

НОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ И ПРОЦЕССОВ

О. В. Лазоренко

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
14, пр. Ленина, Харьков, 61166, Украина
E-mail: Oleg-Lazorenko@yandex.ru*

Рассматривается возможность отличия сверхширокополосных (СШП) сигналов от частотно-модулированных (ЧМ) сигналов. Демонстрируется, что на основе традиционного определения СШП сигнала ЧМ сигнал, являющийся узкополосным в каждый отдельный момент времени, может быть ошибочно отнесен к СШП сигналам. Предлагается концепция динамического показателя широкополосности, основанного на анализе функции спектральной плотности динамического (оконого) преобразования Фурье сигнала. Показывается эффективность нового критерия, основанного на данной концепции, при анализе ЧМ сигналов. Ил. 3. Библиогр.: 27 назв.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал, частотно-модулированный сигнал, динамический показатель широкополосности.

Стремительное развитие СШП технологий, которое наблюдается в последние годы, открывает новые возможности для специалистов в различных областях науки и техники. СШП сигналы успешно применяются в радиолокации, телекоммуникации, дистанционном радиозондировании [1-20]. Основным их преимуществом перед традиционными узкополосными и широкополосными сигналами является способность переносить значительно большее количество информации об объекте исследования (см., например, [2]). Платой за получаемые новые возможности является как необходимость разработки новых методов описания, анализа, генерации, излучения, приема и обработки таких сигналов, так и необходимость создания соответствующих технических средств. В 1990-2000-е гг. рядом специалистов были разработаны и успешно реализованы различные способы решения данных задач, что нашло свое отражение в сотнях публикаций, в том числе и в книгах, появившихся в течение пяти последних лет как в дальнем, так и в ближнем зарубежье [8, 10, 11, 15, 18]. Вклад украинских ученых в развитие СШП технологий также является существенным (см., например, [12]).

Следует также заострить внимание на том, что понятие СШП сигнала в целом не должно ограничиваться только рамками технологий, именуемых на сегодня сверхширокополосными [19, 20]. Более того, не следует отождествлять СШП сигналы только с СШП радиосигналами. Многие сигналы и процессы в природе, науке и технике, причем не обязательно только электромагнитного происхождения, оказываются СШП сигналами и процессами. Их порождают, например, химические и ядерные взрывы, запуски и полеты ракет, функционирование взрывомагнитных генераторов, взрывы электромагнитных бомб, землетрясения, извержения вулканов, мощ-

ные метеопроцессы, молнии, метеоры, геокосмические бури, геомагнитные процессы, прохождение солнечного терминатора. СШП сигналами являются океанические волны-убийцы, акустические сигналы человека и животных и даже излучение абсолютно черного тела, описываемое знаменитой формулой Планка. Примеры СШП сигналов и процессов можно продолжить.

Все эти примеры, по нашему мнению [19, 20], объединяет то, что при их описании для линеаризации соответствующих нелинейных уравнений не удается использовать традиционно удобный малый параметр $\Delta f / f_0$, который, что удивительно, и является показателем широкополосности сигнала μ . Последнее приводит к выводу о том, что как линейная физика является предельным частным случаем нелинейной физики, так и понятие узкополосного сигнала оказывается лишь упрощенным частным случаем более общего понятия – СШП сигнала. Более того, может оказаться, что линейным системам, в основном, соответствуют квазигармонические сигналы и процессы, а нелинейным – СШП сигналы и процессы.

Вместе с тем, несмотря на значительный интерес специалистов к данной тематике, существует ряд слабоосвещенных и неурегулированных вопросов, в том числе и на уровне определений.

Для предотвращения терминологической путаницы в области СШП технологий международной организацией *IEEE* в 2006 г. из числа специалистов (от Украины в нее вошли и харьковчане С. А. Масалов и Г. П. Почанин) была создана рабочая группа, целью которой является разработка соответствующего стандарта (*IEEE Standard P1672*). К сожалению, работа этой группы в данное время еще не завершена и в распоряжении автора имеется только промежуточный документ [21], который пока не вступил в действие.

