

*Ахмеджанов А.Э., кандидат технических наук
преподаватель кафедры «радиотехнических систем»
Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны
Россия, г. Ярославль*

СГЛАЖИВАНИЕ ТРЕНДА ДИНАМИЧЕСКИМ ОКОННО-ВЕСОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФУРЬЕ

Аннотация: В статье приведены результаты моделирования совместной обработки нестационарного сигнала и шумов, а также применение динамического оконно-веса преобразования Фурье. Представлены графические материалы амплитудно-частотных спектров нестационарного и квазистационарного сигналов. Показано, что сглаживание тренда динамическим оконно-весовым преобразованием Фурье позволит повысить точность обработки при частотном анализе.

Ключевые слова: сглаживание, тренд, нестационарные сигналы, квазистационарные сигналы, динамическое оконно-весовое преобразование Фурье, амплитудно-частотный спектр.

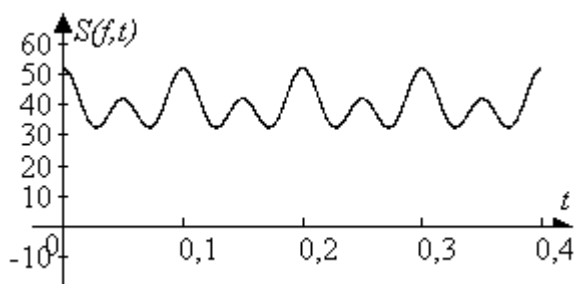
Annotation: The article presents the results of modeling the joint processing of an unsteady signal and noise, as well as the use of a dynamic window-weighted Fourier transform. Graphic materials of amplitude-frequency spectra of non-stationary and quasistationary signals are presented. It is shown that smoothing the trend by the dynamic window-weighted Fourier transform will improve processing accuracy in frequency analysis.

Key words: smoothing, trend, non-stationary signals, quasistationary signals, dynamic window-weight Fourier transform, amplitude-frequency spectrum.

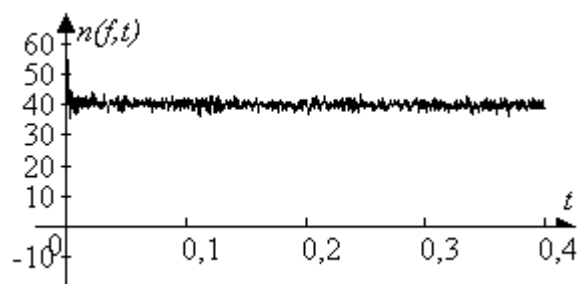
В настоящее время среди многих известных преобразований сигналов наиболее популярным является преобразование Фурье. Кроме преобразования Фурье существует и много других часто применяемых преобразований сигнала. Преобразование Фурье было на протяжении многих лет важнейшим средством цифровой обработки стационарных сигналов, но не может использоваться для анализа нестационарных сигналов. Таким образом, учёт нестационарности является актуальной научно-технической задачей, требующей практического решения. Для анализа нестационарных сигналов используются оконное преобразование Фурье, вейвлет-преобразование и многие другие. У каждого из них существуют достоинства и недостатки. Основным недостатком перечисленных выше подходов для обработки нестационарных сигналов является отсутствие возможности определения тренда в среднем, степени доверия и точности результатов спектрального анализа. Для решения этих задач предлагается использовать способ совместной обработки данных сигнала и шумов [1, с. 1] и динамическое «оконно-весовое» преобразование Фурье [2, с. 47], позволяющее осуществить приведение нестационарных сигналов к квазистационарному виду непосредственно перед использованием традиционного преобразования Фурье.

Для проверки работоспособности и эффективности предлагаемых [3, с. 61] способов обработки сигналов рассмотрим результаты моделирования приведения нестационарных данных относительно тренда в среднем к квазистационарному виду и совместной обработки данных сигнала и шумов. Рассмотрим результаты совместной обработки нестационарных данных исследуемого широкополосного сигнала и шумов на интервале времени $t=(0-0,4)$ сек. Модели сигнала $S(f,t)$, состоящего из двух частот (10 Гц и 20 Гц), и шума $n(f,t)$ показаны на рисунках 1.а и 1.б соответственно. Модель нестационарного сигнала $X(f,t)$ (рис.3) получена суммированием сигналов $S(f,t)$ и шума $n(f,t)$ согласно формуле:

$$X(f, t) = S(f, t) + n(f, t).$$



a)



б)

Рисунок 1. Временная область: а) сигнала $S(f,t)$ и б) шума $n(f,t)$

Способ совместной обработки данных сигнала и шумов позволяет проводить оценку степени доверия и точности результатов амплитудно-частотного анализа с определением интервальной оценки вычисления, как квазистационарных, так и нестационарных данных. Результаты совместной обработки данных модели сигнала и шумов приводятся в усечённой таблице 1 с частотой анализа от 5 до 25 Гц с шагом 5 Гц на интервале времени $t=(0,1-0,3)$ сек.

Таблица 1.

