторных испытаний, контроль и прогнозирование их технического состояния в реальных узлах трения авиационных ГТД [1,2]. Очевидно, что эффективность решения таких задач определяется количеством и качеством информации, полученной при диагностике технического состояния фрикционных узлов.

Анализ последних публикаций. В настоящее время всё большее применение находят методы, которые позволяют получать информацию о кинетике процессов изнашивания, протекающих в поверхностных слоях материалов в условиях их динамического контактного взаимодействия. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ) [2,3,4].

В статье рассматривается информационно-измерительная система для диагностики триботехнических систем в реальном масштабе времени эксплуатации без их разборки.

Цель исследования. Целью исследования является разработка методики обработки акустико-эмиссионного излучения, позволяющей получать информацию, необходимую для диагностики технического состояния фрикционных узлов авиационной техники в реальном масштабе времени.

Изложение основного материала. Структура построения канала регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии базируется на ряде методологий, которые содержат в себе принцип регистрации и превращения первичной информации; принцип усиления и выделения сигналов акустической эмиссии; принцип сохранения процессов, которые регистрируются в исходном виде; принцип обработки сигналов акустической эмиссии; принцип вывода и предоставления результатов анализа; принцип управления процессами измерений, информационными потоками и контроля процессов изнашивания трибосистем.

Блок схема канала регистрации и обработки сигналов АЭ информационно-измерительного комплекса трибодиагностики

приведена на рисунке 1.

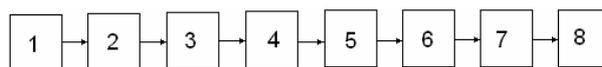


Рисунок 1 – Структура канала регистрации и обработки акустической эмиссии в информационно-измерительном комплексе трибодиагностики с оптимизацией параметров:

1 – датчик акустической эмиссии; 2 – предварительный усилитель; 3 – полосовой фильтр, 50...900кГц; 4 – усилитель с порогом нечувствительности к собственным шумам машины трения; 5 – выпрямитель усиленного сигнала; 6 – блок вычисления среднего значения в скользящем окне; 7 – АЦП; 8 – устройство связи с последовательным интерфейсом.

Диаграмма измерения скорости изнашивания показана на рисунке 2.

