

УДК 537.877

Н.В. Глухова, канд. техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ФЛИККЕР–ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассматривается подход к обработке сигналов измерительной информации, основанный на применении методов фликкер–шумовой спектроскопии, которые обеспечивают возможность выделения специфических детерминированных составляющих наряду с оценкой наличия нерегулярностей в виде хаотических вкладов различной природы.

Ключевые слова: фликкер–шумовая спектроскопия, измерительный сигнал, измерительный канал.

N.V. Glukhova, PhD.

USING OF THE FLICKER NOISE SPECTROSCOPY METHODS FOR INFORMATION MEASUREMENT SIGNAL PROCESSING

The approach to the measurement information signal processing, based on the using of flicker noise spectroscopy methods, which provide the possibility of allocating specific determined components, along with an estimation of presence of irregularities in the form of chaotic contributions of various natures.

Keywords: flicker noise spectroscopy, measuring signal, measuring channel.

Н.В. Глухова, канд. техн. наук

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ФЛІККЕР–ШУМОВОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Розглядається підхід до обробки сигналів вимірювальної інформації, заснований на використанні методів фліккер–шумової спектроскопії, що забезпечують можливість виділення специфічних детермінованих складових наряду з оцінкою наявності нерегулярностей у вигляді хаотичних вкладів різноманітної природи.

Ключові слова: фліккер–шумова спектроскопія, вимірювальний сигнал, вимірювальний канал.

Для реализации автоматизированного сбора, обработки и хранения результатов измерений в настоящее время используются измерительные каналы (ИК). Обобщенная структура ИК включает первичный измерительный преобразователь, различные промежуточные измерительные преобразователи (усилители, нормализаторы, коммутаторы, мультиплексоры), канал передачи данных, устройства для аналого-цифрового преобразования и др. Исходный сигнал измерительной информации в процессе прохождения по компонентам ИК подвергается многочисленным трансформациям: масштабированию, преобразованию рода сигнала, дискретизации во времени и квантованию по уровню.

Сигнал измерительной информации, поступающий в средство обработки и хранения информации, всегда содержит полезную информативную часть, а также разнообразные сигналы шумов, помех, погрешностей, искажений.

Для обоснованного выбора стратегии выделения информативной части из сигнала

измерительной информации необходимо изучить его свойства, а также классифицировать его компоненты с целью параметризации.

Рассмотрим несколько наиболее распространенных вариантов «сочетания» информативной части сигнала и помех:

1. Постоянный уровень сигнала от объекта измерений, случайная помеха. В этом случае избавиться от помехи легко путем фильтрации.

2. Постоянный уровень сигнала от объекта измерений, периодическая помеха (например, от питающей сети с промышленной частотой). Подавление помехи можно осуществить либо путем фильтрации, либо при помощи интегрирования [2].

3. Полезный информационный сигнал, изменяющийся по периодическому закону, случайная помеха. При условии, что сигнал и помеха находятся в разных частях спектра, подавление помехи осуществляется путем включения выбранного типа фильтра (нижних либо верхних частот, полосового, режекторного). Выбор типа фильтра выполняется

на основании разложения исходного сигнала в ряд Фурье или получения вейвлет–спектра.

4. Случайный полезный сигнал и случайный шум. Разделение возможно при статистической различимости характеристик для компонент составного сигнала.

5. Полезный сигнал содержит как регулярную компоненту, так и случайную, к нему добавляется случайный шум.

Возможны, также и другие варианты. Кроме того, для компонентов ИК существуют различные виды воздействия погрешностей: аддитивная, мультипликативная, аддитивная и мультипликативная.

Обычно на практике отсутствует априорная достоверная информация для обоснованного отнесения сигналов и их компонент какой-либо из рассмотренных групп. Применение «классического» для метрологии подхода к предположительной модели сигнала – стационарный ряд с помехой в виде Гауссовского шума – часто не соответствует действительности и приводит к существенному снижению достоверности информации [1].

В данной статье рассматривается подход к обработке сигналов измерительной информации, основанный на применении методологии фликкер–шумовой спектроскопии (ФШС) [3].

Рассмотрим сигнал измерительной информации от некоторого объекта $S1$, полученный в условиях $E1$ (рис. 1).