Частота	Амплитуда	Интервальная	Относительная
5	3785,39	4485,09	118,48
10	41314,71	2197,71	5,32
15	2347,64	3160,39	134,62
20	58246,1133	3056,57	5,25
25	1462,35	2207,78	150,97

Амплитудно-частотный спектр совместной обработки данных модели сигнала (рис.1.а) и шумов (рис.1.б) представлен в виде графика (рис.2) в диапазоне частот 0-50 Гц с шагом по частоте 1 Гц.

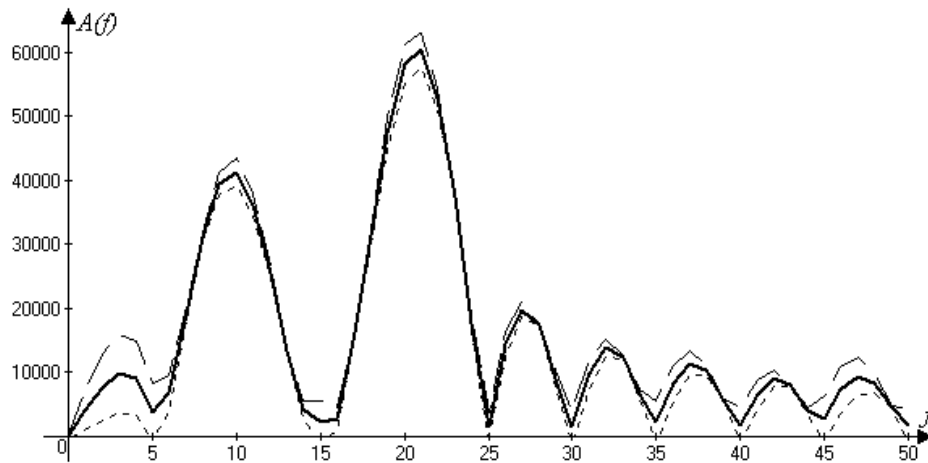


Рисунок 2. Амплитудно-частотный спектр нестационарных данных

Из анализа результатов таблицы 1 и графика (рис.2) чётко наблюдаются выделение двух частотных составляющих (10 и 20 Гц) данных модели сигнала (рис.1.а). При этом в отличие от традиционного способа получения результатов амплитудно-частотного анализа наблюдается повышение информативности результатов анализа за счёт получения интервальной оценки и относительной погрешности (таблица 1).

Динамическое «оконно-весовое» преобразование Фурье позволяет по сравнению с подходом совместной обработки непосредственно перед проведением амплитудно-частотного анализа нестационарных данных осуществлять приведение их к квазистационарному виду.

С помощью вышеуказанного преобразования определяются тренд в среднем $H(f,t)$ на интервале времени $t=(0,1-0,3)$ сек. Центрируя данные сигнала $S(f,t)$ относительно тренда в среднем $H(f,t)$ на этом интервале получаем квазистационарные данные $Y(f,t)$ согласно соотношения:

$$Y(f, t) = X(f, t) - H(f, t).$$

На рисунке 3 представлены фрагменты модели нестационарного шумового сигнала $X(f,t)$, тренда в среднем $H(f,t)$ и квазистационарных данных $Y(f,t)$.

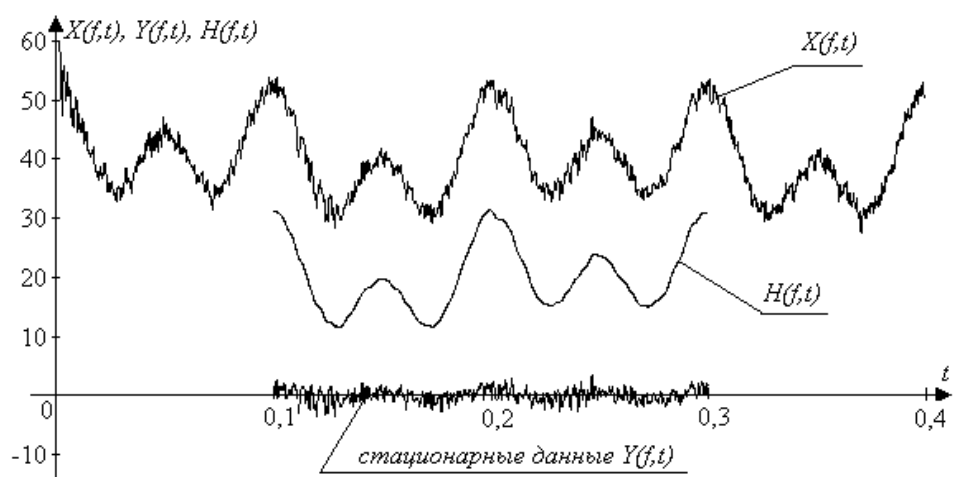


Рисунок 3. Графические результаты приведения нестационарного случайного процесса к стационарному виду относительно тренда в среднем

Результаты совместной обработки данных модели сигнала и шумов после приведения к квазистационарному виду приводятся в усечённой таблице 2 с частотой анализа от 5 до 25 Гц с шагом 5 Гц на интервале времени $t=(0,1-0,3)$ сек.

