

УДК 621.375
DOI: 10.14489/td.2016.08.pp.022-029

ФОРМИРОВАНИЕ ВЕКТОРА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА



В. Н. Костюков,
д-р техн. наук,
ООО «Научно-производственный центр «Динамика», Омск, Россия.
E-mail: post@dynamics.ru



А. П. Науменко,
д-р техн. наук,
ООО «Научно-производственный центр «Динамика», Омск, Россия



С. Н. Бойченко,
канд. техн. наук,
ООО «Научно-производственный центр «Динамика», Омск, Россия



И. С. Кудрявцева,
Омский государственный технический университет, Омск, Россия



Статья поступила в редакцию 26.04.2016

Received 26.04.2016

Расширение пространства диагностических признаков, повышающее достоверность и глубину диагностирования, всегда являлось актуальной задачей.

Объективность оценки вибрационных процессов основывается на использовании их статистических характеристик – числовых, таких как математическое ожидание, дисперсия (среднеквадратическое

рассмотрены возможности применения статистических характеристик – числовых и функциональных – для оценки вибрационных процессов. Проведенные исследования показали, что использование площади под кривой модуля характеристической функции мгновенных значений виброакустических сигналов для различных узлов и механизмов в качестве диагностического признака и формирование вектора диагностических признаков на его основе позволило предложить принципиально новый диагностический параметр, который является инвариантным к конструкции машины и предельным значениям параметра. Применение данного параметра позволяет повысить достоверность результатов диагностики при одновременном упрощении алгоритмов диагностирования.

Ключевые слова: виброакустический сигнал, вибрационные процессы, статистические характеристики, характеристическая функция, диагностический параметр.

V. N. Kostyukov, A. P. Naumenko, S. N. Boychenko
(DYNAMICS Scientific & Production Center, Ltd., Omsk, Russia);
I. S. Kudryavtseva (Omsk State Technical University, Omsk, Russia)

FORMATION OF DIAGNOSTIC FEATURE VECTOR BASED ON CHARACTERISTIC FUNCTION OF VIBROACOUSTIC SIGNAL

Improvement of fault diagnosis reliability and depth is based on the application of fault criteria system, which is formed by combining the various parameters of diagnostic signals. Therefore, the ex-tension of the scope of signal diagnostic parameters and fault symptoms is important for diagnosis. The paper discusses the possibility of applying probabilistic characteristics both numerical and functional to estimate the parameters of vibration processes that characterize the defects and faults of the various mechanisms. Studies of vibration parameters when changing the condition of rolling bearings within various units and mechanisms showed that the probability density of the instantaneous values of the vibroacoustic signal, and in particular, the acceleration also changes its parameters when the bearing condition changing. Similar results were obtained when analyzing the probabilistic characteristics of the instantaneous values of vibroacoustic signals received from different assemblies of reciprocating compressors. We found that the change in the condition of such reciprocating compressor parts as discharge and suction valve, details of piston-cylinder units, slide-crank and cranking mechanisms, the crankshaft bearings, the probability curves of the instantaneous values of the vibration signal significantly change. The latter fact is clearly visible when analyzing the parameters of the approximated distribution functions and probability density. For the first time in vibroacoustic diagnostics it was proposed to use such probabilistic characteristic of random processes as a characteristic function to analyze the properties of distribution function curve and probability curve. The studies have shown that the area under the curve of the modulus of the characteristic function of the instantaneous value of vibroacoustic signals of different components and mechanisms may be used as a diagnostic parameter. Formation of the diagnostic features vector based on the parameter has allowed to propose a new diagnostic feature of fault invariant to machine design and the limit values of vibroacoustic signal. Based on revealed regularity there have been developed a method and techniques of vibroacoustic diagnosis of various units of machines and mechanisms, as well as the vibroacoustic signal processing algorithm. Application of the developed diagnosis method and diagnostic characteristics based on the characteristic function of vibroacoustic signal allows to increase the depth and the reliability of diagnosis while simplifying diagnosis algorithms.

Keywords: vibroacoustic signal, vibration processes, statistical characteristics, characteristic function, diagnostic parameter.

отклонение (СКО) или значение (СКЗ)), асимметрия, эксцесс и т.д., и функциональных: функция распределения вероятности, плотность вероятности, ковариационная функция, функция спектральной плотности, характеристическая функция и др. [1, 11].

Здесь следует заметить, что если числовые характеристики случайных процессов описывают процесс скалярной величиной и могут быть использованы в качестве диагностических признаков, то функциональная зависимость – это характеристика процесса, показывающая зависимость одной величины от другой, сама по себе не может являться диагностическим признаком. В качестве диагностического признака выбирается значение функции при заданном значении аргумента: амплитуда колебательного процесса при заданной частоте по функции спектральной плотности, величина процесса при заданной вероятности по функции распределения вероятности (квантиль) и т.д.

Выбор параметра характеристики сигнала

Весьма перспективным является использование такой вероятностной характеристики случайного процесса, как *характеристическая функция* (х.ф.), предложенная А. М. Ляпуновым в 1902 г. [2, 3]:

$$\begin{aligned} \theta(v) &= \int e^{jvx} f(x) dx = \\ &= m_1 \{ \exp(jvx(t)) \} = m_1 \{ \cos[vx(t)] + \\ &+ j \sin[vx(t)] \} = A(v) + iB(v) = \\ &= |\theta(v)| \exp(j\gamma(v)), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\theta(v)$ – одномерная характеристическая функция вибрации $x(t)$; v – параметр характеристической функции вибрации $x(t)$; $x(t)$ – случайная вибрация в точке измерения; $f(x)$ – функция распределения; $A(v) = m_1 \{ \cos[vx(t)] \}$ – действительная часть х.ф.; $B(v) = m_1 \{ \sin[vx(t)] \}$ – мнимая часть характеристической функции; $|\theta(v)| = \sqrt{A^2(v) + B^2(v)}$ – модуль характеристической функции; $\gamma(v) = \arctg[A(v)/B(v)]$ – аргумент характеристической функции; m_1 – символ математического ожидания (статистического среднего).