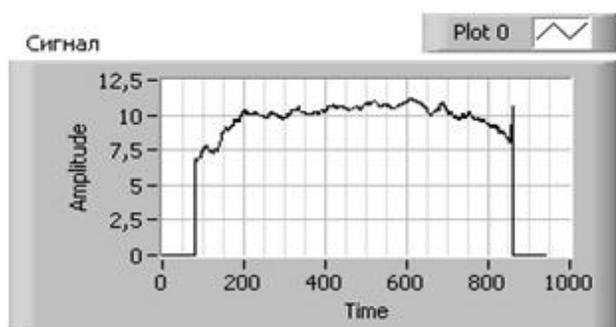


Рис. 1. Сигнал от объекта $S1$, полученный в условиях $E1$

Для выделения высокочастотной составляющей из исходного сигнала применим «релаксационную» процедуру [3], которая построена как аналог решения уравнения диффузии:

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = \chi \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

Введя приближенную замену $\partial \tau \cong \Delta \tau$, запишем последнее выражение в виде разностного уравнения

$$V_k^{j+1} = wV_{k+1}^j + (1-2w)V_k^j + wV_{k-1}^j,$$

Применив схему численного решения, получим:

$$V_k^{j+1} = wV_{k+1}^j + (1-2w)V_k^j + wV_{k-1}^j,$$

где $w = \frac{\chi}{(\Delta t)^2} \Delta \tau < 0,5$.

Последнее ограничение вводится для устойчивости численного решения. Блок-диаграмма для реализации алгоритма сглаживания в среде графического программирования LabView показана на рис. 2.

Алгоритм обеспечивает получение низкочастотной составляющей. Далее она вычитается из исходного сигнала для получения высокочастотной компоненты. Применение «диффузионного» сглаживания позволяет минимизировать «высокочастотный» вклад в «низкочастотной» части и наоборот. На рис. 3 показаны сглаженная кривая и высокочастотная составляющая для исходного сигнала измерительной информации. Предварительную оценку наличия (отсутствия) регулярных и хаотических составляющих сигнала реализуем с использованием показателя Херста.

Оценку параметра Херста [4] для высокочастотной составляющей выполним методом нормированного размаха. В этом случае для временного ряда $x(t)$, содержащего τ наблюдений, оценивается R/S -статистика:

$$\frac{R(\tau)}{S(\tau)} = \frac{\max(x^{cum}(t, \tau)) - \min(x^{cum}(t, \tau))}{\sqrt{\frac{1}{\tau-1} \sum_{t=1}^{\tau} (x(t) - \bar{x})^2}},$$

$$t = 1, \tau,$$

где $R(\tau)$ – размах накопленного отклонения; \bar{x} и $S(\tau)$ – соответственно среднее арифметическое значение и среднеквадратическое отклонение для временного ряда $x(t)$;

