

Оксень Е.И., д.т.н., Цокур В.Г., к.т.н., Оксень Д.Е., студент

АДИ ДонНТУ, г. Горловка

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РЕСУРСА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР МЕХАНИЗМОВ ДВИГАТЕЛЯ ПО УРОВНЮ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

*Приведена методика оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по уровню сигналов акустической эмиссии, примеры измерения и расчёта энергии акустических сигналов, возникающих в паре «палец – поршень» двигателя внутреннего сгорания. Предложены зависимости для оценки ресурса рабочих поверхностей звеньев кинематических пар.*

### **Введение**

Контроль и диагностирование состояния элементов по сигналам акустической эмиссии широко применяется для конструкций, стационарных установок и агрегатов в условиях повышенных требований к надёжности и гарантированности предотвращения отказов [1]. Современное развитие техники и технологий цифрового фиксирования и обработки сигналов создало перспективы для создания мобильных аппаратно-программных комплексов акустического диагностирования двигателей, агрегатов и систем машин при анализе их технического состояния. Выводы о ресурсе рабочих поверхностей звеньев кинематических пар механизмов машины при акустическом диагностировании могут быть сделаны на основании сопоставления интенсивности сигналов акустической эмиссии, возникающих при работе исправных и дефектных механизмов. Поэтому исследования, направленные на разработку методики получения, обработки и количественного сравнения сигналов акустической эмиссии кинематических пар механизмов машины, обеспечивающих выявление неисправностей на ранних стадиях их возникновения при относительно небольших трудозатратах, являются актуальными.

### **Формулирование проблемы**

Измерение и фиксирование сигналов акустической эмиссии, как правило [2], осуществляют с помощью контактных пьезокерамических и аналого-цифровых плат или модулей, подключенных к компьютеру или микропроцессорному комплексу. Применение цифровых методов измерения и обработки сигналов [3, 4] позволяет выполнить аппаратуру диагностирования, работающую в режиме реального времени. При этом, как измерительный тракт, так и программа обработки и сравнения должны обеспечивать:

- надёжное измерение сигналов акустической эмиссии;
- расчёт энергии акустического импульса;
- сравнение энергии измеренного акустического импульса с образцовым;
- защиту от электрических и механических помех.

В настоящей работе рассмотрены вопросы обоснования критерия сравнения энергии акустических импульсов сигналов эмиссии и определения влияния полосы пропускания сигналов на надёжность выделения дефекта в кинематических парах механизмов.

Цель работы – разработка методики оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по энергии сигналов акустической эмиссии.

### Методика исследований

Отработка и тестирование методики оценки ресурса кинематических пар двигателя системы по энергетическим параметрам сигналов акустической эмиссии выполнена на примере пары «поршень – палец». Для этого (рис. 1) поршень *1* устанавливался в приспособлении *2* относительно пальца *3* в центрах *4*. Сигналы акустической эмиссии воспринимались пьезокерамическим преобразователем *5*, контактирующим с пальцем через волновод, выполненный в форме одного из центров приспособления. При проведении измерений использовались пьезокерамические преобразователи с резонансной частотой 25 кГц. Работа пары «поршень – палец» моделировалась приложением знакопеременного кинематического импульса вдоль оси поршня *6*.

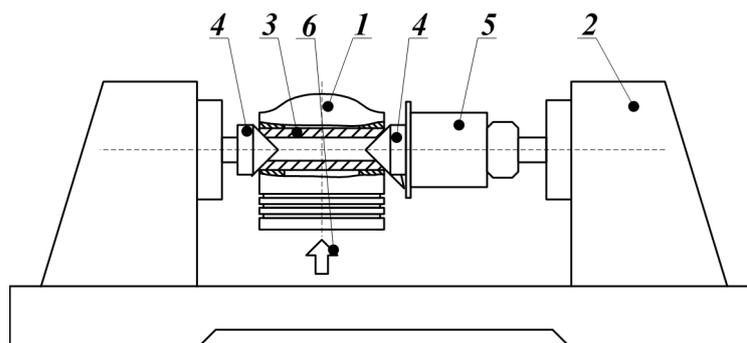


Рис. 1. Схема измерительного приспособления

Исследования выполнялись сопоставлением характеристик сигналов акустической эмиссии в паре со смазкой вязкостью порядка  $9 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Вязкость смазки в паре задавалась подбором соотношения смеси индустриального масла И-20 и дизельного топлива марки «Л» для температурных условий измерений. Контроль вязкости смазки выполнялся стеклянным капиллярным вискозиметром ВПЖ-2.