Характеристическая функция связана с плотностью вероятно-

сти $p(x)$ случайного процесса обратным преобразованием Фурье

$$\theta(v) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) e^{jvx} dx \quad (2)$$

и тем самым отражает и описывает все свойства вибрационного процесса.

Вектор диагностических признаков формируется на основе элементарных скалярных составляющих [4], поэтому в качестве скаляра х.ф. предложено [8] использовать оценку ее интегральной характеристики – площадь под кривой модуля характеристической функции

$$S_{|\theta(v)|} = \int |\theta(v)| dv. \quad (3)$$

Предварительный анализ виброакустических сигналов, полученных для бездефектного («хорошего») подшипника (рис. 1, *a*, *b*, *d*), состояние которого оценивалось на специальном стенде для вибродиагностики подшипников качения, и подшип-

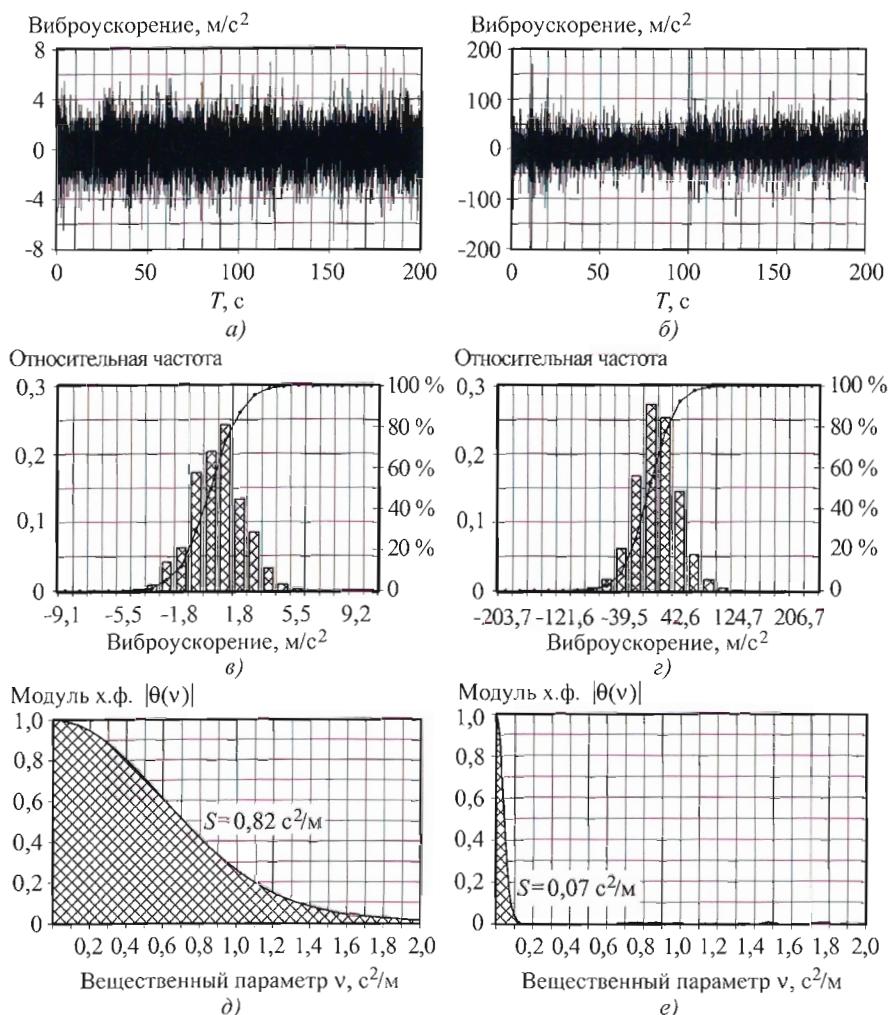


Рис. 1. Характеристики бездефектного (*a*, *b*, *d*) и с дефектом (*c*, *e*) подшипников

ника с дефектом («плохого») (рис. 1, б, г, е), показал, что не только пиковые значения виброакустического сигнала существенно (по абсолютной величине почти в 20 раз) различались (см. рис. 1, а и б), но и эмпирические плотности вероятности также различались существенным образом (рис. 1, в и г). Последний факт обусловливает и существенное отличие характеристических функций (рис. 1, д и е). При этом скалярные величины – площади под кривыми полученных характеристических функций – отличаются более чем в 10 раз. Здесь необходимо иметь в виду, что х.ф. является интегральной статистической характеристикой виброакустического процесса, учитывающей не только энергию процесса, но и его пиковые характеристики.

Теоретическое обоснование диагностического параметра

Теоретические предпосылки значимости и достоверности полученных результатов и обоснования алгоритмов обработки экспериментальных данных основываются на следующем. Учитывая, что для центрированных случайных вибрационных процессов функция распределения вероятности мгновенных значений виброакустического сигнала в общем случае соответствует закону распределения Вейбулла–Гнеденко [4] с параметрами, описываемыми четной функцией плотности вероятности, можно теоретически оценить площадь под кривой х.ф. Для упрощения решения задачи воспользуемся нормальным распределением.