$$x^{cum}(t, \tau) = \sum_{i=1}^t x(i) - \bar{x}(\tau).$$

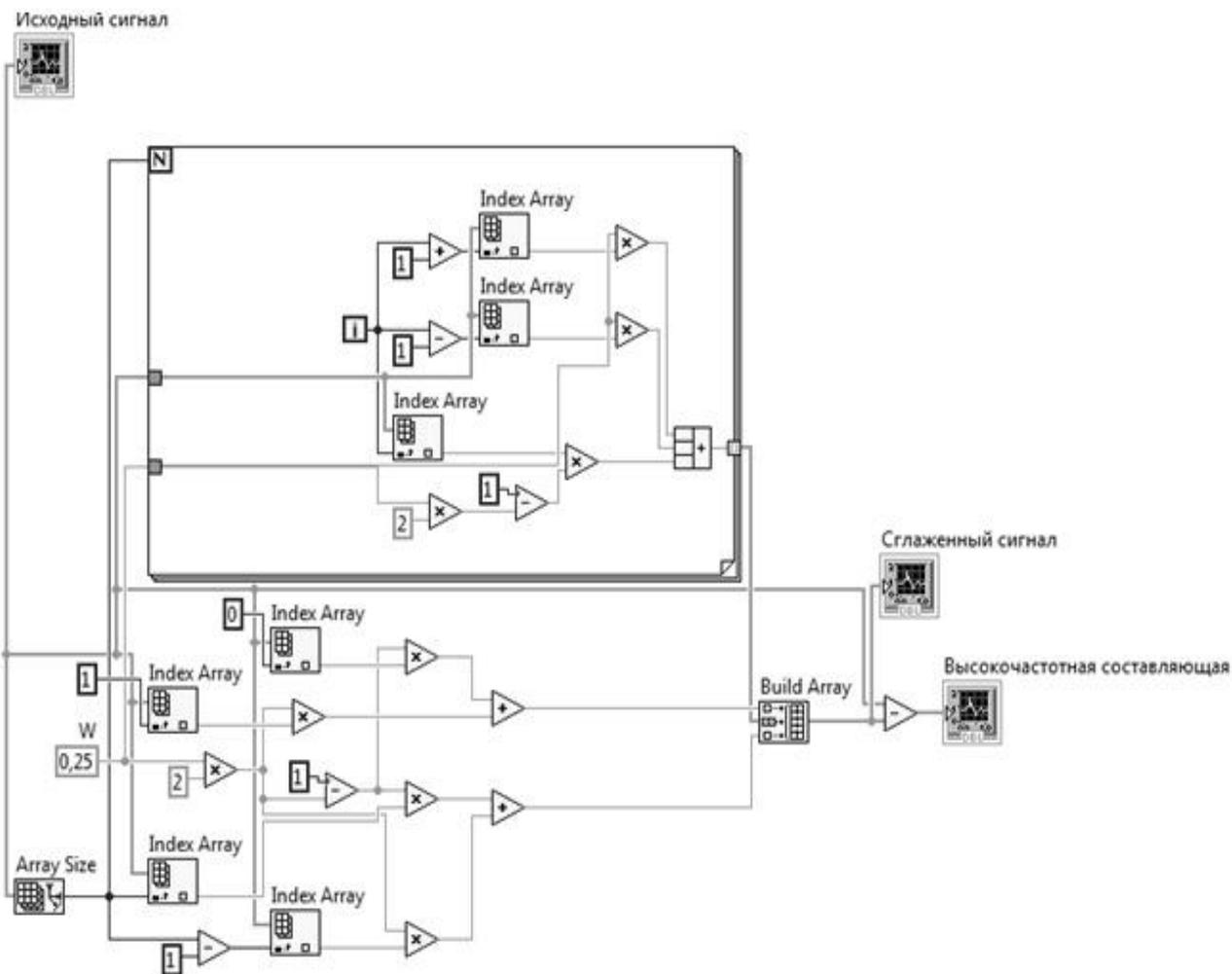
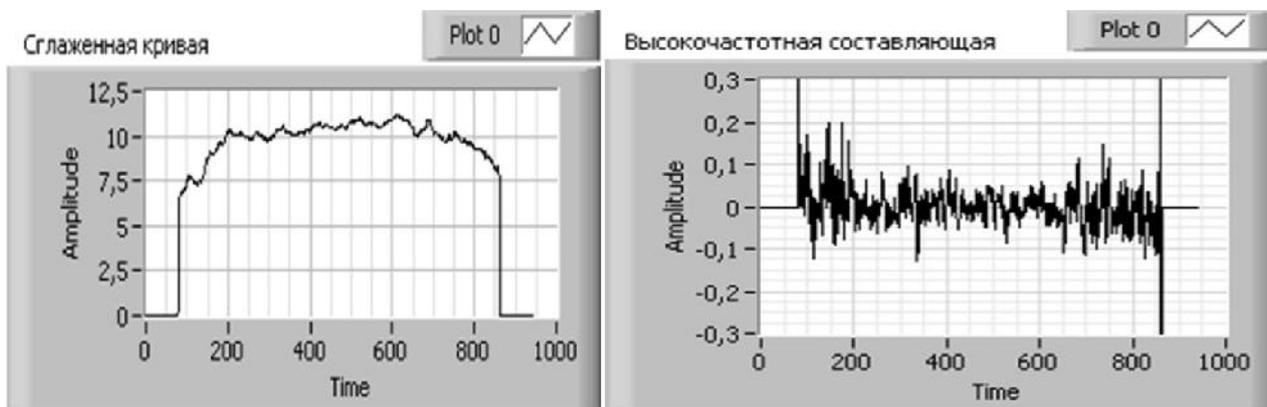


Рис. 2. Блок–диаграмма для реализации алгоритма разделения сигнала на низкочастотную и высокочастотную составляющие



а

б

Рис. 3. Сглаженная кривая (а) и высокочастотная составляющая (б) для сигнала от объекта S_1 , полученного в условиях E_1

Известно [4], что параметр Херста H используется для оценки меры самоподобия (меры длительности) длительной реализации стохастического процесса. Значение $H=0,5$ соответствует случайному процессу, т.е. отсутствует память о предыдущих значениях. Значение $0 < H < 0,5$ характерно для антиперсистентного ряда: росту в предыдущей серии в будущем будет соответствовать спад. Персистентное (трендоустойчивое) поведение реализации наблюдается при диапазоне $0,5 < H < 1$.

