

УДК 621.891:621.316

О.Н. Трошин<sup>1</sup>, В.Н. Стадниченко<sup>2</sup>, Н.Г. Стадниченко<sup>1</sup>, О.А.Гурин<sup>1</sup>, В.Н. Скляр<sup>1</sup><sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков<sup>2</sup>Национальный авиационный университет, Киев

## СИСТЕМА ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ АГРЕГАТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

*В данной статье рассмотрена методология построения информационно-диагностической системы встроенного контроля на основе метода акустической эмиссии при решении задач диагностики и прогнозирования трибосистем. Произведена оценка информативного содержания и погрешностей при регистрации диагностируемых параметров.*

**Ключевые слова:** информационно-диагностическая система, трибосистема, акустическая эмиссия, мониторинг, износ, чувствительность, погрешность.

### Введение

**Постановка проблемы.** Статистические данные по отказам работы агрегатов авиационной техники свидетельствуют о том, что самыми уязвимыми элементами энергонагруженных механизмов являются их подвижные сопряжения. Современные требования по повышению ресурса таких агрегатов приводят к росту энергонапряженности кинематических пар, многие из которых работают на пределе несущей способности. Поэтому контроль таких узлов в процессе эксплуатации является актуальной задачей, поскольку диагностируя проблемные трибосистемы можно предотвращать катастрофические последствия их отказов. Кроме того выявляя постепенно нарастающие сопутствующие эффекты ухудшения работы контролируемых агрегатов создаются предпосылки прогнозирования их ресурса до достижения критических повреждений, связанных с опасными последствиями.

**Анализ последних достижений и публикации.** Существующие методы непрерывного контроля подвижных сопряжений (пирометрическое измерение температуры узлов [1], феррография [2], вибродиагностика [3] и т.д.) как правило, информирует о появлении патологических явлений как о свершившемся факте, не предупреждая о начале развития повреждений на ранней стадии их развития. Этих недостатков лишен метод контроля основанный на анализе параметров сигналов акустической эмиссии (АЭ), поступающих непосредственно от диагностируемых трибосистем соответствующего агрегата [4].

Проводя анализ работ [5 – 8] по использованию метода АЭ в трибодиагностике следует отметить, что на данное время отсутствует единая методика выделения информативных сигналов от процессов разрушения в трибосистеме. Во-первых, это касается информативного диапазона частот регистрируе-

мых сигналов и, во-вторых, амплитудной дискриминации сигналов в этом же диапазоне для исключения приема сигналов не связанных с процессами поверхностного разрушения. Для реализации второго ограничения необходима экспериментальная постановка опыта по трению и изнашиванию, моделирующего работу контролируемых трибосистем при максимально действующих нагрузках, которые работают на начальной стадии без износа.

Первой попыткой решения данной проблемы сделана в работе [9], где установлено, что сигналы от процессов разрушения в зависимости от механизма разрушения (вязкого или хрупкого) находятся соответственно в диапазонах частот 200...400 кГц и 400...700 кГц. В то время как в большинстве работ информативный диапазон работ находился в диапазоне от 30 кГц, в этом нижнем диапазоне, регистрировали максимальные значения АЭ. Это связано же с фрикционным взаимодействием трущихся тел на макроуровне, что подтверждается отсутствием корреляционной связи между износом трибосистемы и АЭ [6, 10].

Такой подход к выделению сигнала АЭ от процессов поверхностного разрушения [9], позволил достичь высокого уровня корреляции между скоростью изнашивания и интегральной характеристикой АЭ (усредненной мощности) приведенной к определенному уровню дискриминации [11, 12, 13, 14]. В дальнейшем на этой основе разработан опытный образец малогабаритной информационно-диагностической системы (ИДС), и многофункционального программного обеспечения для решения задач диагностики широкого круга объектов диагностирования (подвижные сопряжения агрегатов авиационной техники, ДВС и т.д.).

**Целью данной работы является** обоснование структурной схемы ИДС на основе метода АЭ работающего по жесткому алгоритму приема и обработки диагностируемого сигнала.

## Изложение материалов исследований

В состав ИДС с предварительным преобразованием измеряемой физической величины входят следующие основные блоки: входное устройство, измерительный преобразователь (производит обработку измеряемого сигнала и формирует аналоговое значение мощности АЭ), АЦП, блок управления, блок индикации, процессор (или блок вторичной обработки сигналов), запоминающее устройство и/или ЭВМ.