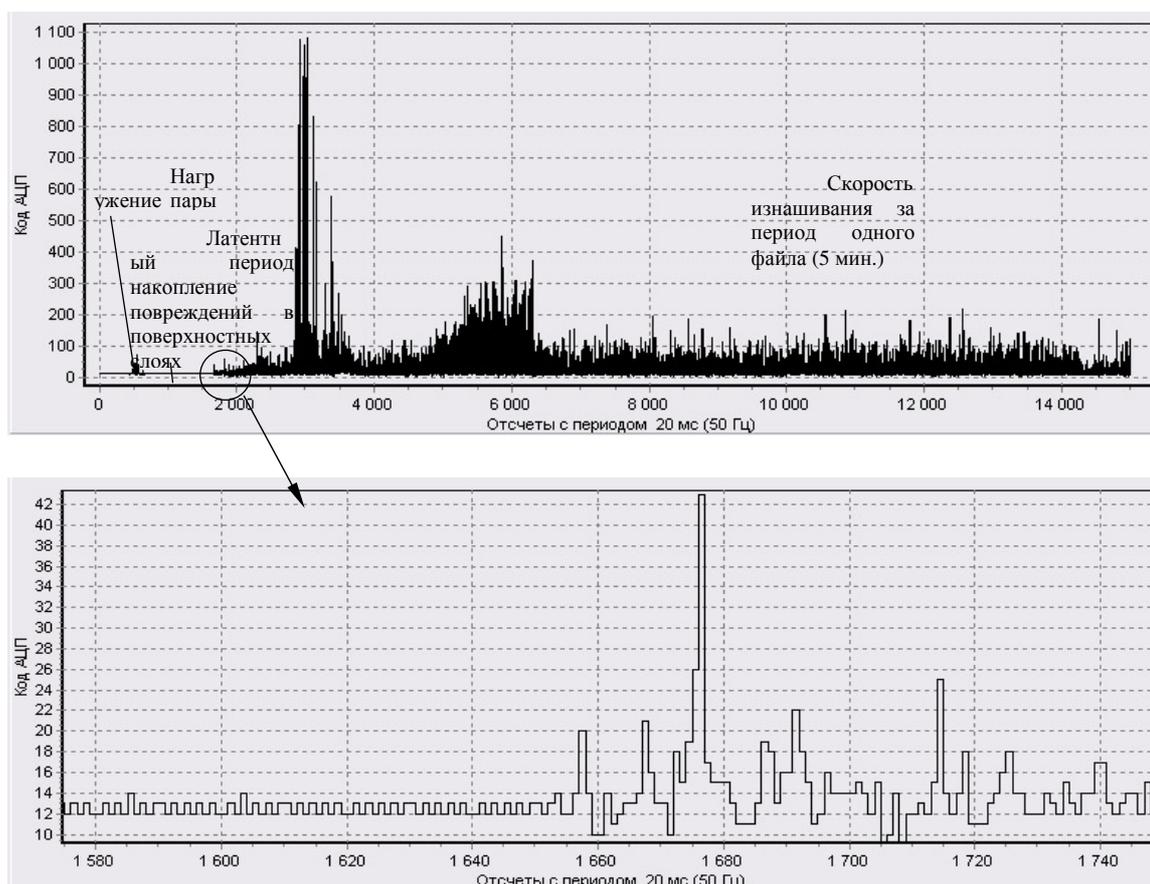


Рисунок 2 – Диаграмма измерения скорости изнашивания за первые 5 мин. работы пары трения в информационных единицах

Канал регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии должен быть ориентирован на максимальное использование гибких

программных средств, которые обеспечивают контроль состояния оборудования, а также управление процессами измерений, обработки, анализа информации и предоставления ее результатов. Реализация данной концепции может быть осуществлена на сочетании максимальных возможностей современных средств вычислительной техники, и технологии "MathCad".

Каждое из данных устройств можно рассматривать как независимый модуль, что выполняет определенные функции. Причем тракт усиления сигналов акустической эмиссии работает по «жесткому неизменному алгоритму», а весь процесс измерения и обработки информации строится на обеспечении совместной работы специализированного модуля аналоговой и предварительной цифровой обработки АР08 и персонального компьютера.

Связь специализированного модуля аналоговой и предварительной цифровой обработки АР08 и ПК осуществляется за отдельным последовательным интерфейсом RS 485 посредством программных средств с использованием специального программного математического обеспечения (ПМО).

Такой подход позволяет делать распределение функций между устройствами канала регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии за их назначением и выполнением операций, а именно: проведение измерений и передача данных; сохранение данных, их обработка и формирование результатов, анализ и отображение информации, контроль и управление всеми процессами. Распределение функций обеспечивает сочетание разных устройств, которое направлено на получение максимальной исходной информации в первичном виде с возможностью следующей многократной вторичной обработки.

С точки зрения получения информации о кинетике процессов изнашивания с использованием обработки сигналов акустической эмиссии, наиболее приемлемой является организация непрерывного режима записи информации. Он заключается в обеспечении непрерывного проведения измерений сигналов акустической эмиссии в процессе изнашивания трибосистемы, с последовательной записью и сохранением каждого результата измерения на устройстве запоминания (жестком диске ПК). Запись информации осуществляется через оперативное запоминающее устройство.

В непрерывном режиме работы объем первичной информации, который регистрируется, определяется частотой опроса датчика акустической эмиссии. При сохранении информации в виде низкочастотного сигнала, с частотой опроса 25...50 Гц, объем данных, который получен в течение 100 часов испытаний на трение и изнашивание, составляет 50...100 Мбайт. При увеличении частоты опроса, пропорционально увеличивается объем данных и может

вычисляться десятками Гбайт, что будет ограничиваться объемом запоминания и возможностью обработки больших массивов данных вычислительной техникой.

