

Проведенные исследования показали, что применение разработанных адаптивных алгоритмов обеспечивают повышенную разрешающую способность предложенных методов, позволяющих достичь разрешение сигналов  $\Delta t \approx 0,3 T_{вид}$ . Следует отметить, что для широко используемых на практике алгоритмов, основанных на разновременном или

направленном суммировании сигналов, их разрешающая способность не превышает  $0,5 T_{вид}$  [6].

В настоящее время предложенные адаптивные алгоритмы включены в программно-алгоритмические комплексы «Геосейф» и «Геосейф-ВСП» [3] и используются для обработки сейсмических данных, получаемых при разведке нефтяных и газовых месторождений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванченков В.П., Кочегуров А.И. Определение временного положения сейсмических сигналов по оценкам их фазочастотных характеристик // Геология и геофизика. – 1988. – № 9. – С. 77–83.
2. Иванченков В.П., Кочегуров А.И. Фазочастотные алгоритмы оценки местоположения пространственно-временных сигналов в условиях априорной неопределенности // Известия вузов. Физика. – 1995. – Т. 37. – № 9. – С. 100–104.
3. Иванченков В.П., Вылегжанин О.Н., Кочегуров А.И. и др. Методы фазочастотного анализа волновых полей и их применение в задачах обработки данных сейсморазведки // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 65–70.
4. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы. – М.: Советское радио, 1968. – 468 с.
5. Колесникова Е.Г., Иванченков В.П. Адаптивные фазочастотные алгоритмы отслеживания сейсмических волн // Молодежь и современные информационные технологии: Труды IV Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2006. – Т. 1. – С. 111–112.
6. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. – Тверь: Изд-во «АИС», 2006. – 744 с.

Поступила 14.04.2008 г.

#### Ключевые слова:

Фазочастотная характеристика, функция качества, разрешающая способность, помехоустойчивость, адаптивный фазочастотный алгоритм.

УДК 378(075.8)

## ТЕХНОЛОГИИ ВЕКТОРНЫХ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ШКАЛ В МЕТОДОЛОГИИ РАСПОЗНАВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ

К.Т. Кошеков

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск  
E-mail: kkoshekov@mail.ru

*Рассмотрены применения векторных идентификационных шкал для решения задачи распознавания сигналов. Описаны примеры, иллюстрирующие превосходство шкал, и их математические модели и способы организации. Представлены аналитические формы уравнений идентификационными параметрами сигналов, измеренных тестерами распределений мгновенных значений и временных интервалов.*

В работе [1] показано, что основными условиями, необходимыми для реализации технологии идентификационных измерений сигналов является наличие инструментов:

- измерения распределений мгновенных значений (РМЗ) и временных интервалов (РВИ);
- установления логических связей количественных оценок РМЗ и РВИ с качественным состоянием сигнала.

Оба условия объединяются в особой структуре (рис. 1), названной идентификационной шкалой и состоящей из тестеров идентификационных параметров (IdP-тестеры), базы данных (БД), а также логического анализатора.

Как следует из работы [2], наибольшие перспективы в решении задач классификации и распознавания сигналов имеют векторные идентифика-

ционные шкалы (ВИШ). В их основе заложены IdP-тестеры двух типов  $NF-NF$  и  $NF-K$  с математическими моделями:

$$NF = \left[ \frac{(\text{Размах сигнала})_N}{\text{СКО сигнала}} \right]^2 = \left[ \frac{\max \{x_i\} - \min \{x_j\}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - X)^2}} \right]^2,$$

$$K = \frac{|\Delta X(t)|}{|X(t)|}.$$

Параметр  $NF$ , называемый виртуальным объемом, трактует обработку значений  $\{X\}$  сигнала как преобразование количества информации объема  $N$  на входе системы распознавания в количество информации объема  $NF$  на выходе. Основным свойством  $NF$  – тестера является независимость его показаний от