Оценка параметра Херста для высокочастотной составляющей сигнала (рис.3) дала следующий результат: $H=0,536146$. Таким образом, высокочастотная составляющая сигнала содержит преимущественно случайные компоненты. Сделанный вывод подтверждает график спектра мощности высокочастотной компоненты, представленный на рис. 4.

Выполним аналогичные расчеты и построение зависимостей для сигнала, полученного от объекта $S1$ в условиях $E2$ (рис. 5).

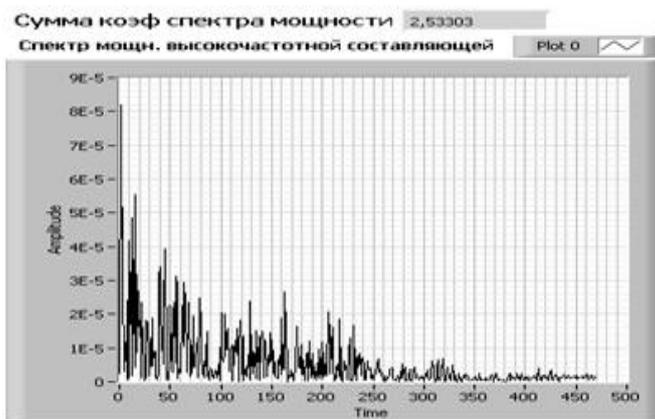
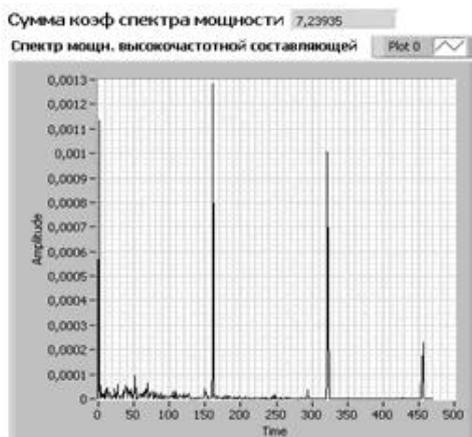
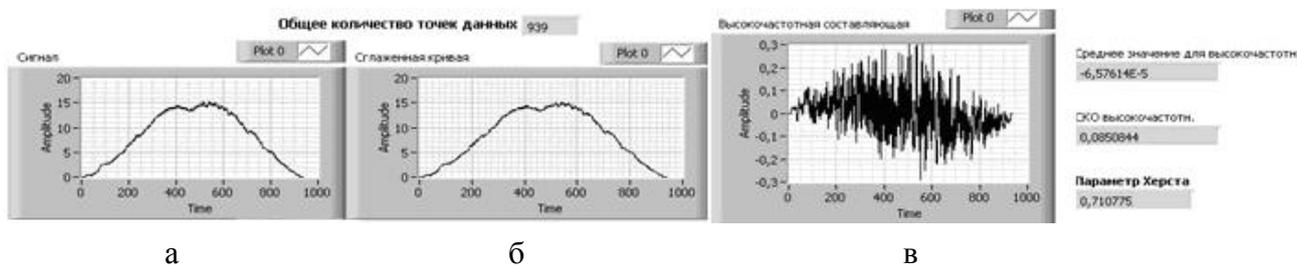


Рис. 4. График спектра мощности высокочастотной составляющей сигнала от объекта $S1$, полученного в условиях $E1$



Г

Рис. 5. Графики исходного (а) и сглаженного сигнала (б), высокочастотной составляющей (в) и спектра мощности (г) для объекта $S1$, полученные в условиях $E2$