Представляется целесообразным введение новых дополнительных числовых характеристик, которые позволят более корректно разрешить некоторые из неурегулированных вопросов. Этим объясняется актуальность предлагаемой статьи.

Целью работы является введение в теорию и практику новой числовой характеристики, дополняющей уже существующие, и построение на ее основе количественного критерия, позволяющего отделить СШП сигналы и процессы от являющихся принципиально узкополосными ЧМ сигналов и процессов.

1. Понятие СШП сигнала. Под СШП сигналом (см., например, [1-3, 7, 8]) понимают сигнал, показатель широкополосности μ которого удовлетворяет условию

$$\mu_{\min} \leq \mu < 2. \quad (1)$$

Показатель широкополосности по определению (см., например, [1, 7, 8]) задается соотношением

$$\mu = \frac{\Delta f}{f_0} = 2 \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}}, \quad (2)$$

где f_0 , f_{\min} , f_{\max} – средняя, минимальная и максимальная частоты квадрата модуля спектральной функции (СФ) одномерного преобразования Фурье (ОПФ) $\dot{S}(f)$ данного сигнала $s(t)$; $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ – ширина полосы частот сигнала.

Это определение СШП сигнала, традиционно используемое как в русскоязычной, так и в зарубежной литературе, дано в 1989 г. авторами работы [2]. Тем не менее на сегодня существует несколько отличающихся друг от друга определений СШП сигнала, введенных различными организациями в разных странах мира. Источником различий служит величина μ_{\min} и метод нахождения f_{\min} и f_{\max} . Для финитных во времени сигналов, имеющих принципиально неограниченную в частотной области модуля СФ ОПФ, последнее является далеко не очевидным.

Согласно определению, введенному в 1990 г. комиссией управления перспективных военных НИОКР Министерства обороны США (DARPA) (см., например, [2-6, 8]), $\mu_{\min} = 0,25$, а f_{\min} и f_{\max} следует находить по уровню -20 дБ уменьшения квадрата модуля СФ относительно главного максимума.

В то же время определение Федеральной комиссии связи США (FCC), появившееся в 2002 г. [7, 8, 22], предлагает считать $\mu_{\min} = 0,20$, а f_{\min} и f_{\max} определять по уровню -10 дБ, причем ширина полосы частот, занимаемых СШП сигналом, должна удовлетворять условию $\Delta f \geq 500$ МГц.

В работе, как и в статьях [19, 20, 23], полагаем, что $\mu_{\min} = 0,20$, а f_{\min} и f_{\max} будем определять по уровню убывания модуля СФ ОПФ в e раз относительно ее главного максимума. Подобный подход несколько отличается от рассмотренных выше, однако авторам он представляется более физичным [9, 19, 20]. К тому же при таком способе определения частоты f_{\min} и f_{\max} наилучшим образом удовлетворяют следующему известному соотношению (см., например, [2, 3]):

$$\mu \approx 4 / N, \quad (3)$$

где N – количество лепестков СШП сигнала. Отсюда следует, что N для СШП сигнала является ограниченной величиной: $N \leq 20$.

Из определения СШП сигнала следует, что сигналы с $\mu = 2$ относятся к видеосигналам, с $0,01 < \mu < 0,2$ – к широкополосным, а с $\mu \leq 0,01$ – к узкополосным сигналам (см., например, [11]). Очевидно, что монохроматические сигналы имеют $\mu = 0$.

2. Динамический показатель широкополосности. Указанная классификация, основанная на построении показателя широкополосности сигнала μ , показывает хорошие результаты для простых сигналов, у которых база сигнала $B = \tau_s \Delta f \approx 1$, где τ_s – длительность сигнала. Для сложных сигналов, как известно, $B \gg 1$.

