

УДК 691.891

И.В. Рубан, О.Н. Трошин, С.В. Смирнов, Ю.А. Мусиенко

*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛАБОРАТОРНЫХ И СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ В ТРИБОТЕХНИКЕ**

*В статье рассмотрены пути автоматизации при создании информационно-диагностической системы трибодиагностики с привлечением статических и динамических методов измерений износа, изложена методика регистрации и обработки поступающей информации в процессе проведения лабораторных и стендовых испытаний в триботехнике.*

**Ключевые слова:** *триботехника, трибосистема, износостойкость, линейные методы измерения износа, метод акустической эмиссии.*

#### **Введение**

Надежность современных машин и механизмов, в значительной мере определяется техническим состоянием их трибосистем [1, 2]. При эксплуатации деталей машин изменяются геометрические характеристики, структура, свойства и напряженно-деформированное состояние поверхностей фрикционного контакта. Поэтому возникает необходимость осуществления контроля технического состояния трибосистем. Последнее особенно актуально в связи с тем, что эффект от эксплуатации по техническому состоянию эквивалентен стоимости 30% общего парка машин [1, 2, 3].

Контроль технического состояния деталей машин в процессе эксплуатации проводится методами технической диагностики [3]. Для повышения эффективности алгоритма распознавания дефектов в трибосистемах необходима разработка диагностических систем, которые устанавливают связь между состоянием трибосистемы и его отображением в пространстве диагностических сигналов [4].

Высокие требования к надежности трибосистем дали новый импульс в развитии нанотехнологий. Повышение износостойкости, а значит и ресурса трибосистем в данном случае достигается путем нанесения

на их поверхность покрытий, которые по своим эксплуатационным характеристикам многократно превосходят свойства традиционно применяемых в машиностроении материалов. Отработка технологии их нанесения, оценка эксплуатационных характеристик (износостойкости и антифрикционных свойств) потребовали новых подходов при проведении лабораторных и стендовых испытаний. Цифровые методы измерений регистрируемых диагностических параметров позволяют существенным образом увеличить точность и чувствительность при их регистрации. Существует два подхода измерения износа в трибосистемах: статический (после проведения лабораторных, стендовых испытаний); динамический (в процессе всего периода испытаний).

Высокая износостойкость нанопокровов требует либо проведения длительных испытаний, либо проведения ускоренных испытаний с применением методов измерения износа, обладающих высокой чувствительностью и точностью, которые подтверждаются стандартными метрологическими процедурами. Эффективным путем для решения этой задачи может стать совмещение прямых и непрямых динамических методов измерения линейного износа при проведении лабораторных, стендовых испытаний трибосистем.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ методов статического и динамического измерения износа в трибосистемах применяемых в настоящее время изложен в работе [5].

Статические методы исследований поверхностей фрикционного контакта обеспечивают более полную информацию, но не обеспечивают проведение непрерывного контроля процесса изнашивания, что значительно сужает диапазон для их использования.

Этого недостатка лишены динамические методы, которые позволяют непрерывно контролировать процесс изнашивания поверхностей фрикционного контакта трибосистем без их разборки. Они подразделяются на активные и пассивные. Среди активных методов наибольшее распространение нашли: методы радиоактивных изотопов; измерения электромагнитных параметров; интенсивности гамма-рентгеновского и лазерного излучения; работы выхода электрона, экза-электронной и акустической эмиссии.

Метод радиоактивных изотопов признан наиболее эффективным из динамических методов измерения износа. Он заключается в определении интенсивности радиоактивного излучения проб среды, где происходит изнашивание контролируемой детали. Его применение существенным образом ограничено по экологическим и экономическим показателям.

Среди непрямых динамических методов наибольшее распространение нашел метод акустической эмиссии. Применение данного метода в трибодиагностике изложено в работах [4, 6]. Данный метод признан нанотехнологией в измерении износа, поскольку регистрирует износ, начиная с отделения первой частицы. Недостатком данного метода является невозможность разделения сигналов от износа каждого из элементов трибосистемы.

Из прямых динамических методов измерения износа трибосистем наибольшее распространение нашли электронно-механические устройства. Попытки создания подобных устройств уже предпринимались [5, 7, 8]. Конструкция [5] представляет собой новое устройство для испытаний на трение и износ с возможностью регистрации величины износа по времени испытаний. Оно не производится серийно и не стандартизовано. В устройствах [7, 8] линейные перемещения в трибосистеме измеряются индуктивными датчиками, которые используют различные электронные схемы. Чувствительность подобных датчиков не высокая и зависит от частоты выходного сигнала. Этот недостаток удалось преодолеть при использовании индуктивного датчика новой конструкции, разработанной в институте геотехнической механики НАН Украины [9]. Данная электронная схема была применена для прецизионного датчика измерения износа на машине трения 2070 СМТ-1 [10]. Но ее конструктивной особенностью является то, что она воспринимает сигналы,

возникающие в результате биения валов машины трения.