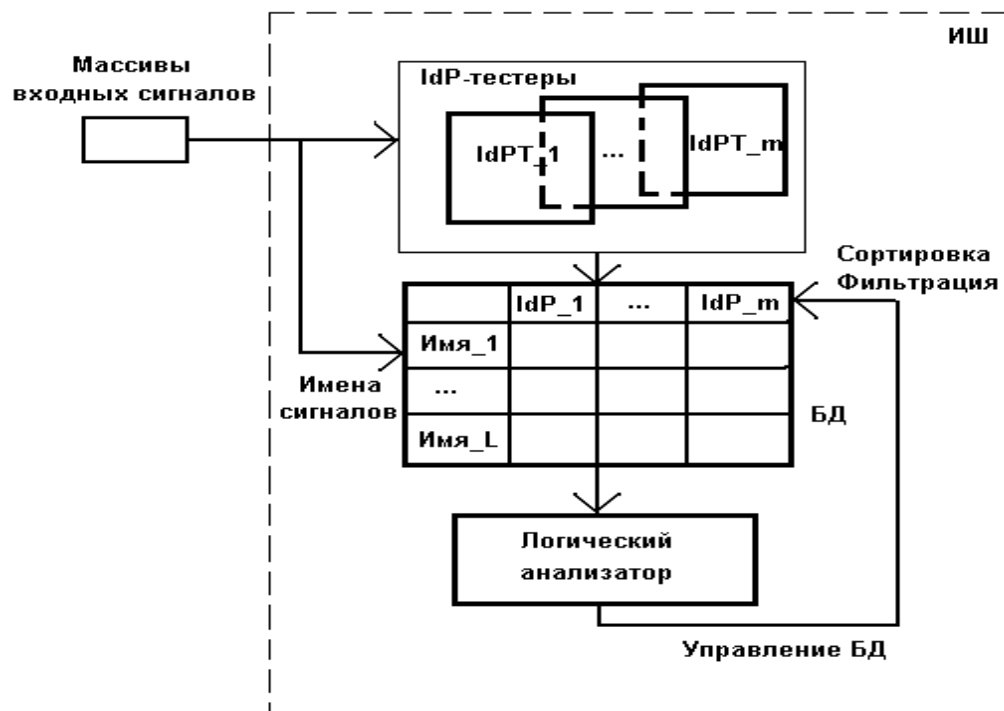


Рис. 1. Структурная схема идентификационной шкалы



Рис. 2. Классификация способов организации векторных идентификационных шкал

масштабных преобразований исходного множества  $\{X\}$ . Параметр  $K$ , называемый *коэффициентом вариативности*, пропорционален относительной средней скорости сигнала и зависит от формы и частоты периодического сигнала. Совместное использование

векторных идентификационных шкал типа  $NF-NF$  и  $NF-K$  дает возможность выделить из исходной группы каждый сигнал в отдельности. Другими словами, чем больше степеней свободы имеет ВИШ, тем шире ее функциональные возможности.

На рис. 2 дана классификация способов организации дополнительных степеней свободы при построении векторных идентификационных шкал.

Первый способ связан с измерением однородных, например, временных характеристик сигналов. Однородными являются временные функции самого сигнала  $X(t)$ , его приращений  $\Delta X(t)$  (скорости) и ускорения  $\Delta[\Delta X(t)]$ . Таким образом, чтобы получить векторную шкалу по первому способу, необходимо идентифицировать с помощью IdP-тестера сигнал, его скорость и ускорение. В качестве иллюстрации этого способа, на рис. 3 представлены структуры программных кодов векторных шкал РМЗ (P-, S-, NF-типа) и РВИ (G-типа), реализованные в среде LabVIEW 7.1. Выбор технологий фирмы National Instruments обусловлен удобством программирования на языке структурных схем, наличием развитых библиотек инструментов анализа

и синтеза сигналов, возможностью быстрого подключения через платы сопряжения к источникам внешних сигналов и простотой формирования интерфейса пользователя, привыкшего работать с реальными «приборными» системами.