При этом сохранение исходной информации на устройстве запоминания позволяет проводить гибкую, многократную вторичную обработку с использованием ПМО. Такой подход обеспечивает получение максимального количества обрабатываемых параметров акустической эмиссии. Таким образом, важной задачей является обоснованный выбор частоты опроса датчика акустической эмиссии и датчиков других параметров.

Коротко рассмотрим принцип работы канала. При регистрации процессов изнашивания в трибосистеме, упругие сдвиги, которые возникают в материале, преобразуются датчиком акустической эмиссии, выполненном из пьезокерамики ЦТС-19, в слабый электрический сигнал (1...10 мВ). Анализ спектра сигнала посредством запоминающего осциллографа Rigol показывает, что основная энергия акустико-эмиссионного излучения сосредоточена в диапазоне 50...900 кГц. Дальше слабый сигнал датчика акустической эмиссии усиливается широкополосным предварительным усилителем 2.

Фильтр 3 имеет полосу пропускания, в котором в меньшей степени сказываются собственные шумы машины трения, что является составной частью информационно-измерительного комплекса трибодиагностики. Порог нечувствительности каскада 4 устанавливается так, чтобы регистрировать только сигнал акустической эмиссии, который возникает в процессе изнашивания материала трибосистемы.

Выпрямитель 5 превратит двухполярный сигнал в однополярный для последующего формирования огибающей (интеграция) в блоке 6. Полученный низкочастотный сигнал, который несет информацию об изменении уровня акустической эмиссии, превращается АЦП 7 в последовательность цифровых отсчетов. Эти отсчеты из модуля 7 поступают в модуль 8, что определяет период аналого-цифрового превращения модулем 7, и обеспечивает связь с блоком управления, обработки и регистрации.

АЦП входит в состав многих устройств – микроконтроллеров, микроконверторов, а также реализуется в микроэлектронном выполнении – БЕС АЦП. Точность встроенных АЦП имеет разрядность 8, 10 и реже 16, 24 разрядов. Моделирование показывает, что в большинстве случаев принятой является разрядность 8, 10. Практика применения АЦП показывает, что в 2-3 младших разрядах превращения сосредоточены ошибки превращения. Следовательно, необходимо увеличить разрядность АЦП до 10-13 разрядов.

Таким образом, избранный АЦП с разрядностью 13, который

позволяет получить диапазон кодов 0...8191. Для представления каждого такого кода нужно 2 байта (табл.1)

Для идентификации старших и младших байтов в потоке данных используется формат данных (табл.2)

В старших разрядах байта результат записывают маркеры – 1 (старший байт), 0 – (младший байт).

Преобразование 13-разрядного кода от АЦП D12,D11...,D0 в код 1,D12..D7,0, D6..D0 выполняется блоком 8 со следующей передачей в линию связи.

Выделение кодов отсчетов из последовательности данных, используя маркеры, реализуется в блоке обработки.

Для усиления и превращения сигналов акустической эмиссии в этом диапазоне могут быть использованы операционные усилители (ОУ). Ведущие позиции в этой области занимает фирма Analog Devices. Широкий диапазон частот, слишком малый уровень шумов, малые габариты, диапазон Rail-to-Rail по входу и выходу, малая потребляемая мощность определили использование операционного усилителя - двухканального ОУ AD8031. Для обработки низкочастотного сигнала широко используется прецизионный ОУ AD8552. Типичные схемные решения для реализации функций блоков 2...6 на ОУ предлагаются фирмой - производителем.

Таблица 1.

77	66	55	54	33	22	11	00	77	66	55	44	33	22	11	00
00	00	00	BD12	DD11	DD10	DD9	DD8	DD7	DD6	DD5	DD4	DD3	DD2	DD1	0D0
Старший байт								Младший байт							

Таблица 2.

77	66	55	54	33	22	11	00	77	66	55	44	33	22	11	00
01	00	0D12	DD11	DD10	DD9	DD8	DD7	00	DD6	DD5	DD4	DD3	DD2	DD1	0D0
Старший байт								Младший байт							

АЦП с заданными характеристиками может быть реализован на БЕС МСР3304 с последовательным интерфейсом. Модуль 8 целесообразно реализовать на основе микроконтроллера. Используется AVR- микроконтроллер фирмы Atmel – Attiny 2313, который имеет в своем составе универсальный асинхронный приемопередатчик (UART) для связи с последовательным каналом, а также интерфейс SPI для управления АЦП.