Рассмотрим модельный линейно частотно-модулированный (ЛЧМ) сигнал вида

$$s_1(t) = A_0 \sin \left(\omega f(t) + \varphi_0 \Theta(t) \right), \quad (4)$$

где $\Theta(t) = \eta(t/\tau_s) - \eta(t/\tau_s - 1)$; $\eta(t)$ – функция Хэвисайда; $f(t) = at + f_1$; $a > 0$; φ_0 – начальная фаза; $f_1 = f(0)$. Для такого сигнала $f_{\min} = f_1$, $f_{\max} = a\tau_s + f_1$ и $\Delta f = f_{\max} - f_{\min} = a\tau_s$.

С другой стороны,

$$\Delta f = B / \tau_s; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{1}{2}(f_{\max} + f_{\min}) = \\ &= f_1 + \frac{a\tau_s}{2} = \frac{1}{\tau_s} \left(f_1 \tau_s + \frac{B}{2} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (2), получаем, что $\mu = B / (B/2 + f_1 \tau_s)$. Отсюда при условии $0 < f_1 \tau_s \leq 9B/2$ показатель широкополосности такого сигнала μ удовлетворяет условию СШП сигнала (1).

В то же время показатель широкополосности ЛЧМ сигнала (обозначим его μ_0) можно рассчитать с помощью соотношения (3). Количество лепестков сигнала N оценим с помощью

минимального периода T_{\min} , связанного со средней частотой соотношением $T_{\min}=1/f_{\max}\approx 1/2f_0$. Тогда $N\approx 2\tau_s/T_{\min}=4f_0\tau_s=4(B/2+f_1\tau_s)$. Отсюда $\mu_0\approx 1/(B/2+f_1\tau_s)$ и $\mu=B\mu_0$.

Таким образом, при выполнении условия $5-B/2 < f_1\tau_s \leq 9B/2$ создается парадоксальная ситуация, когда ЛЧМ сигнал, будучи принципиально узкополосным в каждый отдельный момент времени, по величине показателя широкополосности μ должен быть отнесен к СШП сигналам. Возможность возникновения такого случая была отмечена в работе [1], но никаких предложений по ее разрешению там, к сожалению, выдвинуто не было.

В результате этого в 2000-е гг. появился целый ряд как теоретических, так и практических работ (см., например, [24]), в которых разработанные системы, использующие ЛЧМ сигналы, были, по нашему мнению, неправомерно отнесены к СШП.

Те же вопросы возникают и при классификации ЧМ сигналов с иным законом модуляции.

Для корректного выхода из создавшейся ситуации предлагаем для описания СШП сигналов ввести еще одну дополнительную числовую характеристику – динамический показатель широкополосности. Идея его построения основана на оценке ширины модуля СФ динамического (оконного) преобразования Фурье (ДПФ), часто называемого мгновенным спектром сигнала. Такой подход хорошо известен в теории нестационарных сигналов.

Рассмотрим ДПФ исследуемого сигнала $s(t)$, которое, как известно, задается соотношением

$$\dot{S}(f, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)w(t-\tau) \exp(-i2\pi ft) dt,$$

где $\dot{S}(f, \tau)$ – модуль СФ ДПФ; τ – переменная, описывающая сдвиг финитной (или квазифинитной) оконной функции $w(t)$ относительно сигнала $s(t)$.

Пусть $s(t)$ – сигнал, финитный на интервале $t \in [t_-, t_+]$. Тогда с помощью модуля его СФ ДПФ при каждом фиксированном значении τ на интервале $\tau \in [\tau_-, \tau_+]$ можно вычислить величину показателя широкополосности, используя определение (2). Такой показатель широкополосности оказывается функцией переменной сдвига τ , а значит, и времени. Поэтому его можно назвать динамическим показателем широкополосности и обозначить $\mu_d(\tau)$.

При его вычислении определяющую роль играет выбор вида оконной функции $w(t)$ и ее ширины во временной области. Одним из возможных путей решения первой из этих двух задач может быть использование числовых характеристик и основанного на них функционала качества, которые были успешно применены авторами работ [25, 26] для выбора оптимальной вейвлетобразующей функции при проведении вейвлет-анализа СШП сигналов. В приведенных ниже примерах для простоты ограничимся прямоугольной временной оконной функцией.