Для гауссовой случайной величины с заданными параметрами математического ожидания m и СКО σ х.ф. имеет вид

$$\theta(v) = \exp\left[jmv - \frac{\sigma^2 v^2}{2}\right], \quad (4)$$

при $m = 0$

$$\theta(v) = \exp\left(-\frac{\sigma^2 v^2}{2}\right). \quad (5)$$

Определим площадь под кривой х.ф.:

$$S_{\theta(v)} = \int_0^v \exp\left(-\frac{\sigma^2 v^2}{2}\right) dv. \quad (6)$$

Далее воспользуемся интегралом вероятности вида

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (7)$$

который представляет собой нормальную функцию распределения для $m = 0$, $\sigma = 1$, и произведем замену переменной при $v = 1$, $t = \sigma v$:

$$t = \sigma v; \quad dt = \sigma dv; \quad dv = \frac{dt}{\sigma}, \quad (8)$$

подставляем (8) в (6):

$$S_{\theta(v)} = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (9)$$

площадь под кривой х.ф. на отрезке от $-\infty$ до $t = \sigma v$ определим как

$$S_{\theta(v)} = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \Phi(\sigma v); \quad t = \sigma v, \quad (10)$$

а на отрезке от $-\infty$ до 0:

$$S_{\theta(v)} = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \Phi(0) = \frac{\sqrt{2\pi}}{\sigma} \frac{1}{2} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sigma}. \quad (11)$$

Таким образом, площадь под кривой х.ф. является величиной обратно пропорциональной СКО σ . При этом чем хуже вибросостояние объекта, тем больше СКО, что соответствует общепринятой методологии диагностирования центробежных и поршневых машин [4 – 6], и, соответственно, меньше площадь под кривой х.ф. $S_{|\theta(v)|}$.

Эмпирический анализ данных

Эмпирический анализ экспериментальных данных, заключавшийся в исследовании величин площади под кривой х.ф., в целях снижения погрешности проводили по формуле Симпсона

$$S_{|\theta(v)|} = \int_{-\infty}^b A(v) dv = \int_a^b A(v) dv = \frac{b-a}{3n} \left(\frac{A(v_0) + A(v_n)}{2} + (A(v_1) + A(v_2) + \dots + A(v_{n-1})) + 2(A(v_{1/2}) + A(v_{3/2}) + \dots + A(v_{n-1/2})) \right), \quad (12)$$

где a , b – границы интегрирования, при которых величина х.ф. принимает значения более 0,025 на всем интервале интегрирования; n – количество равных элементарных отрезков на интервале $[a; b]$, при этом $v_0 = a$, $v_n = b$, $v_{n-1/2}$ – середины равных элементарных отрезков.

Погрешность оценки площади под кривой х.ф. определяли по формуле

$$\delta = \frac{S_{\text{эксп}} - S_{\text{теор}}}{S_{\text{теор}}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где $S_{\text{теор}} = \sqrt{2\pi}/\sigma$.

Расчеты показали, что при длине выборки экспериментальных данных $n = 5$, СКО $\sigma = 100$ и $-0,1 \leq v \leq 0,1$ погрешность составила $\delta = 3,8\%$. При увеличении длины выборки данных до $n = 400$ при $\sigma = 100$ и $-0,1 \leq v \leq 0,1$ погрешность составила $\delta = 2,5\%$.

Верификация диагностического признака

Экспериментальную верификацию предлагаемого диагностического признака в виде величины площади под кривой $x.f S|\theta(v)|$ при заданных пределах изменения параметра v характеристической функции $\theta(v)$ осуществляли путем измерения вибрации в информативной точке корпуса центробежного насоса (в зоне установки опорного подшипника качения), выделения составляющей вибрации, характеризующей виброактивность подшипника насоса, последующей полосовой фильтрации в диапазоне частот от 6 до 9 кГц и оценкой параметров характеристической функции вибрации.

В качестве критериев технического состояния по параметрам вибрации установлено три оценки:

– «ДОПУСТИМО» (Д) – допустимо при длительной эксплуатации. Характеризует полностью работоспособное состояние агрегата при малой вероятности отказа;

– «ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» (ТПМ) – допустимо при непродолжительной эксплуатации. Предупреждает о приближении технического состояния к предельному, наличии развивающихся дефектов, постепенной утрате работоспособности и росте вероятности отказа. Используется для предупреждения о необходимости текущего обслуживания и/или планомерного вывода агрегата в ремонт;

– «НЕДОПУСТИМО» (НДП) – недопустимо при эксплуатации. Характеризует наличие развитых дефектов и достижение агрегатом предельного либо опасного состояния с высокой вероятностью отказа. Служит для предупреждения о необходимости немедленного останова агрегата и вывода его в ремонт.

Результаты эмпирических исследований $x.f$ вибрации 10 насосов с исправными опорными подшипниками, находящимися в состоянии «ДОПУСТИМО», приведены на рис. 2, а. В декартовой системе координат по оси абсцисс откладывали параметр $x.f v$, а по оси ординат – модуль $x.f |\theta(v)|$. Для определения зависимости $x.f$ вибрации использовали выражение (12). Число отсчетов реализации вибрации машины составляло $N = 20\,000$ при частоте дискретизации 25 кГц, длина реализации – 800 мс. Параметр $x.f v$ задавали в диапазоне от -2 до 2 с шагом 0,1. Общее время, затраченное на получение этой зависимости, составило менее 20 с.