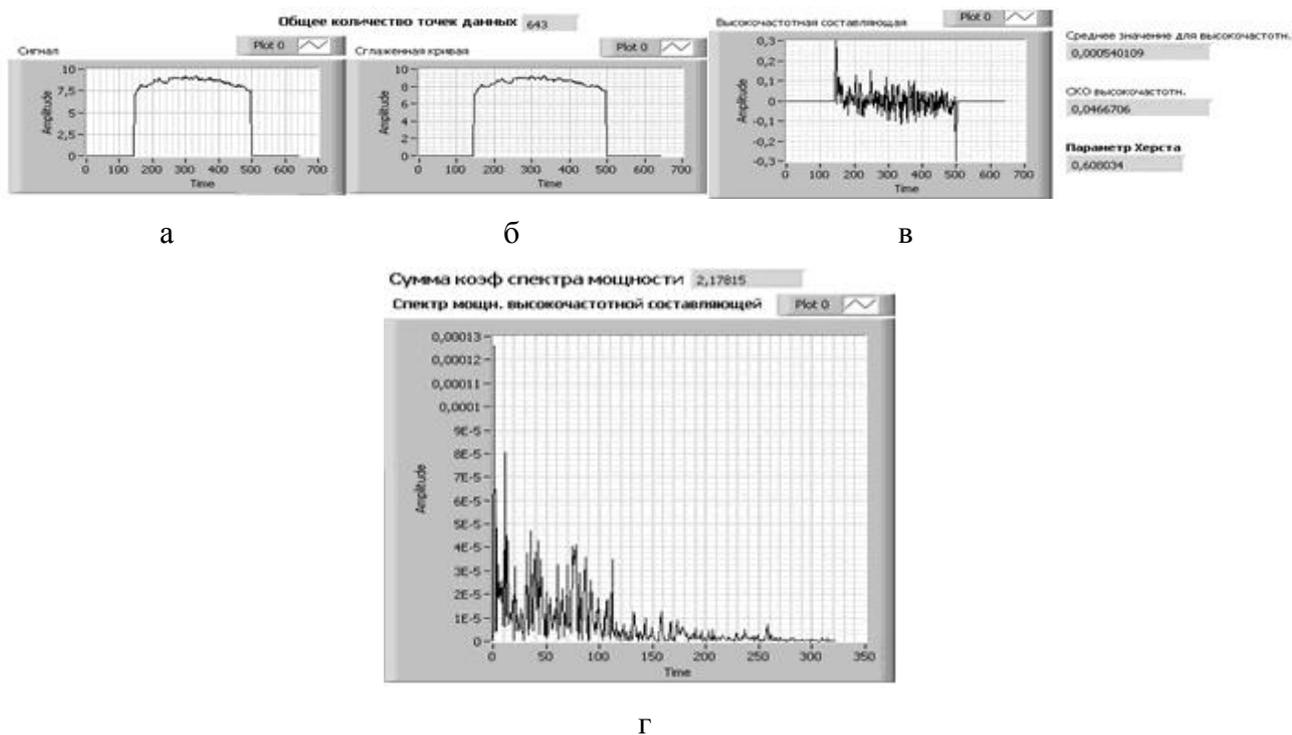


Рис. 6. Графики исходного (а) и сглаженного (б) сигнала, высокочастотной составляющей (в) и спектра мощности (г) для объекта S_2 в условиях E_1