В устройстве [8], в качестве датчика вертикальных перемещений предлагается использовать компьютерный манипулятор «мышь», подключенный к ПЭВМ. Это устройство позволяет автоматизировать регистрацию показаний датчика, но имеет недостатки перечисленных выше устройств для измерения линейного износа.

Перечисленные выше недостатки устройств для измерения износа были устранены в конструкции, предложенной авторами работы [11]. В созданном устройстве помехи от биения валов и подвижной каретки трения полностью исключаются благодаря кинематической схеме и закреплению всего устройства на самой каретке. Для повышения чувствительности при измерении износа в кинематической схеме устройства используют прецизионный мультипликатор с передаточным числом 1:40. Достоинством этого устройства является наличие тарировочного измерительного устройства, что является необходимым требованием по метрологическому обеспечению измерений. В этом случае цифровой сигнал об износе или толщине граничного слоя регистрируется инкодером и передается в ПЭВМ.

**Цель и постановка задачи.** Недостатки прямых и непрямых методов измерения износа (метод акустической эмиссии, метод линейного измерения износа) существенным образом уменьшаются при их одновременном применении на машинах трения. Измерение всех регистрируемых параметров при испытании трибосистем необходимо проводить по принципам согласованного квантования усредненных сигналов. Методике регистрации и обработки поступающей информации в процессе проведения лабораторных и стендовых испытаний в триботехнике и формированию схемы построения информационно-измерительного комплекса трибодиагностики и посвящена данная статья.

### **Изложение материала исследований**

В настоящее время в ряде работ [6, 12] достаточно подробно изложена структура построения канала регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии.

Канал регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии 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 осуществляется сочетанием максимальных возможностей современных средств вычислительной техники.

Каждое из данных устройств можно рассматривать как независимый модуль, который выполня-

ет определенные функции. Причем тракт усиления сигналов акустической эмиссии работает по «жесткому неизменному алгоритму». Весь процесс измерения и обработки информации строится на обеспечении совместной работы специализированного модуля аналоговой и предварительной цифровой обработки и персонального компьютера.

Связь специализированного модуля аналоговой, предварительной цифровой обработки и компьютера осуществляется по универсальной последовательной шине USB с использованием специально программного и математического обеспечения.

Такой подход позволяет производить распределение функций между устройствами канала регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии по их назначению, 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 следящей многократной вторичной обработки.

С точки зрения получения информации о кинетике процессов изнашивания с использованием обработки сигналов акустической эмиссии, такая структура измерительного канала является наиболее приемлемой для 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 (жесткий диск ПЭВМ).

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 исчисляться десятками Гбайт, что ограничивается возможным объемом запоминания и обработки больших массивов данных вычислительной техникой. Данный этап развития вычислительной техники уже существенно позволяет повысить частоту опроса от датчиков измерения триботехнических параметров. При этом сохранение исходной информации на устройстве запоминания позволяет проводить гибкую, многократную вторичную обработку с использованием программного математического обеспечения. 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.

Проведенный выше анализ дает возможность сформировать концепцию построения информационно-измерительного комплекса трибодиагностики, которая должна основываться на ряде методов: регистрации и преобразования первичной информации о трибосистеме; сохранения информации; усиления, выделения и обработки сигналов от датчиков; управления процессами измерений информационными потоками и контроля оборудования [12]. При этом технические решения должны базироваться на широком использовании электронных средств, которые работают по «жесткому» алгоритму.

Система трибодиагностики должна обеспечивать измерение параметров регистрации и управление внешними параметрами нагружения (нагрузка, скорость скольжения, температура окружающей среды и среднеповерхностной температуры контактной области).

Информационно-диагностическая система должна использовать цифровой способ обработки и анализа информации. При этом электронные средства по всем каналам регистрации должны иметь минимальную конфигурацию.

Система (комплекс) должна быть ориентирована на максимальное использование гибких программных средств, которые обеспечивают измерение регистрируемых параметров и управление процессами измерений обработки и анализа информации и представление результатов.

Реализация данной концепции может быть осуществлена на совмещение максимальных возможностей современных средств вычислительной техники и программного обеспечения.

Определение количества регистрируемых и анализируемых параметров в информационно-измерительной системе должно быть также гибким и определяется программой испытаний и задачами, которые ставятся в ходе их проведения.

Для объективного анализа динамики процессов трения изнашивания структура приема и обработки сигналов по каждому из каналов регистрации должна быть однотипной, т.е. за основу можно взять канал регистрации акустической эмиссии и распространить его конструкцию на все остальные каналы. Такой подход к формированию канала регистрации среднеповерхностной температуры в трибосистеме бесконтактным пирометрическим методом позволит регистрировать не только усредненные значения температуры, но и температурные всплески при отделении частиц износа и при переходе к патологическим видам изнашивания на их начальной стадии.