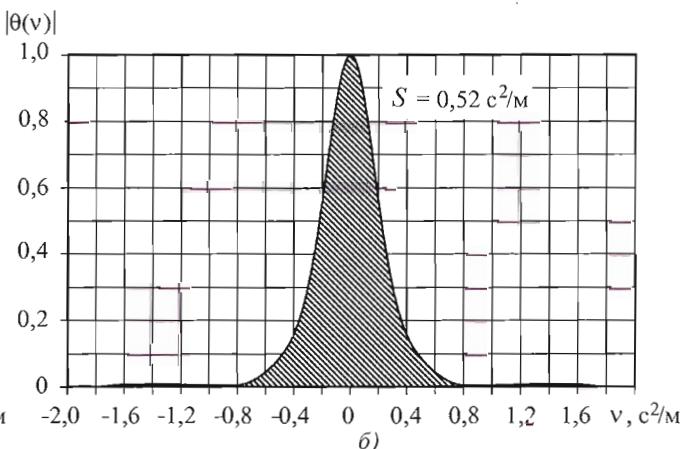
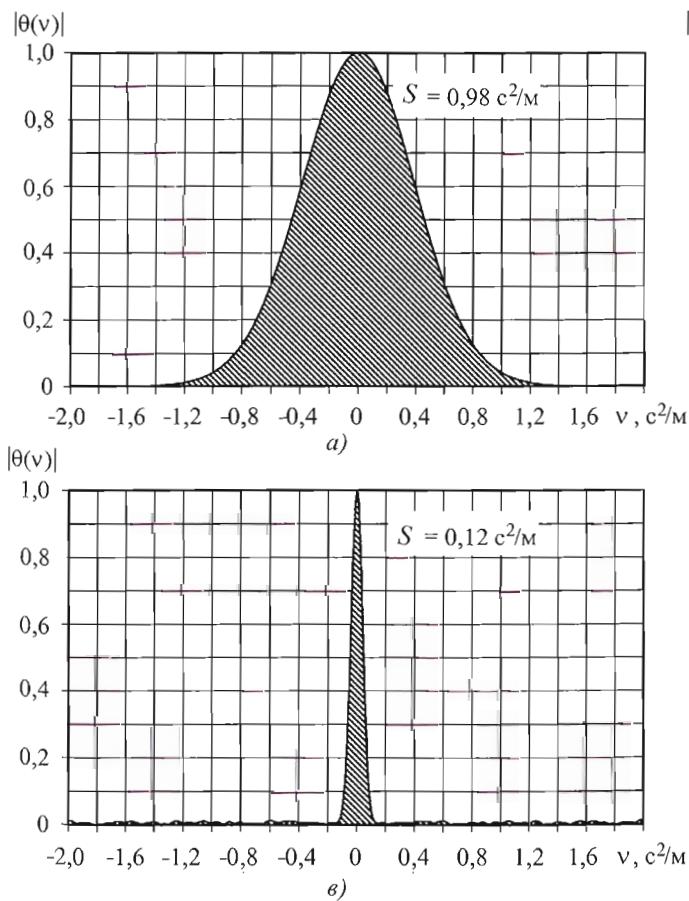


Рис. 2. Модуль $x.f S_{|\theta(v)|}$ мгновенных значений виброакустического сигнала с подшипника в состояниях:
а – Д; б – ТПМ; в – НДП

Типичная характеристическая функция, усредненная по результатам испытаний 10 насосов, для исправных подшипников приведена в виде зависимости, показанной на рис. 2, а. Аналогичным образом были получены характеристические функции для подшипников с начальными, зарождающимися дефектами, находящихся в состоянии ТПМ, – усредненная зависимость на рис. 2, б и характеристические функции для подшипников с сильными, развитыми дефектами, находящихся в состоянии НДП, – усредненная зависимость на рис. 2, в.

Изменения интегральной характеристики – площади под кривой модуля х.ф. $S_{|\theta(v)|}$ – в зависимости от различных технических состояний подшипников, приведенные на рис. 2, наглядно подтверждают преимущества данного диагностического признака перед известными: имеется инвариантный признак с пределами изменения от 0 для неисправных объектов до величин, не превышающих 1, для исправных узлов, механизмов и машин.

Учитывая, что нормированные границы для значений площади под кривой модуля х.ф. $S_{|\theta(v)|}$ стремятся к 0 при деградации состояния механизма, то исключается необходимость подбора исправных и неисправных машин-эталонов конкретных типов для установления предельных значений параметра х.ф. $S_{|\theta(v)|}$ и обучения систем диагностики, существенно сокращая сроки их разработки и внедрения.

Результаты экспериментальных исследований

Предлагаемый инвариантный признак позволяет существенно сократить продолжительность диагностирования, поскольку одноактный расчет площади под кривой модуля х.ф. позволяет получить параметр, который учитывает статистические свойства измеряемой величины, а не использовать такие характеристики, как дисперсия процесса, асимметрия, эксцесс, вид и параметры функции распределения и др. В результате появляется возможность интегральной оценки технического состояния объекта всего по одному измеряемому параметру, например в соответствии с таблицей, и использовать площадь под кривой модуля х.ф. при формировании вектора диагностических признаков неисправностей.

Зависимость технического состояния объекта от площади под кривой модуля х.ф. $S_{|\theta(v)|}$

«ДОПУСТИМО» (Д)	«ТРЕБУЕТ ПРИНЯТИЯ МЕР» (ТПМ)	«НЕДОПУСТИМО» (НДП)
$S_{ \theta(v) } \geq 0,7$	$0,2 < S_{ \theta(v) } < 0,7$	$S_{ \theta(v) } \leq 0,2$

На рис. 2 показано, что при нахождении механизма в состоянии «ДОПУСТИМО» площадь $S_{|\theta(v)|} = 0,98 \text{ c}^2/\text{м}$, т.е. существенно превышает указанную в таблице границу 0,7.