Одной из важнейших операций, от которой существенно образом зависит точность и чувствительность ИДС, является преобразование аналогового сигнала усредненной спектральной мощности АЭ в цифровой сигнал. АЦП предполагает выполнение трех операций: дискретизацию, квантование и цифровое кодирование измеряемой величины и функционально связанной с ней информацией. В ИДС использован АЦП прямого преобразования, построенный по разомкнутой структурной схеме, которая не имеет обратной связи с выхода на вход. В то же время отдельные элементы структурной схемы ИДС охвачены обратной связью, типовая структурная схема, приведена на рис. 1.

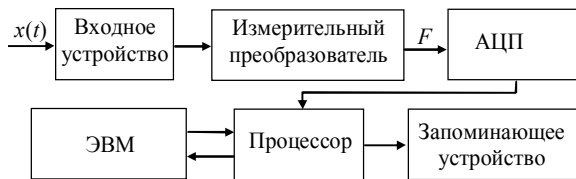


Рис. 1. Структурная схема одноканальной ИДС

Входное устройство для уменьшения помех имеет высокое входное сопротивление, линейное преобразование входного сигнала  $x(t)$  из аналогового в цифровой с учетом автоматического выбора предела измерений происходит в АЦП соответствующего уровня разрядности. От уровня разрядности зависит номинальная цена единицы наименьшего разряда, которая связана с разрешением (чувствительностью) ИДС, которая остается постоянной для каждого предела измерений.

В зависимости от разделительной способности и точности в отчетном устройстве ИДС предусмотрено определенное число десятичных разрядов отсчета измерения диагностируемого параметра (усредненной спектральной мощности), от которой также зависит чувствительность ИДС.

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).

Таблица 1

Представление кодов

77	66	55	54	33	22	11	00
00	00	00	BD12	DD11	DD10	DD9	DD8
Старший байт							
77	66	55	44	33	22	11	00
DD7	DD6	DD5	DD4	DD3	DD2	DD1	DD0
Младший байт							

Таблица 2

Формат идентификации байтов

77	66	55	54	33	22	11	00
01	00	0D12	DD11	DD10	DD9	DD8	DD7
Старший байт							
77	66	55	44	33	22	11	00
00	DD6	DD5	DD4	DD3	DD2	DD1	DD0
Младший байт							

В старших разрядах байта результат записывают маркеры – 1 (старший байт), 0 – (младший байт). Выделение кодов отсчетов из последовательности данных, используя маркеры, реализуется в блоке обработки.

Для усиления и превращения сигналов АЭ могут быть использованы операционные усилители (ОУ). Ведущие позиции в этой области занимает фирма Analog Devices. Широкий диапазон частот, малый уровень шумов, малые габариты, диапазон Rail-to-Rail по входу и выходу, малая потребляемая мощность определили использование ОУ AD8032. Типичные схемные решения для реализации функций блоков на ОУ предлагаются фирмой-производителем. АЦП с заданными характеристиками, может быть реализован на MCP3304 с последовательным интерфейсом. В схеме используется микроконтроллер с ядром AVR 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.

Достоинством выбранной схемы ИДС является возможность функционального преобразования измеряемой физической величины  $x$  в другую физическую величину  $F$ , более пригодную для последующего аналого-цифрового преобразования с учетом корреляционной связи с процессами разрушения поверхностных слоев.

Одним из этапов работы АЦП является дискретизация сигнала по времени  $x_d(t)$  в виде  $m$  мгновенных значений  $x_q$ , или отсчетов сигнала  $x(t)$ .

Интервал времени  $\Delta t_q = t_{q+1} - t_q$  между двумя смежными моментами дискретизации  $t_q$  и  $t_{q+1}$  (шаг дискретизации), он может быть постоянным  $\Delta t = \text{const}$  (равномерная дискретизация) или переменным (неравномерная дискретизация). В ИДС применяется АЦП с равномерной дискретизацией (задается из условий механизма разрушений в трибосистеме), как более простой для аппаратной реализации.