Выбор ширины оконной функции $w(t)$ зависит от вида анализируемого сигнала. Представляется целесообразным для СШП сигнала положить ширину оконной функции $w(t)$ равной его длительности во временной области τ_s , а для ЛЧМ сигнала – периоду, равному его минимальной частоте $1/f_{\min}$. Для реальных радиотехнических систем возможности выбора ширины оконной функции во временной области, разумеется, будут ограничены их соответствующим разрешением.

Рассмотрим особенности динамического показателя широкополосности при анализе разных видов сигналов.

Выберем модельный СШП сигнал вида (см., например, [11])

$$s_2(t) = A_0 \sin\left(2\pi t \frac{t}{\tau_s}\right) \Theta(t), \quad (7)$$

где количество лепестков сигнала составляет $N=2n$. Для такого сигнала динамический показатель широкополосности при $n=1$ $\mu_d(\tau) \rightarrow 2$, а при $n \geq 2$

$$\mu_d(\tau) \approx \begin{cases} \frac{\mu}{1 + \frac{\tau}{\tau_s}}, & \tau \in \left[-\frac{\tau_s}{2}, 0\right]; \\ \frac{\mu}{1 - \frac{\tau}{\tau_s}}, & \tau \in \left(0, \frac{\tau_s}{2}\right], \end{cases}$$

где $\mu=4/N$ – показатель широкополосности, вычисленный на основе модуля СФ ОПФ. Отметим, что минимальное значение $\mu_d(\tau)$, достигаемое при $\tau=0$, оказывается в точности равным μ . Это и неудивительно, поскольку именно в этом случае длительность сигнала τ_s равна ширине окна $w(t)$. При других же значениях τ в окно попадает лишь часть сигнала, а значит, количество лепестков сигнала, учитываемых при вычислении $\mu_d(\tau)$, уменьшается и значение $\mu_d(\tau)$ возрастает. На рис. 1 приведен вид мо-

дельного СШП сигнала (7) во временной области при $N=4$ ($\mu \approx 1$) (рис. 1, а), модуль его СФ ДПФ (рис. 1, б) и соответствующий график $\mu_d(\tau)$ (рис. 1, в). Для сравнения на рис. 2 показаны аналогичные характеристики для сигнала (7) при $N=24$, когда такой сигнал уже не является СШП ($\mu \approx 0,16$).

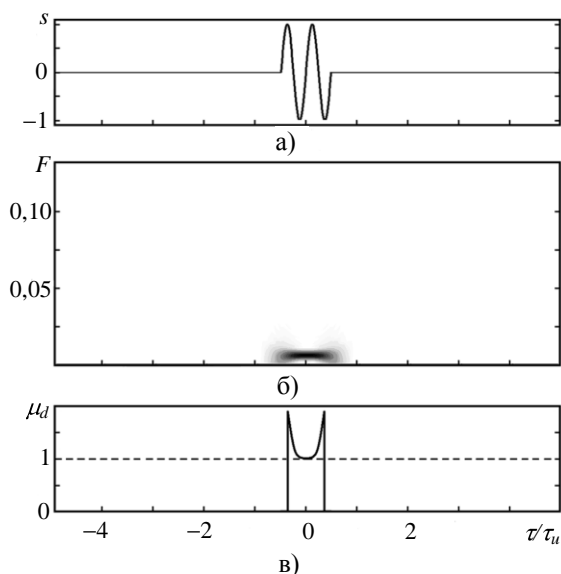


Рис. 1. Анализ модели СШП сигнала (6) при $N=4$ ($\mu=1$): а) – сигнал во временной области; б) – модуль СФ ДПФ; в) – динамический показатель широкополосности. Здесь и далее пунктирной линией показано значение показателя широкополосности μ