Второй способ связан с измерением разнородных характеристик сигналов. В данном случае под разнородными понимаются такие характеристики, как, например, временная  $X(t)$  и спектральная  $X(\omega)$ . Пример подобной структуры изображен на рис. 3.

Третий (комбинированный) способ предполагает организацию ВИШ, в которых сочетаются первый и второй способы, либо применяются разные виды (РМЗ и РВИ) идентификационных тестеров. Два варианта подобных инструментов представлено на рис. 4. Программный код (структура слева) формирует четыре идентификационных вектора, построенных на базе NF-тестера. Эти вектора измеряют сигнал и его

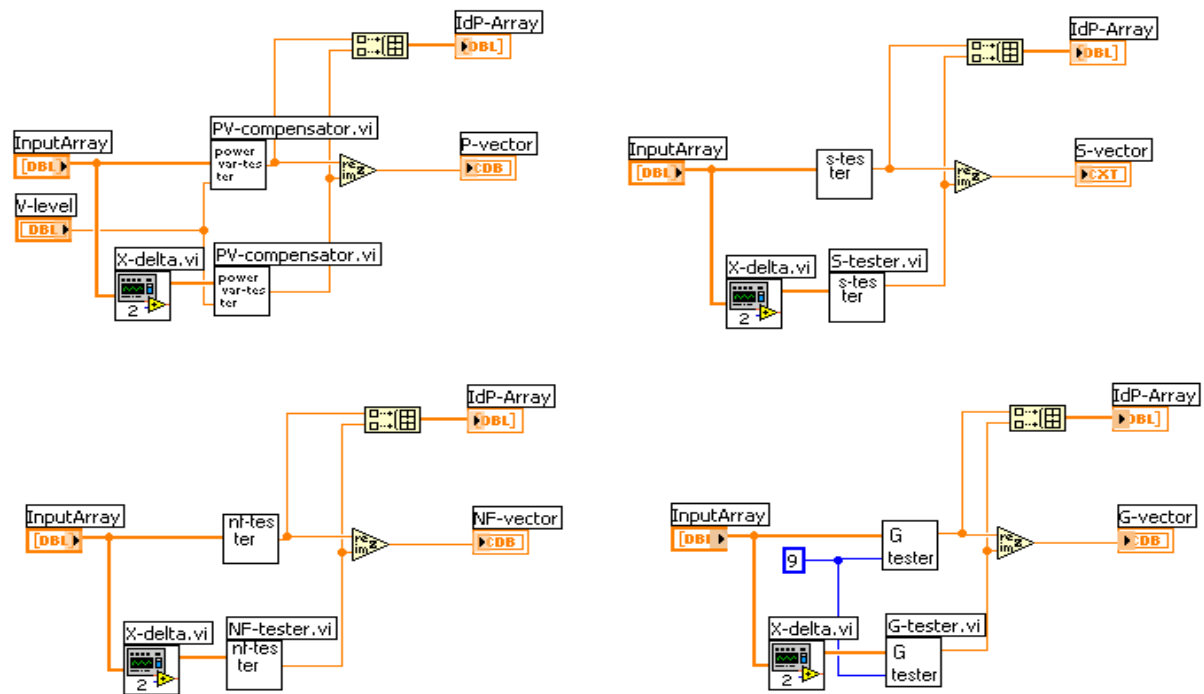


Рис. 3. Структуры программных кодов векторных шкал РМЗ (P-, S-, NF-типа) и РВИ (G-типа)