Измеряемый сигнал подавался на линейный вход платы АЦП-ЦАП PCI 1202Н производства компании ICP DAS (Тайвань), анализировался и фиксировался при частоте опроса  $45 \text{ Ксемпл/с}$  с помощью программы, разработанной в среде LabVIEW.

### Результаты исследований

Сигналы акустической эмиссии в паре «поршень – палец» при внезапном приложении кинематического импульса носят характер затухающей волны (рис. 2). Длительность интервала затухания сигнала акустической эмиссии в кинематической паре составляет порядка  $30 \text{ мс}$ .

Используя быстрое Фурье-преобразование для полученных сигналов  $U_i$  построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ)  $Pu(v)$  как  $Pu_i = |\text{fft}(U_i)|$ , при этом частота рассчитывалась по формуле

$$v_i = \frac{i}{SR \cdot N}, \quad (1)$$

где  $SR$  – частота опроса,  $1/\text{с}$ ;

$N$  – длина вектора сигнала.

Несмотря на внешние отличия в сигналах (для удобства визуального сопоставления на диаграмме (см. рис. 2) импульсы *2* – *5* смещены относительно горизонтальной оси с шагом  $100 \text{ мВ}$ ) для каждой конструкции пары «поршень – палец» АЧХ зафиксированных сигналов достаточно близки (рис. 3), что указывает на равные условия формирования акустических импульсов. Особенностями АЧХ сигналов (см. рис. 3б) является наличие выраженных макси-

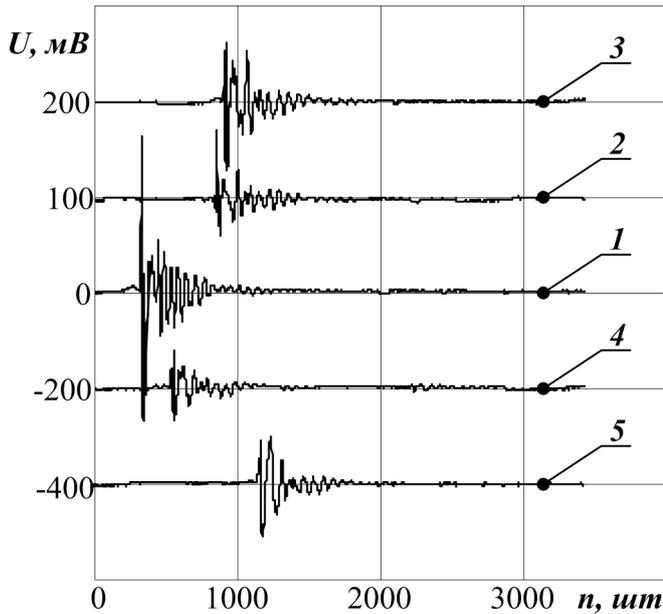


Рис. 2. Форма сигналов акустической эмиссии в паре «поршень – палец»

мумов со средними для серии испытаний значениями частот 683 Гц – пик 1, 836 Гц – 2 и нечётко выраженной области 3 (2,0÷4,3 кГц). Следует отметить, что образование частотных максимумов 4 со средней частотой 56,3 Гц, находящихся вблизи частоты тока электрической сети, необходимо отнести к помехам в сигнале, обусловленными наводками в измерительном тракте.

Для оценки вклада частотных составляющих в энергетический баланс импульса использовалось соотношение расчёта мощности амплитуд сигнала (рис. 4)

$$Eu_i = \int_{\nu_n}^{\nu_g} Pu_i \cdot d\nu \approx \sum_{k=\nu_n}^{\nu_g} Pu_i \cdot \Delta\nu, \quad (2)$$

где  $\nu_n$ ,  $\nu_g$  – нижняя и верхняя границы частотных интервалов, 1/с;

$\Delta\nu = \frac{1}{SR \cdot N}$  – шаг вектора частоты, Гц.