Процедура дискретизации сигнала  $x(t)$  происходит в АЦП путем умножения функции  $x(t)$  на вспомогательную периодическую последовательность  $y(t)$  достаточно коротких тактовых импульсов с периодом  $\Delta t$ . Как тактовые используются прямоугольные импульсы амплитудой  $U_0$  и продолжительностью  $\tau_0$ , которая значительно меньше, чем период  $\Delta t$ . Таким образом, дискретный сигнал  $x_d(t)$  с интервалом  $\Delta t$  представляется произведением:

$$x_d(t) = x(t)y(t).$$

Квантование по уровню обеспечивается путем представления непрерывной по значению величины  $x$  в виде конечного числа дискретных уровней квантования  $x_{kl}$ , где  $l = \overline{1, n}$ , которые создают шкалу квантования. В нашем случае квантование обеспечивает сравнение измеряемой величины с ценой единицы наименьшего разряда АЦП, в данном процессе это измерение задается равномерно с интервалом:

$$\Delta x_{kl} = x_{k(l+1)} - x_{kl}.$$

Конечный результат квантования измеряемой величины  $x_q$  (является кодом АЦП – эта величина связана с величиной информации о процессах разрушения) подается как число  $n_q$  минимальных (наименьших) интервалов квантования  $\Delta x_{k \min} = \Delta x_k$ , т.е.

$$x_q = n_q \Delta x_k,$$

где  $\Delta x_k$  – номинальная цена единицы наименьшего разряда кода (дискретность, или шаг квантования).

Квантование в ИДС заключается в представлении интегральной величины квантовых уровней за интервал времени шага дискретизации, которая отражает изменение скорости накопления повреждений (износа) в диагностируемой трибосистеме. Таким образом, в ИДС жесткий алгоритм преобразования аналогового сигнала АЭ предусматривает установление фиксированного уровня дискриминации сигналов АЭ от процессов разрушения в ограниченной полосе пропускания от 200 кГц и более в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой датчика.

Жесткий алгоритм работы АЦП предусматривает установление полосы дискретизации приема сигналов по времени регистрации и квантование их уровня. Заданная в ИДС дискриминация обусловлена величиной апертурной ошибки (интервал времени  $T_{\text{ап}} = t'_q - t_q$ , в котором сохраняется неопределенность между за-

данным и реальным отсчетом мгновенного значения сигнала  $x(t)$ ). Она связана с конечным (не нулевым) временем преобразования в АЦП любого мгновенного значения входного сигнала и его изменение за время преобразования в АЦП. Схематически появление данной ошибки показано на рис. 2.

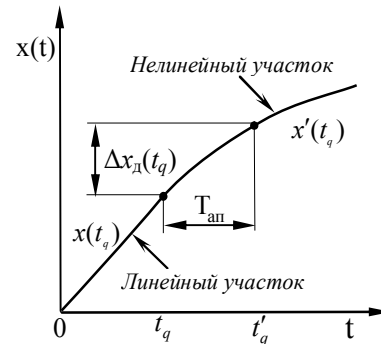


Рис. 2. К пояснению апертурной ошибки

Апертурная ошибка (динамическая)  $\Delta x_d(t_q)$  в момент дискретизации  $t_q$  равна:

$$\Delta x_d(t_q) = x(t'_q) - x(t_q).$$

Погрешность запаздывания можно оценить как

$$\Delta x_d(t_q) = x'(t_q) T_{\text{ап}},$$

где  $x'(t_q)$  – скорость изменения функции (сигнала)  $x(t)$  в точке  $t_q$ .

Для уменьшения апертурной ошибки в ИДС рабочая скорость АЦП подбиралась исходя из максимальной скорости изменения (частотного спектра) входного сигнала. Кроме того, максимальное значение времени преобразования  $T_{\text{ап}}$  в АЦП обеспечивается таким, чтобы максимальная ошибка измеряемого сигнала  $\Delta x_{d \max}$  за этот период времени не превышала уровень квантования  $\Delta x_k$ . То есть условие дискретизации в ИДС записывается как:

$$|\Delta x_{d \max}| \leq \Delta x_k.$$

Теоретические и лабораторные исследования в трибодиагностике позволили создать опытный образец ИДС контроля, который прошел испытания на машинах трения с моделированием различных видов повреждаемости трибосистем, рис. 3. Эти исследования показали высокую корреляционную связь между измеряемым параметром (усредненная мощность АЭ) и мерой повреждения трибосистем (скоростью изнашивания).