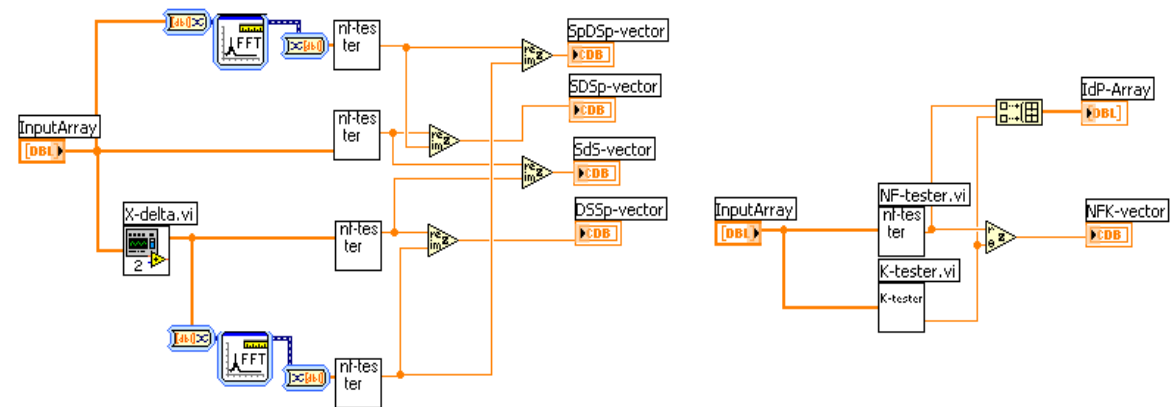
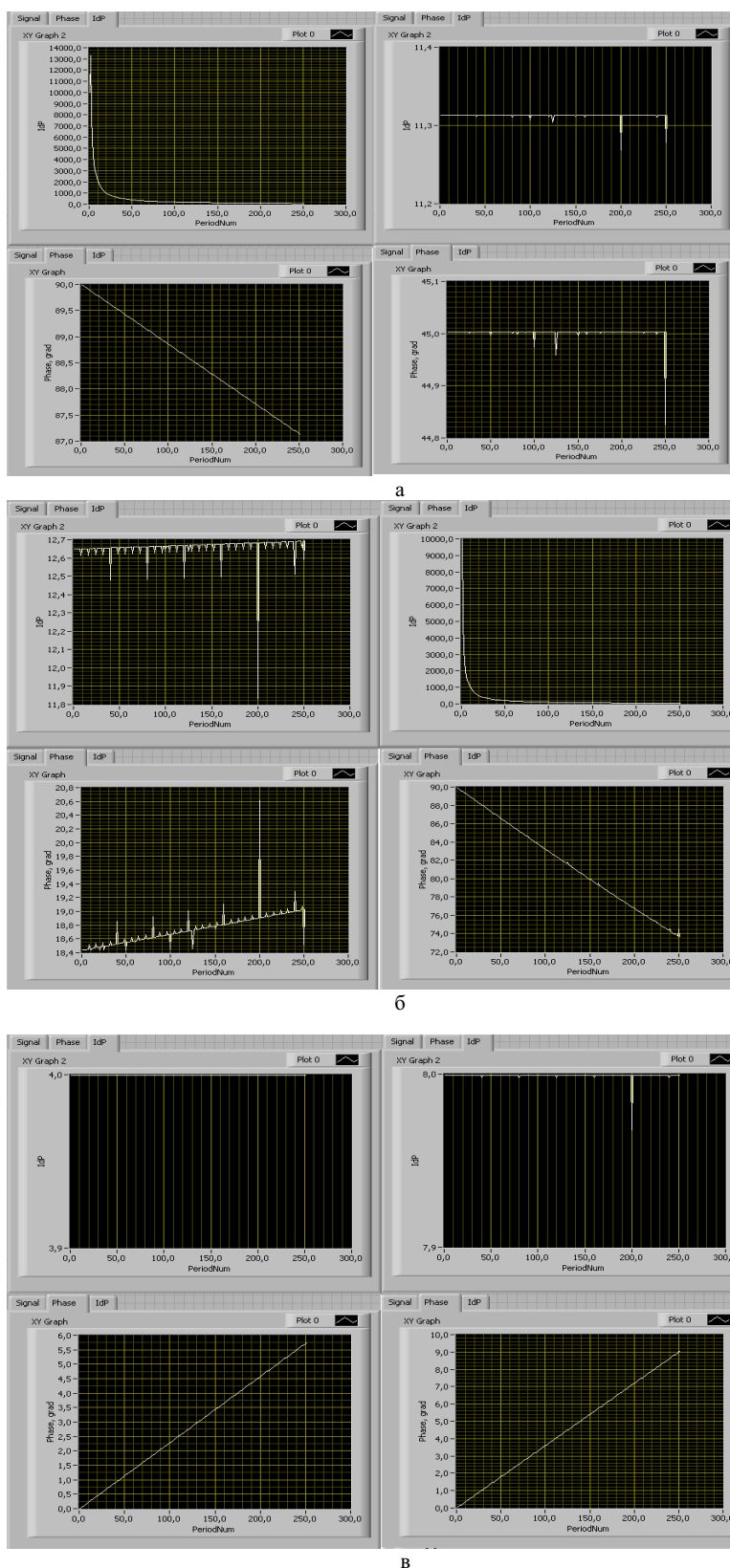