Управление всем процессом измерений осуществляется ПМО, реализованным в виде пакета прикладных программ. ПМО обеспечивает так же фильтрацию данных, их обработку, сохранение полученных результатов в виде файловых структур на логическом ровные построения УЗ, вывод текстовой и графической информации

на экран монитора информационно-измерительного комплекса трибодиагностики или печатающее устройство.

ПМО поддерживает работу процессора и трансформирует непрерывную, независимую работу отдельных элементов канала измерения и обработки сигналов в строгую последовательность операций, которые выполняются на разных каналах. Наличие исходной информации о входном процессе позволяет использовать гибкие алгоритмы ее фильтрации, а также применять гибкую раздельную обработку в зависимости от механизмов изнашивания в трибосистеме.

При этом разрешающая способность и точность измерений на амплитудно-временных параметрах определяется разрешающей способностью АЦП, а объем информации, что вводится, ограничивается объемом накопителя, который используется для записи акустико-эмиссионной информации, которая регистрируется.

Методология обработки сигналов акустической эмиссии в процессе изнашивания трибосистемы.

Модель обработки сигналов акустической эмиссии реализована в среде MathCad и описывает последовательность превращения сигнала и возможные формы представления и регистрации данных. Как сигнал от датчика акустической эмиссии используется массив WavData.

Эти сигналы имеют частотные составляющие в диапазоне $10^4 \dots 10^5$ Гц. В этом диапазоне частот обрабатывать и сохранять сигнал достаточно тяжело, поэтому посредством операции низкочастотной фильтрации – усреднение в «скользящем окне» шириной $frame$, формируется сигнал g , с узким спектром, который сохраняет информацию об изменении уровня акустической эмиссии во времени.

Таким образом, усреднение (квантование) непрерывного сигнала акустической эмиссии по времени сводится к замене бесконечно-большого числа значений счетным числом мгновенных значений, которое фиксируются через определенный промежуток времени Δt . Последний называется шагом квантования по времени и может быть либо постоянным, либо переменным.

В моменты времени t_k ($k=0,1,2,\dots,m$) фиксированное значение $W(t_k)$ равно величине сигнала в данной точке. Внутри шага квантования Δt (периода опроса) между соседними фиксированными значениями начальный сигнал может быть воспроизведен с точностью, которая определяется частотой квантования (частотой опроса).

Для периода опроса канала акустической эмиссии 40 мс (частота опроса $F_{опр}=25$ Гц) спектр сглаженного сигнала должен быть ограниченный $F_{max} = F_{опр}/2$. Таким образом, с помощью относительно простых средств можно получить цифровой отсчет для передачи по

последовательному интерфейсу и для отображения и сохранения информации.

Для непрерывного изнашивания, в течение определенного периода времени испытаний для регистрации интенсивности изнашивания, используя акустико-эмиссионный отзыв трибосистемы, необходимо ограничить бесконечное множество измерений конечным их числом, то есть сделать квантование непрерывного сигнала по уровню.

Кроме того, в этом случае канал измерения и обработки акустической эмиссии информационно-измерительного комплекса трибодиагностики будет в большей мере защищен от помех, амплитуда которых меньше шага квантования, чем при использовании непрерывного сигнала.

Квантование усредненной мощности акустической эмиссии по уровню – в импульсной форме, можно получить посредством интегратора со сбросом при достижении порога Porog (рис. 3), модель которого выглядит так:

$$i := 1..d - 1$$

$$R_i := \begin{cases} g_i + R_{i-1} & \text{if } (g_i + R_{i-1}) < \text{Porog} \\ ddR_{i-1} + g_i & \text{if } R_{i-1} = \text{Porog} \\ \text{Porog} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Pls_i := \begin{cases} \frac{\text{Porog}}{10} & \text{if } R_i = \text{Porog} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Umin := 2000$$

$$\text{WavData2}_n := \begin{cases} \text{WavData1}_n & \text{if } |\text{WavData1}_n| > Umin \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