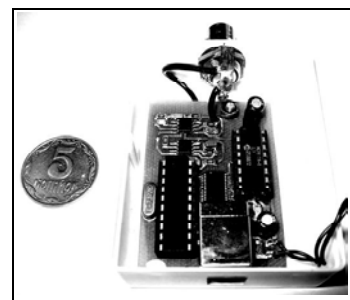


Рис. 3. Блок регистрации и обработки сигналов АЭ в ИДС

Возможности современной элементной базы по данному направлению исследований позволяют уменьшить размеры блока регистрации ИДС контроля до  $2 \text{ см}^2$  и менее. В качестве чувствительного элемента ИДС используются пьезоэлектрические преобразователи, которые имеют малые размеры, а также возможно использование пленочных преобразователей по аналогии с теми, что использовались на космическом челноке «Буран». Блок регистрации и обработки ИДС может встраиваться в конструктивный диагностируемый элемент, с предыдущей адаптацией по питанию, а также с возможностью использования своего источника питания за счет минимальных собственных энергозатрат. Накопление информации о повреждаемости осуществляется в соответствующем блоке, который может размещаться на объекте диагностирования.

Данное конструктивное решение ИДС контроля позволяет накапливать информацию за все время эксплуатации объекта контроля с учетом выполнения ремонтно-профилактических работ на нем. То есть перейти на эксплуатацию контролируемых объектов по техническому состоянию.

ИДС позволяет, регистрировать величину износа начиная с отделения первой частицы с поверхности трения, это по сути нанотехнология в измерении скорости изнашивания. При регистрации повреждений уровень сигнала возрастает на порядки. Таким образом, использование ИДС заданной структурной схемы позволяет выявить дефекты на ранней стадии их развития. Преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал в использованном ИДС АЦП имеет ряд особенностей. Механизм квантования сигналов можно представить следующей схемой, рис. 4. Регистрации измерения сигналов АЭ оценивается кодом АЦП (в относительных единицах  $n$ ), который представляет собой уровень усредненной мощности АЭ. Время усреднения определяется частотой среза фильтра низких частот.

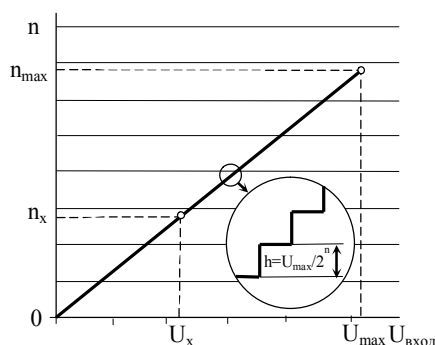


Рис. 4. Схема преобразования аналогового сигнала усредненной спектральной мощности в цифровой сигнал

Цифровое кодирование в АЦП осуществляется двоичным кодом. Двоичный код использован, поскольку он близок к оптимальному по времени вы-

числительных операций [15]. Критерием оптимальности двоичного кода является минимизация произведения системы исчисления  $h$  на количество разрядов  $l$ , т.е. при данной системе кодирования  $hl$  стремится к минимуму.

Весьма важным для оценки метрологических характеристик ИДС является оценка статистических и динамических ошибок измерения сигналов АЭ. Пути уменьшения динамической ошибки (апертурного времени) рассмотрено выше по тексту.

В общем виде основная статистическая погрешность АЦП имеет три составляющие: аддитивная; мультипликативная; нелинейная. Аддитивная составляющая основной погрешности приводит к параллельному смещению градуировочной характеристики АЦП, мультипликативная составляющая – к отклонению реальной градуировочной характеристики АЦП от номинальной, а нелинейная составляющая – к отклонению реальной градуировочной характеристики АЦП от прямой линии (рис. 4). Для уменьшения аддитивной и мультипликативной составляющих основной погрешности в ИДС используется операции «Установка нуля» и «Калибровка», которые выполняются автоматически. Погрешность нелинейности уменьшается периодически проведением калибровок для фиксированного калибровочного значения опорного сигнала, который в каждый момент времени измерений формирует опорный сигнал и на выходе микроконтроллера.