Таблица 2.

Частота	Амплитуда	Интервальная	Относительная
5	373,90	373,90	100,0
10	2187,99	38,39	1,75
15	105,96	105,96	100,0
20	6468,90	73,13	1,13
25	47,94	47,94	100,0

Амплитудно-частотный спектр квазистационарных данных $Y(f,t)$ на интервале времени $t=(0,1-0,3)$ сек. в диапазоне частот 0-50 Гц с шагом по частоте 1 Гц представлен на рисунке 4.

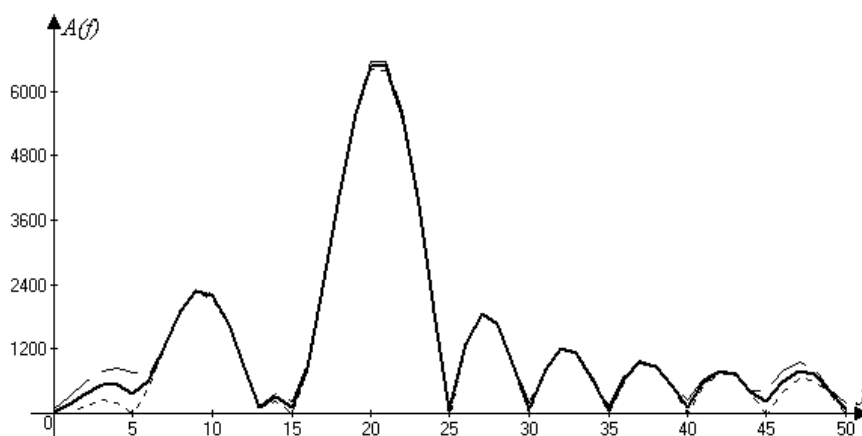


Рисунок 4. Амплитудно-частотный спектр квазистационарных данных

Совместная обработка нестационарных данных сигнала и шумов позволяет получить интервальную оценку для каждой из анализируемой частотной составляющей (10, 20 Гц) амплитудно-частотного спектра (рис.4). При этом погрешность определения амплитудно-частотного спектра исследуемого сигнала показывает интервальную оценку как плюс-минус абсолютной погрешности относительно амплитудных значений (непрерывная кривая) для каждой из анализируемых частот в виде штрихпунктирных кривых (рис.4).

Результаты моделирования подтверждают, что использование способа совместной обработки и динамического «оконно-веса» преобразования Фурье повышают точность результатов спектрального анализа. После приведения данных к квазистационарному виду и совместной обработки наблюдается уменьшение относительной погрешности получаемых результатов частотного анализа. Так, например, в таблице 1 на частотах анализа 10 Гц и 20 Гц относительная погрешность составляет 5,32% и 5,25% соответственно. В таблице №2 на частотах анализа 10 Гц и 20 Гц относительная погрешность уже составляет 1,75% и 1,13% соответственно. Так, на частоте анализа 10 Гц относительная погрешность уменьшилась в 3 раза, а на частоте анализа 20 Гц в 4,6 раз.

Приведение нестационарных сигналов к квазистационарному виду с использованием динамического «оконно-веса» преобразования Фурье

позволяет проводить учёт и компенсацию тренда в среднем исследуемого сигнала с уточнением формулы Фурье в виде формулы:

$$X(\omega, t) = \sum_{k=1}^{\infty} \{h^n(\omega_k, t) + [a_k \sin(\omega_k, t) + b_k \cos(\omega_k, t)]\},$$

где $h^n(\omega_k, t)$ - тренд в среднем частотной составляющей ω_k сигнала $X(\omega, t)$;

a_k и b_k – коэффициенты преобразования Фурье частотной составляющей ω_k .

Результаты моделирования показывают, что присущие недостатки оконного преобразования Фурье, вейвлет-преобразования и других (отсутствие возможности определения тренда в среднем, степени доверия и точности результатов спектрального анализа) устраняются.

Таким образом, рассмотренные способы повышают точность обработки данных и могут использоваться при частотном анализе нестационарных непрерывных сигналов в квазиреальном масштабе времени.

Библиографический список:

1. Терентьев В.Н., Омельченко В.В., Терентьев А.В. “Способ обработки и анализа измерительных сигналов с контролируемого объекта (варианты)”. Патент на изобретение № 2160451. Бюлл. изобр. № 34, 2000.

2. Терентьев В.Н., Омельченко В.В., Терентьев А.В. Динамический «оконно-весовой» способ частотного анализа измерительной телеметрической информации случайных процессов. // Электромагнитные волны и электронные системы; изд-во Радиотехника – 2006 - Т.11, №11 - с.47-58.

3. Терентьев В.Н. Метод обработки и анализа радиотелеметрических сообщений, скрытых шумами. / Терентьев В.Н., Омельченко В.В., Терентьев А.В. // Электромагнитные волны и электронные системы; изд-во Радиотехника – 2004 - Т.9, №5 - с.61-67.