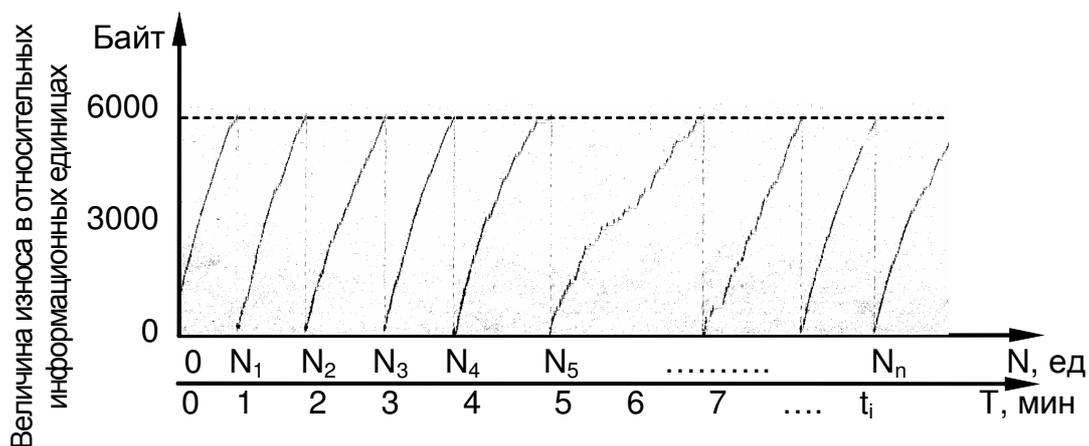


Рисунок 3 – Формирование представленного сигнала АЭ во времени в импульсной форме

N – количество наборов квантового уровня за время испытаний T

Таким образом, сигналы акустической эмиссии нужно обрабатывать посредством следующих операций:

1. Предварительное усиление.
2. Усиление с порогом нечувствительности для подавления препятствий.
3. Детектирование.
4. Низкочастотная фильтрация.
5. Выделение и кодировка отсчетов.
6. Передача кодов отсчетов.
7. Обработка результатов измерения и построение графиков.

Для сравнительной оценки износостойкости на определенном участке проведения испытаний применяется метод интегрирования информации об износе (див. рис. 2) каждого десятого сигнала в программе Microsoft Excel. Ограничение обусловлено количеством 32000 ячеек, в которые вносится информация. Единицы измерения – байты.

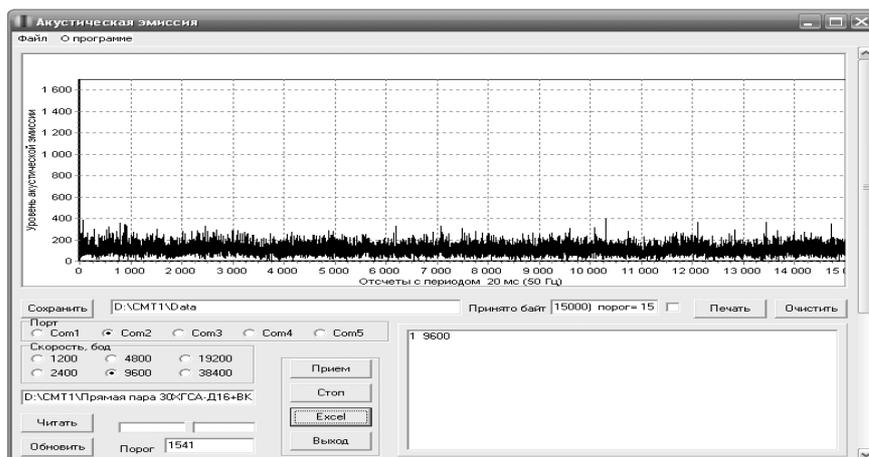
Таким образом акустико-эмиссионный метод регистрации позволяет определить скорости изнашивания трибосистем с уникально высокой чувствительностью: от деления первой частицы износа. Максимальная ошибка при регистрации интегрального параметра акустической эмиссии – усредненной мощности – находится в пределах 0,7%.