Результаты использования ИДС при проведении лабораторных и стендовых испытаний показали, что исключить полностью аддитивную и мультипликативную составляющие погрешности АЦП в полной мере не удастся, это обусловлено следующими причинами:

- изменением этих составляющих погрешности во времени, ибо они «плывут» после установки нуля и калибровки до начала измерений;
- изменением климатических факторов (влажность, температура), при которых выполнялась установка нуля и калибровка.

Тем не менее, использование встроенной системы диагностики технического состояния агрегатов существенным образом снижает аддитивные и мультипликативные погрешности ИДС. Пиковые значения регистрируемых параметров АЭ связаны с величиной информации о скорости накопления повреждений в диагностируемом объекте. С точки зрения получения информации о кинетике процессов изнашивания с использованием обработки сигналов АЭ, наиболее приемлемой является организация непрерывного режима записи информации в виде файлов (рис. 5) с последовательной записью и сохранением каждого результата измерения в устройстве запоминания (жестком диске компьютера). По оси абсцисс записывается номер измерения, а по оси ординат величина усредненной мощности сигналов АЭ.

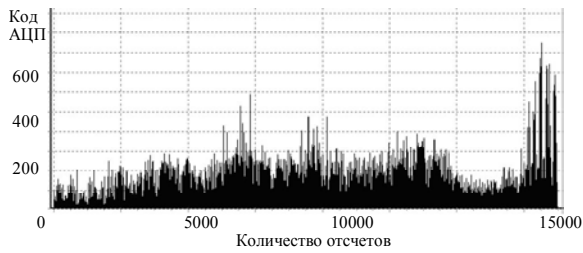


Рис. 5. Один файл информации об измерениях меры повреждения усредненной мощности сигналов АЭ диагностируемого объекта, сохраняемый в блоке накопления информации

После определенного уровня наработки диагностируемого объекта, проводится построение итоговых интегральных характеристик изнашивания трибосистем во времени испытаний и их анализ. Переход ко времени на оси абсцисс осуществляется перемножением количества отсчетов на время дискретизации одного отсчета.

Метрологическая оценка измерительного тракта ИДС проведенного на основании методики [15], а также после реализации мероприятий по снижению погрешностей изложенных выше показали, что погрешности измерения мощности сигналов АЭ и связанной с ней информации о скорости изнашивания трибосистем находится на уровне 0,7%. Величина погрешности зависит также от характера зависимости меры повреждения и измеряемым диагностируемым параметром (линейная, нелинейная зависимость).

Статистическая погрешность из-за конечной продолжительности наблюдения случайного процесса без знания вида корреляционной функции  $\delta_f$  оценивается по формуле:

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

где  $\theta = T/\tau_{кк}$ ,  $T$  – продолжительность наблюдения;  $\tau_{кк}$  – интервал корреляции исследуемой функции  $x(t)$ ;  $\Phi_v(\xi) - v - a$  – производная интеграла вероятности  $\Phi(\xi)$ ,  $\xi = \frac{x}{\sigma_x}$ :  $\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{1/2\xi^2} d\xi$ .

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{1/2\xi^2} d\xi$$

Определение  $\Phi_v(\xi)$  осуществляют с помощью полиномов Эрмита, [16].

Практические расчеты показывают, что данный вид погрешности  $\delta_f$  в среднем не превышает 1,2%.

В работе [8] показано, что при ограничении длительности регистрации сигналов АЭ, величина погрешности энергии и мощности сигналов при различных механизмах разрушения поверхностного слоя не превышает 0,002%.

Оценка границ допустимых значений основных погрешностей ИДС, приводится по формуле [15]:

$$\delta_{од} = \pm \sum_{i=1}^n |\delta_{од i}|,$$

где среди составляющих погрешностей  $\delta_{од}$  могут быть как аддитивные, так и мультипликативные.

Метод АЭ является косвенным методом и для того чтобы представить результаты в единицах измерения износа необходимо установить взаимосвязь износа и интегральной характеристики АЭ в виде параметра удельной эмиссионной активности [17], величина износа в данной работе определялась весовым методом, который имеет свою погрешность.

Определение этих погрешностей, которые носят инструментальный характер связанных, с использованием ИДС связаны с определением взаимосвязи информационного параметра регистрируемого в процессе диагностики подвижных сопряжений с величиной их скорости изнашивания [17].