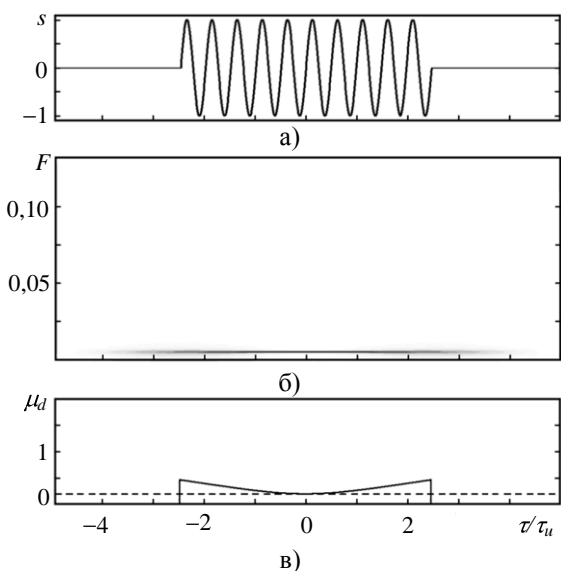


Рис. 2. Анализ модели сигнала (6) при $N=20$ ($\mu=0,2$): а) – сигнал во временной области; б) – модуль СФ ДПФ; в) – динамический показатель широкополосности

Особый интерес представляет рис. 3, на котором показаны характеристики модельного

несверхширокополосного ЛЧМ сигнала (3) (рис. 3, а). Для него оказывается, что $\mu \approx 1,7$, однако $\mu_d(\tau)$, как и ожидалось, везде принимает меньшие значения (рис. 3, в).

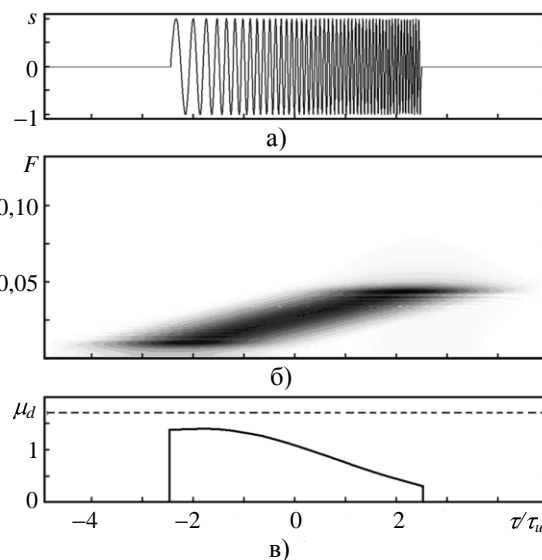


Рис. 3. Анализ модели ЛЧМ сигнала (4) ($\mu=1,7$): а) – сигнал во временной области; б) – модуль СФ ДПФ; в) – динамический показатель широкополосности $\mu_{d\max} \approx 1,4$

На основе проведенных исследований можно сформулировать принцип, который по характеру динамического показателя широкополосности $\mu_d(\tau)$ позволит отличать СШП сигналы и процессы от ЧМ сигналов и процессов. Таким образом, если выполняется условие $\mu_{d\max} \geq \mu$, то такой сигнал или процесс можно отнести к СШП, если же $\mu_{d\max} < \mu$, то этого делать нельзя.

3. Обсуждение результатов. Концепция динамического показателя широкополосности является одной из возможных попыток разграничить СШП и узкополосные сигналы и процессы, когда они являются сложными ($B \gg 1$). Концепция ни в коей мере не противоречит сложившимся в области СШП технологий представлениям, а лишь позволяет дополнить их.