Рис. 4. Примеры программных кодов комбинированных векторных шкал



**Рис. 5.** Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики ВИШ типа: а) NF-NF для прямоугольного (слева) и синусоидального (справа) сигналов; б) NF-NF для треугольного (слева) и пилообразного (справа) сигналов; в) NF-K для прямоугольного (слева) и синусоидального (справа) сигналов

скорость, спектр и его скорость, сигнал и его спектр, а так же форму приращений сигнала и их спектр. В правой части рис. 4 изображена структура программного кода *NFK*-вектора, измеряющего как РМЗ (с помощью *NF*-тестера), так и РВИ (с помощью *K*-тестера).

Чтобы проиллюстрировать основные особенности векторных идентификационных шкал различного типа на рис. 5, 6 и в табл. 2, 3 представлены их идентификационные характеристики (ИХ) случайных и периодических сигналов. Причем случайные – рассмотрены с двумодальным (*2mod*), арксинусным (*asin*), равномерным (*even*), треугольным (*simp*), нормальным (*gaus*), двусторонним экспоненциальным (*lapl*) и Коши (*kosh*) распределениями.

**Таблица 2.** Результаты тестирования идентификационных характеристик *IdP*-векторов, (объем выборки  $N=10000$ , количество реализаций  $L=250$ )

Характеристики векторов	Вид распределения случайного сигнала						
	<i>2mod</i>	<i>asin</i>	<i>even</i>	<i>simp</i>	<i>gaus</i>	<i>lapl</i>	<i>kosh</i>
Вектор типа <i>NF-NF</i>							
Модуль вектора ( <i>NF-NF</i> )	9	18	27	45	72	216	1800
Фаза вектора ( <i>NF-NF</i> )	64	63,5	63	60	46	36	48
Вектор типа <i>NF-K</i>							
Модуль вектора ( <i>NF-K</i> )	4	8	12	23,4	53,2	166	10810
Фаза вектора ( <i>NF-K</i> )	57	73	76	80	81	86	96,3
Вектор типа сигнал-спектр							
Модуль вектора	180	80	81	82	95	185	11100
Фаза вектора	89	84	81	73	55	26	0,6

Амплитудно-частотные и фазочастотные ИХ вектора типа *NF-NF* изображены на рис. 5, *a* (для прямоугольного и синусоидального сигналов) и 5, *б* (для треугольного и пилообразного сигналов). Следует отметить, что АФЧИХ для прямоугольного и пилообразного сигналов у этого типа ВИШ очень

похожи. Данные измерений случайных сигналов с помощью этой ВИШ отражены в табл. 2. В аналитической форме идентификационное уравнение данного инструмента имеет вид:

$$\bar{V}_1 = NF_1 + jNF_2 = \sqrt{NF_1^2 + NF_2^2} \exp \left[ j \arctg \left( \frac{NF_2}{NF_1} \right) \right], \quad (1)$$