Проведенная авторами в работе [14], позволила установить, что погрешности данного метода находятся в пределах величины, удельной эмиссионной активности испытываемых материалов в данной работе она находилась в пределах 2...2,5% [17], которая связана как с физико-механическими свойствами материалов, так и с масштабом процесса изнашивания. Поскольку в этом случае испытаниям подвергались материалы, близкие по своим физико-механическим свойствам, масштабы изменения этих пределов определены не были. Дальнейшие исследования, проведенные на материалах которые существенным образом отличаются по своим физико-механическим свойствам показали, что параметры удельной эмиссионной активности могут отличаться на порядки [18].

Принятый в ИДС подход к приему, обработке и регистрации сигналов АЭ, позволил регистрировать и разделять по уровням сигналы от износа различных по своим физико-механическим свойствам элементов и установить уровень сигнала от микроповреждений поверхностного слоя, который в дальнейшем приводит к отделению частиц износа и таким образом обосновано установить уровень амплитудной дискриминации, рис. 6.

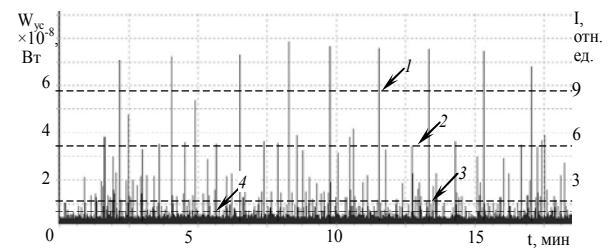


Рис. 6. Диаграмма изменения усредненной мощности сигналов АЭ  $W_{yc}$  по времени:

- 1 – средний уровень при отделении частиц износа БрАЖ 9-4;
- 2 – средний уровень при отделении частиц износа стали Сталь 40;
- 3 – средний уровень от микродефектов и пластической деформации поверхностных слоев;
- 4 – уровень дискриминации по амплитуде

Итак, метод трибодиагностики с использованием АЭ достаточно точный, и погрешности систем-

ного характера существенно не влияют на него. Это предопределяет условия использования метода АЭ для технической диагностики и расчетов по прогнозированию ресурса техники, в которой используются новые материалы.

## Выводы

Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности ИДС на основе метода АЭ работающего по жесткому алгоритму приема и обработки диагностируемого сигнала обеспечивает достаточную точность при регистрации различных видов повреждений подвижных сопряжений из-за уменьшения погрешностей системного характера, которые присущи приборам АЭ, которые широко распространены в настоящее время.

## Список литературы

1. Подмастерьев К.В. Автоматизированная система сбора и анализа данных при трибомониторинге. [Текст] / К.В. Подмастерьев, В.В. Мишин, Е.В. Пахолкин и др. // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы междунар. научн.-практ. конф. – Новочеркасск: НПО «Темп», 2001. – Ч. 3. – С. 40-42.
2. Антипенко А.М. Основы трибологии. [Текст] / А.М. Антипенко, М.Г. Стадніченко та ін.: Під заг. ред. В.А. Войтова – Х.: ХДТУСГ ім. П. Василенка, – 2008. – 342 с.
3. Ключев В.В. Технические средства диагностирования: Справочник. [Текст] / В.В. Ключев, П.П. Пароменко, В.Е. Абрамчук и др.. – М.: Машиностроение, – 1989. – 672 с.
4. Сарычев Г.А. Анализ акустического излучения при фрикционном взаимодействии твердых тел. [Текст] / Г.А. Сарычев, В.М. Щавелин, В.Н. Баранов // Трение и износ, – 1985. Т. 6, №1. – С. 39-47.
5. Акустические и электрические методы в триботехнике. [Текст] / А.И. Свириденко, Н.К. Мышкин, Т.Ф. Калмыкова и др. – Мн.: Наука и техника. – 1987. – 280 с.
6. Баранов А.В. Ультразвуковой мониторинг работы трибосопряжений. [Текст] / А.В. Баранов, С.В. Тарасевич, В.А. Вагнер. // Ползуновский вестник – Барнаул: АГТУ. – 2012. – №1 – С. 23-27.
7. Маркова Л.Ф. Перспективы развития трибодиагностики. [Текст] / Л.Ф. Маркова // Трение и износ. – 2006. – Т. 11, №7. – С. 175-184.
8. Марьян Б.Н. Акустическая эмиссия в экспериментальном материаловедении. [Текст] / Б.Н. Марьян, Н.А. Семашко, В.И. Шпорт – М.: Машиностроение. – 2002. – 240 с.
9. Березняков А.И. О взаимосвязи характеристик акустического излучения поверхности трибосопряжения

с трибологическими параметрами. [Текст] / А.И. Березняков, В.Н. Стадніченко // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, №3. – С. 312-317.