Интерфейс программы интегральной оценки скорости изнашивания показан на рисунке 4.

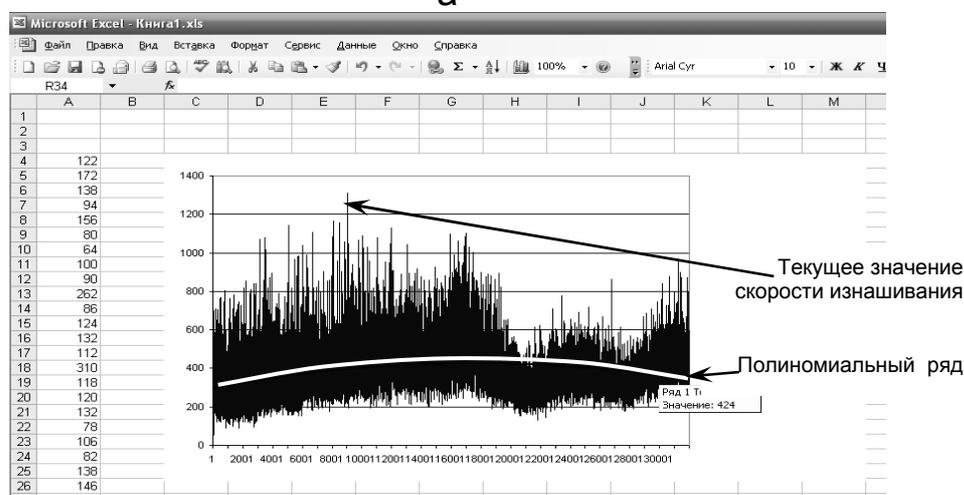
Система измерений представляет собою комплекс микропроцессорных средств, которые выполняют положенные на них функции под управлением специальных программ.

Программно-математическое обеспечение данной информационно-измерительной системы состоит из:

инструментального; прикладного; диагностического; системного.



а



б

Рисунок 4 – Интерфейсы программ интегральной оценки скорости изнашивания в относительных информационных единицах об износе:
 а – текущее значение за один файл испытаний (5 минут); б – интегральное значение за весь период испытания.

Специальное программно-математическое обеспечение акустико-эмиссионной системы было создано на основе комплекса алгоритмов в выбранной среде программирования под управлением Windows с использованием функций WINAPI. Функции WINAPI обеспечивают:

- обмен по стандартным интерфейсам – RS 232 (COM порт), LPT порт, USB порт и другие;
- построение графических элементов интерфейса пользователя (кнопки, элементы выбора, графики, панели и другие);
- создание файлов, запись их на носителе и их чтение;
- организация таймеров для временной синхронизации процессов;
- обмен данными между приложениями через буфер; создание и закрытия окон и приложений.

Экранный интерфейс обеспечивает формирование меню

«оператора», выполненного в виде многооконной структуры.

Выводы. Разработанная методика обработки акустико-эмиссионного излучения и определения скорости изнашивания, позволяющей регистрировать износ с отделением первой частицы материала трибосистемы в информационных единицах [байт/с], позволяет определить общие закономерности механизмов изнашивания разных трибосистем, разработать критерии оценки их технического состояния, а также методики прогнозирования ресурса машин и механизмов. Таким образом, метод АЭ можно отнести к нанотехнологиям в измерении износа.

Список использованных источников

1. Подмастерьев К.В. 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. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. – М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон пресс, 1993.– 454 с.

3. Джус Р.М., Стадниченко В.М., Стадниченко М.Г. Пристрій для безупинної реєстрації динаміки зміни геометрії зразків при випробуваннях на тертя і знос. Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Динаміка і міцність машин. Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – № 12. – Т.1. – с. 58-64.

4. Стадниченко В. М., Стадниченко М. Г., Джус Р. М., Чотій Л.Ю. Вибір інформативних параметрів акустичної емісії для структурної побудови автоматизованої системи контролю процесів зношування. — Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 34 (3). Харьков: НАКУ, 2003. – с. 96-103.

Поступила в редакцию 26.02.10.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Куц,
Национальный авиационный университет,
г. Киев*