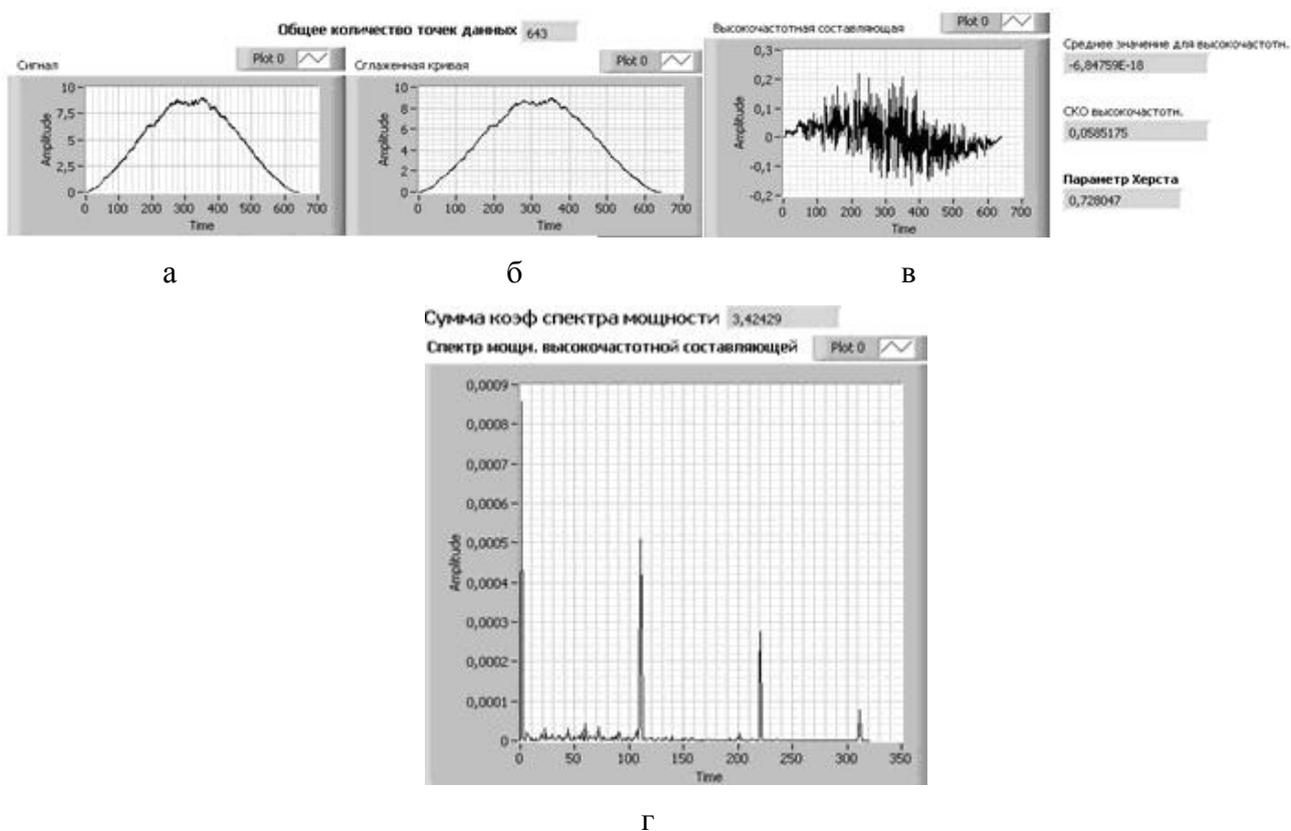


Рис. 7. Графики исходного (а) и сглаженного (б) сигнала, высокочастотной составляющей (в) и спектра мощности (г) для объекта S_2 в условиях E_2

Сравнительный анализ высокочастотных составляющих сигналов, полученных в разных условиях, показывает наличие во втором случае регулярных «резонансных» составляющих.

Их частоты легко различимы в спектре мощности, значение параметра Херста также подтверждает сделанный вывод.

Рассмотрим тот же подход для анализа поведения объекта S_2 в условиях E_1 и E_2 . Результаты представлены соответственно на рис. 6 и 7. На основании графических зависимостей рис. 5 и 7 можно осуществить анализ отличительных особенностей объектов и выполнить параметризацию с целью количественного выделения значений «паспортных» характеристик [3].

Именно в рассматриваемых условиях для исследуемых объектов проявляются специфические частоты в виде набора «пиков».

Данные частоты соответствуют резонансам, свойственным объектам при определенных внешних условиях.

При небольшом количестве резонансов для процедуры выделения используется модельное представление каждой резонансной

полосы в Лоренцевской форме с частотой f_0 интенсивностью A и «шириной» γ [3]:

$$S_r(f) = A \left[\frac{1}{(f - f_0)^2 + (\gamma/2\pi)^2} + \frac{1}{(f + f_0)^2 + (\gamma/2\pi)^2} \right]$$

Результаты оценки частоты и интенсивности резонансных частот для рассматриваемых объектов показаны на рис. 8.

Выводы

1. Для предварительного анализа наличия (отсутствия) регулярных и хаотических составляющих сигнала измерительной информации может использоваться оценивание параметра Херста методом нормированного размаха.

2. Выделение характерных паттернов («паспортных» параметров) объектов обеспечивается на основе ФШС-анализа высокочастотной составляющей сигнала.

3. Количественная оценка «паспортных» параметров выполняется путем выделения резонансных составляющих в спектре мощности высокочастотной составляющей сигнала и вычисления их частот и интенсивностей.