Выполненный анализ вклада частотных составляющих в энергию акустического импульса показал, что введение нижней границы пропускания до 130 Гц приводит к потере 4 %

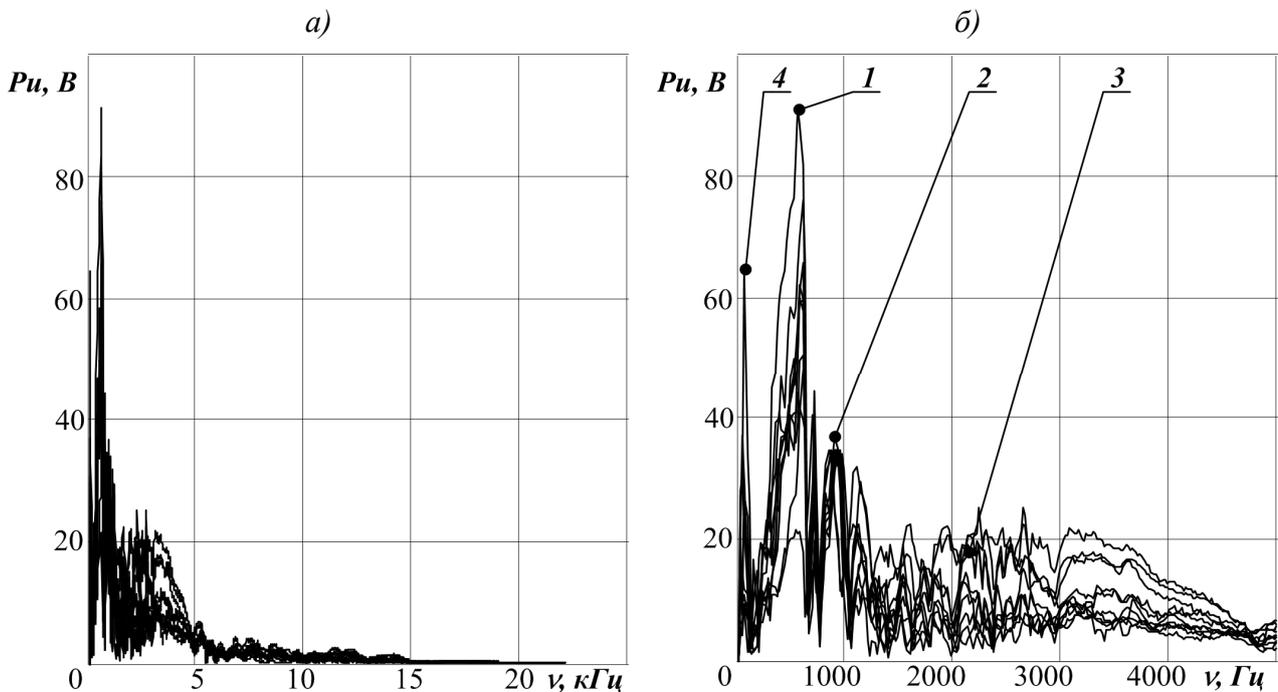


Рис. 3. Совокупность АЧХ сигналов акустической эмиссии в паре «поршень – палец»  
а) АЧХ в частотном спектре измерений; б) фрагмент АЧХ сигналов акустической эмиссии в диапазоне частот 0÷5000 Гц

энергии сигнала, а до  $400 \text{ Гц}$  – до 11 %. Введение верхней границы пропускания на уровне  $13000 \text{ Гц}$  приводит к потере 12 % энергии сигнала.

В соответствии с принятой схемой энергетической оценки частотных составляющих к исследуемым сигналам была применена Фурье-фильтрация по алгоритму

$$cUf_i = \overline{fft(U_i) \cdot cf}, \quad (3)$$

$$\text{где } cf = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq \nu < \nu_n \\ 1 & \text{if } 0 \leq \nu \leq \nu_n \\ 0 & \text{if } \nu_g < \nu < \nu_{\max} \end{cases} \text{ – коэффициент фильтрации.}$$

При этом восстановленный после фильтрации образ сигнала рассчитывался обратным быстрым Фурье-преобразованием

$$Uf_i = \overline{ifft(cUf)}. \quad (4)$$

Проведенными расчётами выявлено, что при установлении полосы пропускания  $400 \div 2000 \text{ Гц}$  сигналы акустической эмиссии кинематических пар «поршень – палец» теряют до 40 % энергии, но при этом после фильтрации (рис. 5) практически не теряют своих характерных особенностей (сигналы смещены по вертикали на  $100 \text{ мВ}$ ).