Наряду с продемонстрированными выше преимуществами концепция динамического показателя широкополосности имеет и определенные недостатки. К ним относятся зависимость $\mu_d(\tau)$ от вида выбранной оконной функции и субъективизм при определении ее ширины во временной области. Также динамический показатель широкополосности неприменим для описания случайных сигналов (в частности, прямохаотических СШП сигналов), поскольку в нем используется модуль амплитудного, а не энергетического спек-

тра сигнала. Тем не менее использование разработанного критерия, основанного на построении $\mu_d(\tau)$, представляется полезным и перспективным при проведении время-частотного анализа сигналов в рамках применения вейвлет-анализа, адаптивного преобразования Фурье, нелинейных преобразований класса Коэна (преобразований Вигнера, Чои-Вильямса, Борна-Жордана и их модификаций), а также системного спектрального анализа [27].

Выводы. Показано, что существующие параметры СШП сигналов не позволяют эффективно разделять СШП и сложные сигналы, которые в большинстве случаев в каждый отдельный момент времени не являются сверхширокополосными.

Предложена концепция динамического показателя широкополосности сигнала, основанная на хорошо известном в теории нестационарных сигналов методе – анализе СФ ДПФ. Она дополняет возможности существующих параметров по описанию СШП сигналов и процессов.

На основе концепции динамического показателя широкополосности разработан критерий, позволяющий отличить СШП сигналы от несверхширокополосных ЧМ сигналов.

Показана эффективность динамического показателя широкополосности, рассмотрены его достоинства и недостатки. К достоинствам относится возможность отличить СШП сигнал от узкополосного ЧМ сигнала, к недостаткам – зависимость от вида оконной функции, субъективность при выборе ее ширины во временной области, а также неприменимость для описания случайных сигналов.

Предлагаемый подход может быть полезен при проведении время-частотного анализа сигналов в рамках применения вейвлет-анализа, адаптивного преобразования Фурье, нелинейных преобразований класса Коэна (преобразований Вигнера, Чои-Вильямса, Борна-Жордана и их модификаций), а также системного спектрального анализа.

1. Хармут Х. Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи / Пер. с англ. под ред. А. П. Мальцева. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
2. Астанин Л. Ю., Костылев А. А. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
3. Astanin L. Y., Kostylev A. A. Ultrawideband Radar Measurements: Analysis and Processing. – London: The Institute of Electrical Engineers, 1997. – 244 p.
4. Barrett T. W. History of UltraWideBand (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovations // Proc. Conf. Progress In Electromagnetics Symposium 2000. – Cambridge, 2000. – P. 1-20.
5. Ultra-Wideband Radar Technology / Edited by Taylor J. D. – Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. – 421 p.
6. Barrett T. W. History of Ultra Wideband Communications and Radar: Part I, UWB Communications // Microwave Journal. – 2001. – P. 22-54.