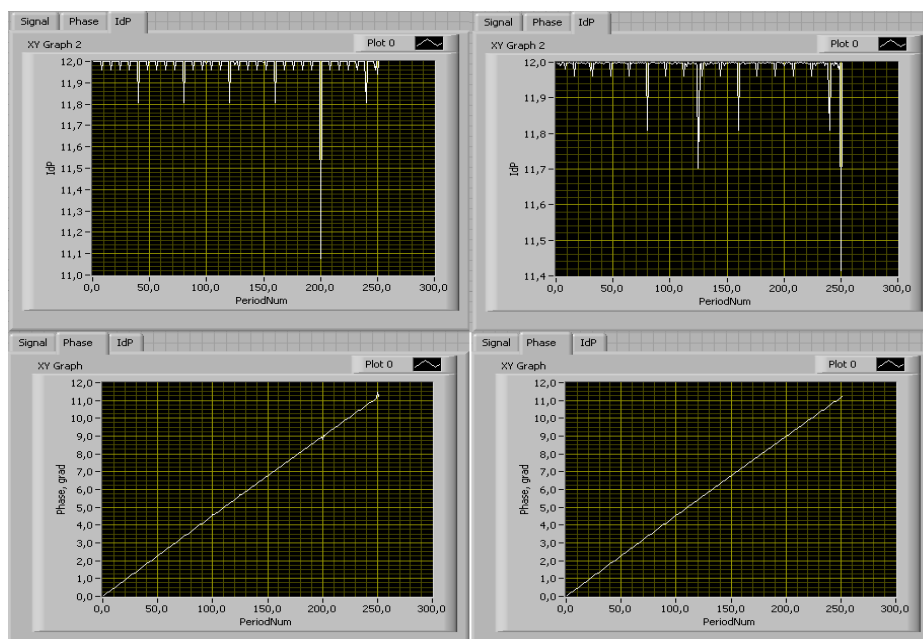
где  $NF_1 = IdP[X(t)]$ ,  $NF_2 = IdP[\Delta X(t)]$  – идентификационные параметры сигнала и его приращений.

Амплитудно-частотные и фазочастотные ИХ комбинированного вектора *NF-K* типа для прямоугольного и синусоидального сигналов (рис. 5, *в*), а так же для треугольного и пилообразного сигналов (рис. 6), отличаются высокой степенью линейности фазовой характеристики. Идентификационное уравнение данного инструмента имеет вид:

$$\bar{V}_2 = NF \exp[jK],$$

где *NF* и *K* – идентификационные параметры сигнала, измеренные, соответственно, РМЗ и РВИ тестерами. Закономерности, связанные с измерением случайных сигналов с помощью *NF-K* вектора отражены в табл. 2.

Результаты тестирования идентификационных характеристик *IdP*-вектора типа «сигнал-спектр» представлены в табл. 2, 3. Идентификационное уравнение данного инструмента совпадает с ур. (1). Отличие состоит в том, что параметр  $NF_2$  измеряет РМЗ спектра сигнала. Для случайных сигналов наиболее информативна фазовая характеристика такого вектора, которая изменяется примерно от 90° (*2mod*) до 0 (*kosh*). Для периодических сигналов, наоборот, более информативным является значе-



**Рис. 6.** Амплитудно-частотные (вверху) и фазо-частотные характеристики (внизу) ВИШ типа *NF-K* для треугольного (слева) и пилообразного (справа) сигналов

ние модуля этого вектора. Как и ожидалось из теоретических соображений, максимальное значение модуля имеет синусоидальный сигнал, в спектре которого присутствует единственная компонента (гармоника). Чем богаче спектр измеряемого сигнала, тем значение модуля вектора меньше.