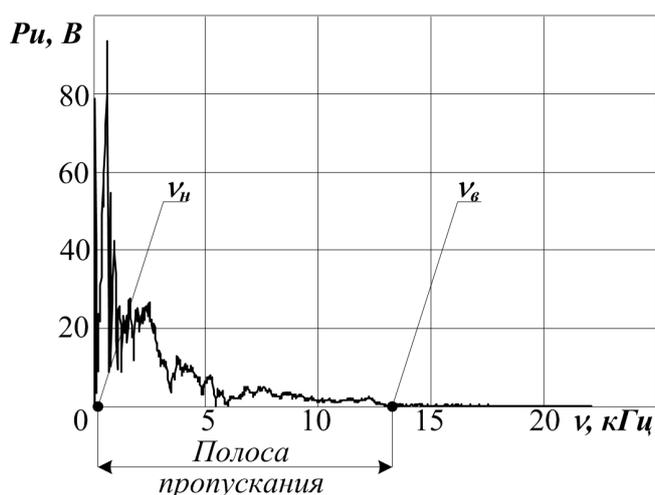


Рис. 4. Схема анализа вклада частотных составляющих в энергию импульса

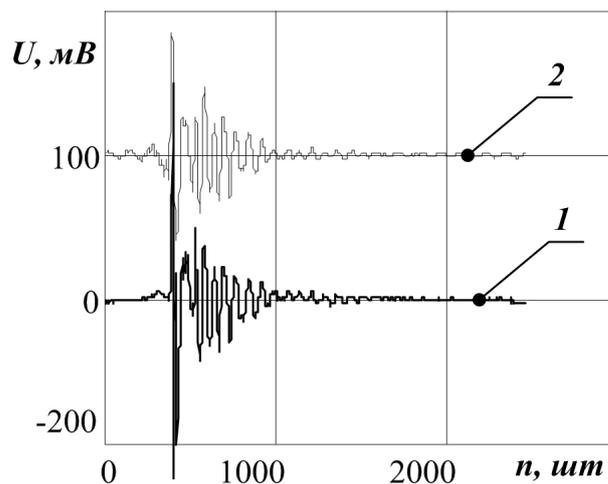


Рис. 5. Фурье-фильтрация сигналов: 1 – исходный; 2 – после фильтрации

Уменьшение верхней границы полосы пропускания сигнала ниже  $1700 \text{ Гц}$  для кинематических пар «поршень – палец» приводит к потерям энергии импульса свыше 60 % и более существенным искажениям образа сигнала. Таким образом, для исследованных кинематических пар при фиксировании и обработке сигналов целесообразно вводить аппаратную и программную фильтрацию сигналов с полосой пропускания на уровне  $400 \div 2000 \text{ Гц}$ .

### **Практическое использование**

Практическая реализация разработанной методики оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по уровню сигналов акустической эмиссии выполнена в виде программы анализа сигналов акустической эмиссии, функционирующей в режиме реального времени. Разработка виртуального прибора оценки состояния выполнена в среде LabVIEW.

Для исключения из анализируемых сигналов помех и энергетически несущественных колебаний в программе применён цифровой фильтр Баттерворта, величины нижней и верхней отсечки которого устанавливаются регуляторами на панели управления. Для анализа сигналов применена буферизация размерностью 2096 элементов. Для обеспечения надёжного попадания импульсов акустической эмиссии в буфер обновление последнего принято с шагом вспомогательного буфера в 128 элементов. В качестве критерия оценки остаточного ресурса кинематических пар механизмов применено значение мощности амплитуд сигнала, рассчитываемое для каждого значения вектора сигнала, находящегося в основном буфере, по формуле (2). Разработанный прибор может быть использован как для определения значений критериев исправных (эталонных) кинематических пар, так и для диагностирования реально эксплуатируемых машин.

### *Заключение*

1. Предложена методика оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по уровню сигналов акустической эмиссии на основе критерия мощности амплитуд сигнала. Установлены рациональные диапазоны частот пропускания сигналов для пар «поршень – палец» двигателей внутреннего сгорания автомобилей, обеспечивающих надёжное фиксирование акустических особенностей.

2. Разработанная методика оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по уровню сигналов акустической эмиссии может быть рекомендована для практического использования при диагностировании двигателей внутреннего сгорания.

### *Список литературы*

1. Акустическая эмиссия и её применение для неразрушающего контроля в атомной энергетике / Под ред. К. Б. Вакара. – М.: Атомиздат, 1980. – 260 с.
2. Филоненко С.Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – К.: КНУЦА, 1999. – 304 с.
3. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 387 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – Санкт-Петербург: Питер, 2002. – 608 с.
5. Оксень Е.И., Гарачук А.В., Быков В.В. Особенности акустических параметров двигателя ВАЗ 2103 / Вісті автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник / АДІ ДонНТУ. – Горлівка, 2006. – № 1(2). – С. 59-64.

Стаття надійшла до редакції 10.06.07  
© Оксень Є.І., Цокур В.Г., Оксень Д.Є., 2007