Согласно рис. 2, б, если состояние механизма оценивается как ТПМ, то площадь под кривой модуля х.ф. $S_{|\theta(v)|} = 0,52 \text{ c}^2/\text{м}$ и лежит в диапазоне от 0,2 до 0,7 (см. таблицу).

Площадь под кривой модуля х.ф. $S_{|\theta(v)|}$ на рис. 2, в для механизма в состоянии НДП составляет $0,12 \text{ c}^2/\text{м}$, что существенно ниже указанной в таблице границы 0,2.

Алгоритм (12) определения х.ф. отличается простотой реализации средствами современной микропроцессорной техники и аналого-цифрового преобразования. Среднеквадратическая ошибка s оценки модуля х.ф. при $N = 20\,000$ не превышает

$$s < (2N)^{-1/2} < 0,5 \%. \quad (14)$$

Учитывая, что виброакустический сигнал, получаемый с различных узлов поршневых компрессоров, имеет значительные величины пик-фактора [7], т.е. отношения величины пиковых значений сигнала к его СКЗ могут изменяться от нескольких раз до десятков раз при возникновении дефектов и неисправностей [4, 5, 9, 10], были проведены исследования возможности применения характеристической функции для оценки состояния узлов и деталей поршневых компрессоров (рис. 3).

Для примера на рис. 3, а – в приведены временные реализации (зависимости амплитуды виброускорения от времени) виброакустических (ВА) сигналов, полученных с датчиков на нагнетательных клапанах поршневого компрессора, для трех состояний клапанов: а – Д; б – ТПМ; в – НДП. Гистограммы и эмпирические функции распределения (g – Д, δ – ТПМ, e – НДП) показывают, что в зависимости от состояния клапанов формы гистограмм и функций распределения изменяются существенным образом. Оценка площади $S_{|\theta(v)|}$ под кривыми модулей характеристических функций для различных состояний клапанов показывает, что для клапанов в состоянии Д площадь $S_{|\theta(v)|} > 0,7 \text{ c}^2/\text{м}$, для состояния ТПМ площадь $S_{|\theta(v)|} = 0,4 \text{ c}^2/\text{м}$, а для состояния НДП $S_{|\theta(v)|} < 0,09 \text{ c}^2/\text{м}$. Полученные результаты оценки величин площади $S_{|\theta(v)|}$ под кривыми модулей х.ф. в зависимости от состояния клапанов соответствуют данным таблицы.