**Таблица 3.** Результаты тестирования идентификационных характеристик  $IdP$ -вектора типа «сигнал-спектр», ( $F=100, N=10000, L=1$ )

Х-ки вектора	Прямоугольный ( <i>squ</i> )	Синусоидальный ( <i>sin</i> )	Косинусоидальный ( <i>cos</i> )	Треугольный ( <i>tri</i> )	Пилообразный ( <i>saw</i> )
Модуль	82	1083	1088	96,5	70
Фаза	87	90	90	83	80

Величины  $K1$  (измеренное среднее значение относительной скорости сигнала) и  $K2$  (измеренное среднее значение относительного ускорения сигнала) можно рассматривать как проекции двухкомпонентного идентификационного вектора на плоскости  $XOY$  и, следовательно, использовать для решения задач идентификации векторные понятия модуля и фазы. Соответственно, частотные зависимости модуля и фазы будут являться аналогами амплитудно- и фазо-частотных характеристик (АЧХ и ФЧХ) исследуемых сигналов. Например, для синусоидального, прямоугольного (типа меандр) и треугольного сигналов идентификационные векторы описываются, соответственно, уравнениями:

$$\begin{aligned} \vec{K}(\sin) &= K_{\sin} \exp(j\varphi_{\sin}) = \pi \frac{2\sqrt{2}F}{N} \exp(j\pi/4), \\ \vec{K}(squ) &= K_{squ} \exp(j\varphi_{squ}) = \frac{4F}{N} \exp(j\pi/2), \\ \vec{K}(tri) &= K_{tri} \exp(j\varphi_{tri}) = \frac{8F}{N} \exp(j3\pi/20), \end{aligned} \quad (3)$$

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кликушин Ю.Н. Технологии идентификационных шкал в задаче распознавания сигналов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 96 с.
2. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Методы и средства идентификационных измерений сигналов. – Петропавловск, СКГУ им. М. Козыбаева, 2007. – 186 с.
3. Кликушин Ю.Н., Кошеков К.Т. Алгоритм классификации сигналов автоматизированных систем // Машиностроение и тех-

где  $F \geq 1$  – число периодов на интервале наблюдения  $N$ . Из (3), в частности, можно оценить максимальное число периодов сигнала, укладывающихся на интервале наблюдения  $N$ , при котором сигнал переходит из класса регулярных в класс хаотических. Этому условию отвечает равенство:  $K=1$  и тогда

$$F_{\max} = \frac{N}{2\pi}, F_{squ} = \frac{N}{4}, F_{tri} = \frac{N}{8}.$$

Таким образом, можно оценить разрешающую способность, которая для синусоидального сигнала будет составлять примерно 7, для прямоугольного – 4 и для треугольного – 8 отсчетов на периоде. Из (3) также следует, что фазовая характеристика идентифицирует только форму периодического сигнала, поскольку в первом приближении от частоты не зависит, а амплитудная – и форму, и частоту.

Для случайных сигналов фазовая характеристика варьируется в зависимости от формы распределения в диапазоне от  $48$  до  $64^\circ$ , а модуль примерно одинаков и близок по значению к  $\sqrt{5} \approx 2,236$  (за исключением распределения Коши, для которого модуль примерно равен  $\sqrt{7} \approx 2,646$ ). Таким образом, если необходимо, то можно с помощью данных идентификационных параметров разделять не только периодические, но и случайные сигналы по форме их распределений вероятности.

С применением векторных идентификационных шкал становится возможным количественное оценивание формы сигналов. В качестве встроенных систем они могут применяться в технической и медицинской диагностике, при автоматизации технологических процессов и управлении объектами, т. е. в тех областях, где распознавание и идентификация сигналов является актуальной задачей.

носфера XXI века: Сб. трудов XIII Междунар. научно-техн. конф. – Донецк: ДонГТУ, 2006. – Т. 2. – С. 163–167.

Поступила 21.02.2008 г.

#### Ключевые слова:

Фазочастотная характеристика, функция качества, разрешающая способность, помехоустойчивость, адаптивный фазочастотный алгоритм.