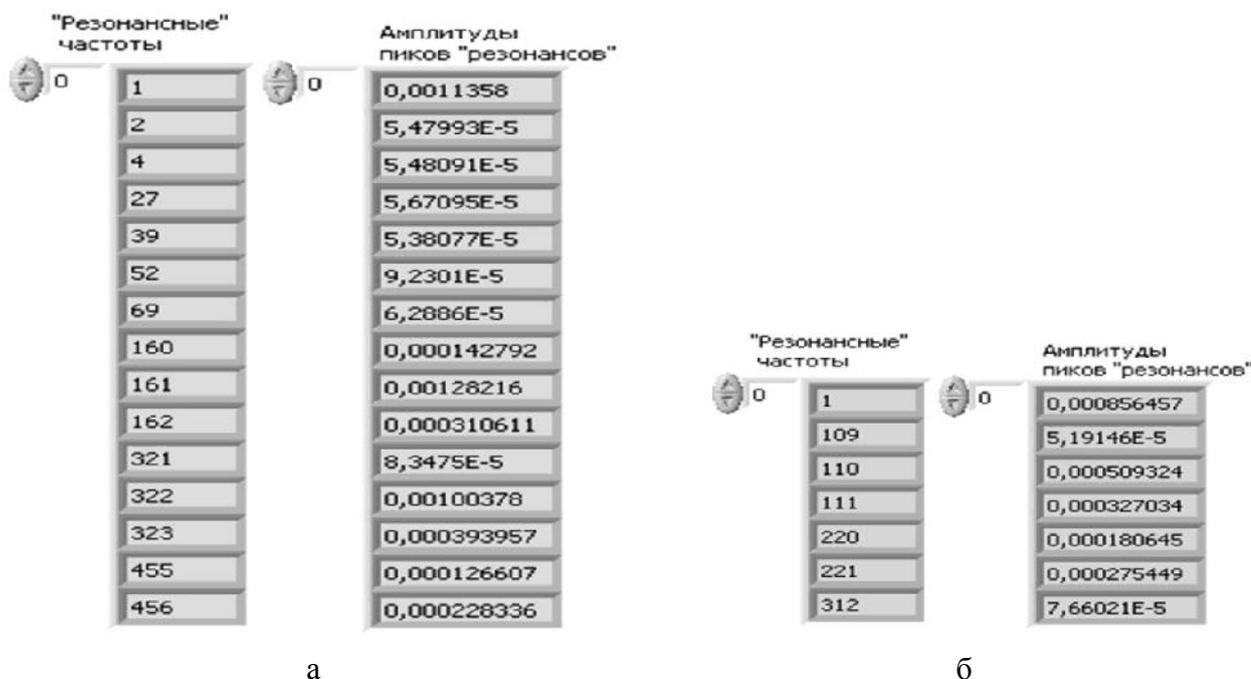


Рис. 8. Результаты выделения резонансных частот и интенсивностей для сигнала от объекта S_1 (а) и объекта S_2 (б) в условиях E_2

Список использованной литературы

1. Прохоренков А. М. Анализ характеристик случайных процессов в информационно-измерительных системах / А. М. Прохоренков, Н. М. Качала // *Фундаментальные исследования*. М.: – 2005. – № 7. – С. 28–29.

2. Тесленко В. А. Влияние помех на измерительные цепи / В. А. Тесленко // *ПИКАД*. – 2007. – № 1. – С. 52–56.

3. Тимашев С. Ф. Фликкер–шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах / С. Ф. Тимашев. – М.: Физматлит, 2007. – 248 с.

4. Федер Е. Фракталы / Е. Федер– М.: Мир, 1991. – 254 с.



Глухова
Наталья Викторовна,
канд. техн. наук, доц. каф.
метрологии и информационно-измерительных технологий, ГВУЗ Нац. горного ун-та.
49027, г. Днепропетровск,
пр. К. Маркса, д. 19,
тел. (056) 373-07-46

Получено 15.05.2012

References

1. Prohorenkov A. M. Performance analysis of random processes in information-measuring systems / A. M. Prohorenkov, N. M. Kachala // *Fundamental studies*. Moscow: – 2005. – № 7. – P.28–29 [in Russian].

2. Teslenko V. A. Influence of interference on the measurement chains / V.A Teslenko // *PIKAD*. – 2007. – № 1. – P. 52–56 [in Russian].

3. Timashev S. F. Flicker-noise spectroscopy: information in chaotic signal / S. F. Timashev. – Moscow: Fizmatlit, 2007. – 248 p. [in Russian].

4. Feder E. Fractals / E. Feder. – Moscow: – Mir, 1991. – 254 p. [in Russian].