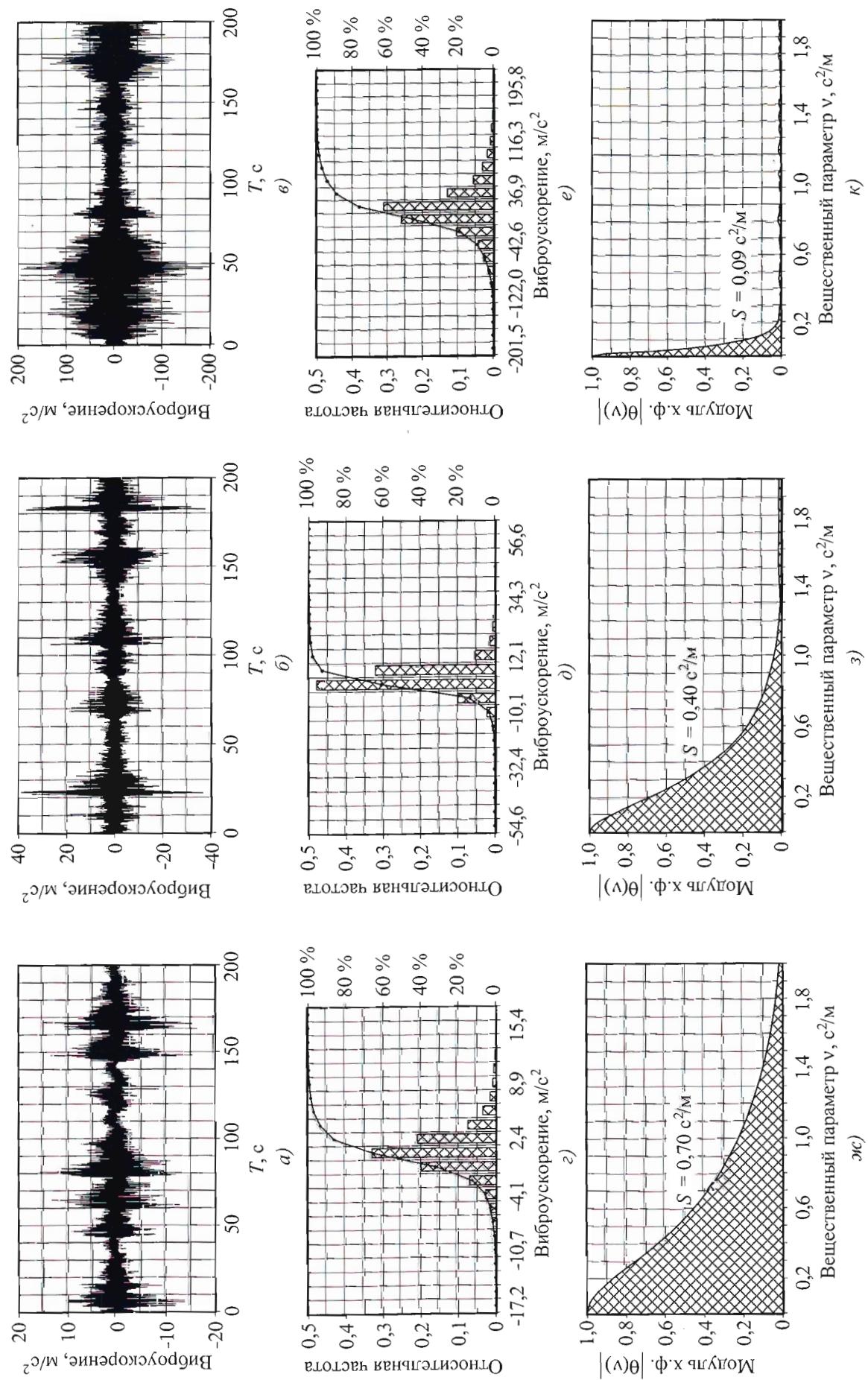


Рис. 3. Изменения формы ВА-сигналов, кривых плотности вероятностей и модулей х.ф. в зависимости от изменения состояния магнитательных клапанов поршневой машины

Аналогичные результаты получены и для оценок величин площади $S_{\theta(v)}$ под кривыми модулей х.ф. мгновенных значений вибрации акустических сигналов с датчиков, установленных на цилиндрах четырехцилиндровых горизонтальных оппозитных поршневых компрессоров в осевом направлении (по ходу движения поршня), на всасывающих клапанах, над ползуном крейцкопфа, на коренных подшипниках.

Заключение

Экспериментальные исследования свидетельствуют, что использование площади под кривой модуля характеристической функции мгновенных значений вибрации акустических сигналов для различных узлов и механизмов как центробежных, так и поршневых машин в качестве диагностического признака и формирование вектора диагностических признаков на его основе позволяют предложить принципиально новый диагностический параметр, который является инвариантным к конструкции машины и предельным значениям параметра, величина которого изменяется от 1 до 0.

Таким образом, фактически предложен новый способ вибрационной диагностики механизмов по характеристической функции вибрации [8], основанный на измерении и использовании для диагностики принципиально нового инварианта – площади под кривой модуля х.ф. вибрации, который позволяет повысить достоверность результатов диагностики при одновременном упрощении алгоритмов диагностирования.

Библиографический список

1. Kostyukov V. N., Naumenko A. P., Boichenko S. N., Kudryavtceva I. S. Diagnostics of rolling bearings by the parameters of the characteristic function // 12th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies CM 2015/MFPT 2015. Oxford: The British Institute of Non-Destructive Testing, 2015. P. 246 – 249. ISBN: 978-1-5108-0712-9.
2. Вешкурцев Ю. М. Прикладной анализ характеристической функции случайных процессов. М.: Радио и связь, 2003. 204 с.
3. Вешкурцев Ю. М. Эффективность оценок характеристической функции случайных процессов. Новосибирск: Наука, 2013. 230 с.
4. Науменко А. П. Научно-методические основы вибродиагностического мониторинга поршневых машин в реальном времени: дис. ... д-ра техн. наук. Омск: ОмГТУ, 2012. 423 с.
5. ГОСТ Р 56233–2014. Контроль состояния и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования

опасных производств. Вибрация стационарных поршневых компрессоров. М., 2014.

6. ГОСТ 32106–2013. Мониторинг оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. М., 2013.

7. ГОСТ ИСО 8041–2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. М., 2006.

8. Пат. 2517772 РФ, МПК G01M 7/02. Способ вибродиагностики механизмов по характеристической функции вибрации / В. Н. Костюков, А. П. Науменко, С. Н. Бойченко, И. С. Кудрявцева; заявитель и патентообладатель ООО «НПЦ «Динамика». 2012143962/28; заявл. 15.10.2012; опубл. 27.05.2014 // Бюл. 2014. № 15.

9. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Regulatory and methodological support of piston compressors vibration analysis monitoring // COMADEM 2013 (Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management): Proceedings of the 26th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, June 11–12, 2013. Finland, Helsinki, 2013. 7 p.

10. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. Rationing of piston machines vibration // 10th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies CM2013/MFPT2013. June 17 – 20, 2013: materials of a conference. Created by Coxmor Publishing Co., on behalf of the BINDT, UK, 2013. 9 p.

11. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. The Piston Compressor: The Methodology of the Real-Time Condition Monitoring // Journal of Physics. Conference Ser. 2012. V. 364. Is. 1. P. 012130.

References

1. Kostyukov V. N., Naumenko A. P., Boichenko, S. N., Kudryavtceva I. S. (2015). *Diagnostics of rolling bearings by the parameters of the characteristic function*. 12th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies CM 2015/MFPT 2015. (pp. 246 – 249). Oxford: The British Institute of Non-Destructive Testing.
2. Veshkurtsev Iu. M. (2003). *Applied analysis of the characteristic function of random processes*. Moscow: Radio i sviaz'. [in Russian language]
3. Veshkurtsev Iu. M. (2013). *Efficiency of assessments of the characteristic function of random processes*. Novosibirsk: Nauka. [in Russian language]
4. Naumenko A. P. (2012). *Scientifically-methodical basics of the real time vibrodiagnostic monitoring of the piston machines*. PhD thesis. Omsk: OmGTU. [in Russian language]
5. Condition monitoring and diagnostics of machines. Monitoring of hazardous production equipment. Vibration of stationary reciprocating compressors. (2014). Ru Standard No. GOST R 56233–2014. Russian Federation. Moscow. [in Russian language]
6. Monitoring of hazardous production equipment. Vibration of centrifugal pump and compressor units. Ru Stand-

ard No. GOST 32106–2013. Russian Federation. Moscow. [in Russian language]

7. Vibration. Impact on human. Measuring instruments. Ru Standard No. GOST ISO 8041–2006. Russian Federation. Moscow. [in Russian language]

8. Kostyukov V. N., Naumenko A. P., Boichenko S. N., Kudriavtseva I. S. (2014). The method for vibration diagnostics of the mechanisms by the characteristic function of vibration. Ru Patent No. 2517772. Russian Federation. LLC «Dynamica». [in Russian language]

9. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. (2013). *Regulatory and methodological support of piston compressors vibration analysis monitoring*. COMADEM 2013 (Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management):

Proceedings of the 26th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, June 11–12, 2013. Finland, Helsinki.

10. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. (2013). *Rati-*
ning of piston machines vibration. 10th International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies CM2013/MFPT2013. June 17 – 20, 2013: materials of a conference. Created by Coxmor Publishing Co., on behalf of the BINDT, UK.

11. Kostyukov V. N., Naumenko A. P. (2012). The Piston Compressor: The Methodology of the Real-Time Condition Monitoring. *Journal of Physics. Conference Ser.*, 364(1), p. 012130.

КРЫМСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

Региональная общественная организация «Крымское общество неразрушающего контроля, технической диагностики и промышленной безопасности» приглашает принять участие в Крымской международной конференции и выставке.

Тема конференции «*Управление и функционирование системы промышленной безопасности на основе современных технологий инструментальной диагностики и экспертиза технических устройств на опасных производственных объектах*».

Дата и место проведения: 2 – 6 октября 2016 г. на базе ФГБУ Санаторий «Гурзуфский», пгт Гурзуф, ул. Ленинградская, 10.

Тематика конференции

- Экспертиза промышленной безопасности технических устройств на опасных производственных объектах, методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики.
- Экспертиза промышленной безопасности зданий и сооружений на опасных производственных объектах с применением теплового метода контроля.
- Проведение технического аудита в области промышленной безопасности.
- Обоснование безопасности и возможности эксплуатации технических устройств и оборудования согласно требованиям и правилам промышленной безопасности.
- Оценка пригодности к эксплуатации оборудования после аварий.
- Методология управления промышленной безопасностью на основе анализа и управления рисками.
- Методы оценки надежного предельного срока эксплуатации сложных конструкций из различных материалов.
- Промышленные технологии технической диагностики качества (надежности и предельного ресурса эксплуатации) сложных конструкций из различных материалов.
- Метрологическое обеспечение технологий неразрушающего контроля и технической диагностики.
- Нормативное обеспечение оценки надежности и предельного ресурса эксплуатации сложных конструкций из различных материалов на основе ресурса неразрушающего контроля и технической диагностики.
- Подготовка, аттестация специалистов по неразрушающему контролю.
- Прочее.

Оргкомитет конференции

В.П. Анисимов – глава оргкомитета, президент региональной общественной организации «Крымское общество НКТДиПБ», г. Симферополь; А.Я. Папсуев – секретарь оргкомитета, ООО «ЭТЦ «ИКАР», г. Симферополь; А.В. Тараканов – технический эксперт Крымского экспертно-технического центра, г. Симферополь; О.Н. Будадин – д-р техн. наук, проф., начальник отдела НК и ТД АО «ЦНИИСМ», г. Москва; Е.В. Абрамова – д-р техн. наук, ведущий специалист ФГАУ «НУЦ «Сварка и контроль» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; В.Е. Прохорович – д-р техн. наук, проф., руководитель регионального отделения РОНКТД, г. Санкт-Петербург; Н.П. Дегтеренко – исполнительный директор ООО «Аскотехэнергodiагностика», г. Хабаровск; А.И. Потапов – д-р техн. наук, проф., руководитель Ленинградского областного регионального отделения РОНКТД, г. Санкт-Петербург; С.Н. Рогов – канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «ТСТ», г. Санкт-Петербург; А.В. Полковников – руководитель эксперти-центра ООО «НИКИМТ-Атомстрой», г. Москва; Е.Е. Ковшов – д-р техн. наук, проф., ФГБУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

Организаторы конференции

Региональная общественная организация «Крымское общество неразрушающего контроля технической диагностики и промышленной безопасности», г. Симферополь; ООО «Экспертно-технический центр «ИКАР», г. Симферополь; ООО «Научно-технический центр «Горизонт», г. Симферополь; АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», г. Хотьково, Московская область; Санкт-Петербургское региональное отделение РОНКТД, г. Санкт-Петербург; Ленинградское областное региональное отделение РОНКТД, г. Санкт-Петербург

Контакты оргкомитета

295022, Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Кечкеметская, 170/89, а/я № 687
Контактные телефоны: 8 3652 54-75-02, 54-75-03, 8 9788736285. E-mail: cro.nktd@mail.ru

Контроль. Диагностика

Научно-технический журнал

№8 (август) 2016

Новый ультразвуковой дефектоскоп UCD46



Дефектоскоп выполнен в форм-факторе планшета и его удобно держать одной рукой



Ударопрочный корпус обеспечивает надежную защиту в полевых условиях



Масса прибора – 870 грамм



Большой экран с возможностью смены цветовых схем



Морозоустойчивое (от -30°C) исполнение



Автоматическая настройка



Возможность подключения любых УЗ преобразователей



Богатые функциональные возможности и широкий круг решаемых задач



Легкий и портативный новый ультразвуковой дефектоскоп, является преемником классической модели УД2В-П46, успешно зарекомендовавшей себя на рынке с 2001 года. Обладая полностью всем функционалом предыдущей модели, включая хорошо читаемый морозостойкий экран, новый дефектоскоп имеет малый вес и габариты, позволяя ему быть незаменимым инструментом в командировках.