7. Иммореев И., Судаков А. Сверхширокополосные и узкополосные системы связи. Совместная работа в общей полосе частот // Электроника: НТБ. – 2003. – № 2. – С. 34-37.
8. UWB. Theory and Applications / Edited by I. Oppermann, M. Hamalainen, J. Iinatti. – Chichester: Wiley, 2004. – 223 p.
9. Лазоренко О. В., Лазоренко С. В., Черногор Л. Ф. Применение вейвлет-анализа к задаче обнаружения кратковременных знакопеременных и сверхширокополосных процессов // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2004. – 9, № 9-10. – С. 31-62.
10. Ghvami M., Michael L. B., Kohno R. Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering. – Chichester: Wiley, 2004. – 247 p.
11. Nekoogar F. Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications. – New York: Prentice Hall, 2005. – 240 p.
12. Вопросы подповерхностной радиолокации / Под ред. А. Ю. Гринева. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.
13. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Фрактальные сверхширокополосные сигналы // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – 10, № 1. – С. 62-84.
14. Лазоренко О. В., Лазоренко С. В., Черногор Л. Ф. Вейвлет-анализ нелинейных волновых процессов // Успехи совр. радиоэлектрон. – 2005. – № 10. – С. 3-21.
15. Ultra Wideband Wireless Communication / Edited by H. Arslan, Z. N. Chen, M.-G. Di Benedetto. – Chichester: Wiley, 2006. – 500 p.
16. Chernogor L. F., Kravchenko V. F., Lazorenko O. V. Ultra wideband signals: theory, simulation and digital processing / In Proc. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. – Sevastopol: SevNTU, 2006. – P. 32-37.
17. Кравченко В. Ф., Лазоренко О. В., Пустовойт В. И., Черногор Л. Ф. Новый класс фрактальных сверхширокополосных сигналов // Докл. АН РАН. – 2007. – 413, № 1. – С. 31-35.
18. Pam Siriwongpairat W., Ray Liu K. J. Ultra-Wideband Communications Systems. Multiband OFDM Approach. – Chichester: Wiley, 2007. – 229 p.
19. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Сверхширокополосные физические процессы и сигналы. 1. Основные понятия, модели и методы описания // Радиофизика и радиоастрономия. – 2008. – 13, № 2. – С. 166-194.
20. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Сверхширокополосные физические процессы и сигналы. 2. Методы анализа и применение // Радиофизика и радиоастрономия. – 2008. – 13, № 4. – С. 270-322.
21. IEEE P1672 Ultrawideband Radar Definitions // Draft Version 1.5, April 4, 2006. – New York: IEEE, 2006. – 16 p.
22. Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultrawideband transmission systems. First report and order. FCC 02-48. – Federal Communications Commission, 2002. – 36 p.
23. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Дисперсионные искажения высокочастотных сверхширокополосных радиосигналов в ионосфере // Геомагнетизм и астрономия. – 1997. – 37, № 6. – С. 80-90.
24. Арманд Н. А., Власюк А. Л., Марчук В. Н. и др. Подповерхностное зондирование грунта Марса. Первые результаты / II Всероссийская научная конференция-семинар «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике»: сб. докл. – Муром: Изд.-полигр. центр МИ ВлГУ, 2006. – С. 27-30.
25. Лазоренко О. В., Лазоренко С. В., Черногор Л. Ф. Вейвлет-анализ нелинейных волновых процессов // Успехи совр. радиоэлектрон. – 2005. – № 10. – С. 3-21.
26. Лазоренко О. В., Лазоренко С. В., Черногор Л. Ф. Вейвлет-анализ модельных сверхширокополосных сигналов // Успехи совр. радиоэлектрон. – 2006. – № 8. – С. 47-61.
27. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Системный спектральный анализ сигналов: теоретические основы и практические применения // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – 12, № 2. – С. 162-181.

NEW PARAMETERS FOR THE
ULTRA-WIDEBAND SIGNALS
AND PROCESSES DESCRIPTION

O. V. Lazorenko

The possibility of distinguishing of the ultra-wideband (UWB) signals from frequency modulated (FM) signals is considered. It is demonstrated that FM signal, being narrowband in each instant of time, with the traditional UWB signal definition usage can be falsely classified as the UWB signal. The dynamic fractional bandwidth conception based on the analysis of the spectral density function of short-time Fourier transform is suggested. The efficiency of the new criterion based on this conception for FM signal analysis is shown.

Key words: ultra-wideband signal, frequency-modulated signal, dynamic fractional bandwidth.

НОВІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОПИСУ
НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ
ТА ПРОЦЕСІВ

О. В. Лазоренко

Розглядається можливість відрізнєння над широко-смугових (НШС) сигналів від частотно-модульованих (ЧМ) сигналів. Демонструється, що на базі традиційного визначення НШС сигналу ЧМ сигнал, що є вузькосмуговим в кожний окремий момент часу, може бути помилково віднесений до НШС сигналів. Пропонується концепція динамічного показника широкосмуговості, побудованого на аналізі функції спектральної щільності динамічного (віконного) перетворення Фур'є сигналу. Показується ефективність нового критерію, побудованого на даній концепції, при аналізі ЧМ сигналів.

Ключові слова: надширокосмуговий сигнал, частотно-модульований сигнал, динамічний показник широко-смуговості.

Рукопись поступила 26 июня 2008 г.