В качестве основных информационных параметров трибосистемы, которая бы использовала ди-

намические прямые и не прямые методы измерения износа, могут быть:

- усредненная мощность акустической эмиссии;
- толщина граничного слоя элементов трибосистемы;
- температура в зоне контакта трибосистемы;
- момент на валу привода машины трения.

Регистрация данных параметров должны проводиться в одном и том же интервале времени усреднения и выводится на экранный интерфейс монитора ПЭВМ.

В настоящее время [6] каждый параметр регистрируется в своем экранном окне интерфейсе оператора с различным временем усреднения, что, безусловно, является недостатком. Программное обеспечение должно давать возможность увеличивать количество каналов регистрируемых параметров, это важно для дальнейшего развития системы трибомониторинга.

В качестве параметров задающих эксплуатационные условия работы трибосистем могут быть частота вращения, нагрузка, температура окружающей среды (смазочного материала), режим смазки.

Данные о времени проведения испытания, материалы, условия смазки, параметры, которые управляются нагрузкой, скоростью скольжения, температурой окружающей среды, должны быть отражены в главном окне интерфейса оператора.

Такая конфигурация информационно-измерительного тракта системы трибомониторинга может быть рекомендована практически для всех серийных выпускаемых машин трения и испытательных стендов в триботехнике при их модернизации и изготовлении.

### Выводы

Таким образом, разработана схема автоматизированного комплекса трибодиагностики в основе, которой лежит использование прямых и непрямых методов измерения износа, применением современных подходов к регистрации и обработки измеряемых параметров с использованием ПЭВМ.

### Список литературы

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: мат-лы междунар. научн.-пр. 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. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский – Самара: Самар. ГТУ, 2000. – 268 с.
4. Технические средства диагностирования: Справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко и др. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
6. Стадниченко В.Н. Диагностика процессов изнашивания фрикционных узлов трансмиссий авиационных ГТД методом акустической эмиссии / В.Н. Стадниченко // Вопросы проектирования и производства конструкций ЛА. – Х.: ХАИ, 2010. – №1 (61). – С. 108-117.
7. Миронов Е.А. Методы измерения величины износа и температуры поверхности образцов при испытании материалов на износ / Е.А. Миронов, В.А. Баздеркин, Н.Г. Станниченко // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техника, 1982. – Вып. № 22. – С. 49-52.
8. Пасічник О.А., Комплекс для автоматичного вимірювання і реєстрації величини зносу / О.А. Пасічник, А.Г. Кузьменко // Проблеми трибології. – 2002. – №1. – С. 156-159.
9. Панов В.А. Прецизионный измеритель перемещения / В.А. Панов, А.В. Вишницкий, Ю.Е. Яковлев // Радио. – 1986. – № 5. – С. 27-28.
10. Дворук В.І. Методика випробування на тертя та зношування / В.І. Дворук, М.В. Матросов // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – № 50. – С. 44-49.
11. Джус Р.М. Пристрій для беззупинної реєстрації динаміки зміни геометрії зразків при випробуваннях на тертя і знос / Р.М. Джус, В.М. Стадніченко, М.Г. Стадніченко // Вісн. НТУ «ХПИ». Зб. наук. пр. Темат. вип.: Динаміка і міцність машин. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2003. – Т.1, №12. – С. 58-64.
12. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, диагностика. – К.: Издат-во КМУГА, 1999. – 304 с.

Надійшла до редакції 12.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Калкманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Кожедуба, Харків.

### АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЛАБОРАТОРНИХ І СТЕНДОВИХ ВИПРОБУВАНЬ В ТРИБОТЕХНІЦІ

I.V. Ruban, O.M. Troshin, S.V. Smirnov, Yu.A. Musienko

У статті розглянуто шляхи автоматизації при створенні інформаційно-діагностичної системи трибодіагностики з використанням статичних і динамічних методів виміру зносу, викладена методологія реєстрації і обробки інформації яка поступає у процесі проведення лабораторних і стендових випробувань в триботехніці.

**Ключові слова:** триботехніка, трибосистема, зносостійкість, лінійні методи вимірювання зносу, метод акустичної емісії

### AUTOMATION OF LABORATORY PROCESSES AND BENCH TESTS IN TRIBOTECHNICS

I.V. Ruban, O.N. Troshin, S.V. Smirnov, Yu.A. Musienko

In article it is considered automation ways at creation of information-diagnostic system tribodiagnosics with attraction of static and dynamic methods of measurements of deterioration, the methodology of registration and processing of the information arriving in the course of carrying out of laboratory and bench tests in tribotechnics is stated.

**Keywords:** tribotechnics, tribosystem, wearresistance, linear methods of measurement of deterioration, a method of acoustic issue.