10. Лебедев В.М. Акустические исследования работы трибосопряжений, смазываемых пластичными смазочными материалами. [Текст] / В.М. Лебедев, А.В. Баранов // Долговечность трущихся деталей машин. – М.: Машиностроение. – 1988. – №3. – С. 234-243.

11. Filonenko S.F. Research of influence of thermal resistance of elements of tribosystem on wearproofness of friction units. [Text] / S.F. Filonenko, V.N. Stadnichenko, O.N. Troshin // Proc. 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.

12. Запорожец В.В. Методология ускоренной оценки износостойкости образцов с электроискровыми покрытиями. [Текст] / В.В. Запорожец, В.Н. Стадніченко // Проблемы трибологии. – 2010. – №4. – С. 25-32.

13. Стадніченко В.М. Прогнозування ресурсу трибосистем з використанням інформативних параметрів акустичної емісії. [Текст] / В.М. Стадніченко, М.Г. Стадніченко, В.В. Варваров // «Новітні технології для захисту повітряного простору»: Мат. Шостої наукової конференції ХУПС. – 2010 – С. 55.

14. Запорожець В.В. Прискорена методика визначення зносостійкості нанопокриттів в трибосистемах з використанням інформативних параметрів акустичної емісії. [Текст] / В.В. Запорожець, В.М. Стадніченко, О.М. Трошин та ін. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – №3(25). – С. 19-24.

15. Цифрові вимірювальні прилади. [Текст] / В.М. Чинков. – Харків: НТУ «ХПИ», – 2008. – 508 с.

16. Вероятностный анализ систем автоматического управления. [Текст] / Н.А. Лившиц, В.Н. Пугачев – М.: Советское радио, – 1963. – 896 с.

17. Стадніченко В.Н. Классификация видов нанозноса по значению коэффициента диссипации подводимой внешней энергии к трибосистеме. [Текст] / О.Н. Трошин, Н.Г. Стадніченко, В.Н. Стадніченко и др. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2011. – №1(27), – С. 51-61.

18. Трошин О.Н. Информативное содержание метода акустической эмиссии для безразборной диагностики узлов авиационной техники. [Текст] / О.Н. Трошин, Н.Г. Стадніченко, Р.Н. Джуус, О.А. Гурин // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2013. – №2(11) – С. 80-83.

Поступила в редакцию 21.01.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. В.В. Логинов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## СИСТЕМА ВБУДОВАНОГО КОНТРОЛЮ АГРЕГАТИВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

О.М. Трошин, В.М. Стадніченко, М.Г. Стадніченко, О.О. Гурін, В.М. Скляр

В даній статті розглянута методологія побудови інформаційно-діагностичної системи вбудованого контролю на основі методу акустичної емісії при вирішенні задач діагностики і прогнозування трибосистем. Проведена оцінка інформативного змісту і похибок при реєстрації параметрів, що діагностуються.

**Ключові слова:** інформаційно-діагностична система, трибосистема, акустична емісія, моніторинг, знос, чутливість, похибка.

## BUILT-IN CHECKING SYSTEM OF AGGREGATES OF AVIATION TECHNIQUE

O.N. Troshin, V.N. Stadnichenko, N.G. Stadnichenko, O.A. Gurin, V.N. Sklayr

In the given article the methodology of construction of the informative-diagnostic built-in checking system on the basis of method of acoustic emission at the decision of tasks of diagnostics and prognostication of tribosystem is considered. Estimation of informing maintenance and errors during registration of the diagnosed parameters is produced.

**Keywords:** information and diagnostic system, tribosystem, acoustic emission, monitoring, depreciation, sensitivity, accuracy.