Дефектоскоп работает с любыми преобразователями с частотой от 0,5 до 15 МГц, обеспечивая максимальную универсальность в работе. Реализованный в приборе алгоритм обработки сигнала, ставший визитной карточкой дефектоскопов компании КРОПУС, позволяет оператору выполнять любые действия с «замороженным» изображением сигнала без потери точности.

ВСЕ ПРИБОРЫ СЕРТИФИЦИРОВАНЫ • СДЕЛАНО В РОССИИ

КРОПУС
научно-производственный центр

ТЕЛЕФОН/ФАКС

(495) 229-42-96

(800) 500-62-98

sales@kropus.ru

www.kropus.ru





EDITOR IN CHIEF: V.V. Klyuev, Prof., Acad. of RAS DEPUTY EDITOR IN CHIEF: V.S. Gorkunov, Dr. of Eng., Sc., Prof. EDITORIAL BOARD: B.V. Artemiev, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.T. Bodrov, Dr. of Eng., Sc., Prof. O.N. Budadin, Dr. of Eng., Sc., Prof. A.A. Bulikov, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.P. Vavilov, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.A. Goldenkov, Dr. of Eng., Sc., Prof. A.G. Efimov, Dr. of Eng., Sc., Prof. G.V. Zusman, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.V. Korninov, Dr. of Eng., Sc., Prof. N.N. Konovalov, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.I. Matveev, Dr. of Eng., Sc., Prof. A.R. Maslov, Dr. of Eng., Sc., Prof. N.R. Kuzeev, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.N. Kosyukov, Dr. of Eng., Sc., Prof. K.V. Podlupan, Dr. of Eng., Sc., Prof. A.V. Polupan, Dr. of Eng., Sc., Prof. S.G. Sandomirskii, Dr. of Eng., Sc., J.S. Stepanova, Dr. of Eng., Sc., Prof. L.N. Stepanova, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.V. Shcherukov, Dr. of Eng., Sc., Prof. V.M. Turchanov, Dr. of Eng., Sc., Prof. P.E. Kleyzer, Dr. of Eng., Sc., Prof. FOUNDERS: This issue is prepared with assistance of P.E. Kleyzer, D.A. Eliseev, S.V. Sidorenko PUBLISHER LLC «Publishing house «SPETR» 35, bld 1, Usacheva Str., Moscow, 119048, Russia Phone: +7 (495) 514-7650 Http://www.idspetsk.ru; E-mail: id@idspetsk.ru; tdp@idspetsk.ru SUBSCRIPTION Journal is distributed on subscription for which please apply to any post office. The Catalogue includes are 29075 in the joint Catalogue «Pressa Rossii»; 47649 in the «Rospechta» Catalogue; 60260 in the «Pochta Rossii» Catalogue. 29075 in the joint Catalogue «Pressa Rossii»; 47649 in the «Rospechta» Catalogue; 60260 in the «Pochta Rossii» Catalogue. You may send your subscription order to the Sales Dept. of the Publishing House to the Sales Dept. of the Publishing House EDITORIAL ADDRESS: 35, bld 1, Usacheva Str., Moscow, 119048, Russia Phone: +7 (495) 514-7650 Http://www.idspetsk.ru; E-mail: id@idspetsk.ru; tdp@idspetsk.ru 62	MATVEEV V.L. Business-Spring 2016, Devices and Equipment for Monitoring and Diagnostics Journal is registered in Federal service for supervision in the region of mass medium, communication and protection of cultural heritage of Russian Federation. The registration certificate No FC77-46328 62
48	KOZOCHKIN M.P., MASLOV A.R., POKRATOV A.N. Peculiarities of Diagnostic and Mills for «Dry Cutting» of Aluminum Alloys 48
42	POPOV A.V., ZAEITS N.P., CHIZHOV I.A. Thermal Control Multilayer Structures of Composite Materials of Aircrafts 42
34	TIKHONOV D.S. Automated Ultrasound Diagnostic with High Resolution and the New Information Criteria for Assessing the Quality of Welded Joints 34
22	KOSTYUKOV V.N., NAMENKO A.P., BOYCHENKO S.N., KUDRYAVTSEVA I.S. Formation of Diagnostic Feature Vector Based on Characteristic Function of Vibroacoustic Signal 22
16	POTAPOV A.I., GOGOLINSKIY K.V., SYASKO V.A., UMANSKIY A.S., KONDRAITEV A.V. Methodological and Metallurgical Aspects of Materials Mechanical Properties Measurements by Instrumented Indentation 16
4	SOKOLOVA A.G., BAIILSKY F.YA., MAKOV V.V., KUZNETSOV A.K., CHISTYAKOV A.L., SHIRMAN A.R. Use of Full Spectrum and other Two-dimensional Vibration Features for Diagnosis of Compressor Unit Faults 4
2	SESEARY D.A., BELAIA A.V. Automated Classification of Pipeline Structural Components on the Basis of MFL in-Line Inspection 2
54	KOZOCHKIN M.P., RASULEVA M.A., ERGASHOV F.A., TEMERBEKOV B.M. Chemical-Technological Processes and Products Short-Term Forecasting in the Operational Management Tasks of Information-Coordination Method for Location of Powerful Sources of Anthropogenic Aerosol 54
58	ABDURAHMANOVA L.H. Pollution of Atmosphere in Marine Conditions Information-Coordination Method for Location of Powerful Sources of Anthropogenic Aerosol 58
62	MATVEEV V.L. Business-Spring 2016, Devices and Equipment for Monitoring and Diagnostics Journal is registered in Federal service for supervision in the region of mass medium, communication and protection of cultural heritage of Russian Federation. The registration certificate No FC77-46328 62