

О ДЕГРАДАЦИИ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ШИРОКО-ПОЛОСНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ВНУТРИИМПУЛЬСНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Мрачковский О. Д., Бычков В.Е., Олейник А. А.

Зондирующий радиолокационный сигнал с линейной внутриимпульсной частотной модуляцией (так называемый ЛЧМ сигнал, в англоязычной технической литературе chirp-signal) был первым сложным сигналом, использованным в импульсной радиолокации ([1]), который в дальнейшем широко использовался при создании современных импульсных систем ([2], [3]). Аналитически ЛЧМ сигнал может быть представлен в виде:

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau_u}\right) \cdot \sin\left(\omega_0 \cdot t \pm \frac{k \cdot t^2}{2}\right), \tag{1}$$

где $\text{rect}\left(\frac{t}{\tau_u}\right) = \begin{cases} 1, t \in \left[\frac{-\tau_u}{2}; \frac{\tau_u}{2}\right] \\ 0, t \notin \left[\frac{-\tau_u}{2}; \frac{\tau_u}{2}\right] \end{cases}$ — прямоугольная огибающая, τ_u - длительность зондирующего сигнала, ω_0 - центральная частота спектра зондирующего сигнала, $k = \frac{2 \cdot \Delta f}{\tau_u} = \frac{f_a - f_u}{\tau_u}$ - скорость нарастания мгновенной частоты

Основой для анализа зондирующих радиолокационных сигналов является нормированная по энергии функция неопределенности, впервые предложенная Вудвордом [4,5]. Эта функция аналитически представляется во временной и спектральной плоскостях в виде следующей пары:

$$\Psi(\tau, \Omega) = \frac{1}{E} \int S(t) \cdot S(t - \tau) \cdot e^{-j\Omega t} dt \tag{2}$$

$$\Psi(\tau, \Omega) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot E} \int S(\omega - \Omega) \cdot S(\omega) \cdot e^{-j\omega \tau} d\omega \tag{3},$$

где $S(t)$ - аналитический сигнал, $S(t - \tau)$ - отраженный сигнал, $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot f_g$ - круговая частота Доплера, $S(\omega), S^*(\omega)$ - спектр зондирующего и отраженного сигналов, E - энергия сигнала.

Квадрат модуля функции неопределенности образуют так называемое тело неопределенности $|\Psi(\tau, \Omega)|^2$, представляющее собой трехмерную функцию двух переменных (τ, Ω) . Сечения тела неопределенности плоскостями $|\Psi(\tau, \Omega)|^2 = const$ по уровню -1 дБ, -3 дБ, -6 дБ, образуют семейство изокорелят, называемых диаграммами неопределенности. Общепринято диа-

граммой неопределенности (ДН) называть сечение $|\Psi(\tau, \Omega)|^2 = 0.5$ по уровню -6 дБ. Для ЛЧМ сигнала ДН представляет собой эллипсоподобные изоко-реляты, расположенные в определенных квадрантах $\Omega - \tau$ плоскости. Для линейно убывающего закона – в I-м и III-м квадранте $\Omega - \tau$ плоскости при убывающем падающем законе ЛЧМ, либо во II-м и IV-м квадранте $\Omega - \tau$ плоскости для нарастающего закона ЛЧМ.

Пересечение эллипса неопределенности осью τ образует меру, назы-ваемую потенциальной разрешающей способностью по дальности, равной $\Delta\tau = \frac{1}{2 \cdot \Delta f}$, а пересечение осью f_g образует меру потенциальной разре-

шающей способности по доплеровской частоте, равной $\Delta f = \frac{1}{\tau_u}$. Рассмот-

рим влияние широкополосности зондирующего сигнала на потенциальные характеристики сигнала $\Delta\tau, \Delta f$, для чего введем понятие коэффициента

широкополосности сигнала, равного отношению: $q = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f}$

Для анализа влияния широкополосности зондирующего сигнала на конфигурацию диаграммы неопределенности ЛЧМ сигнала воспользуемся специально разработанной программой для расчета функции неопределенности. Программа разработана в системе MATLAB 7.0.

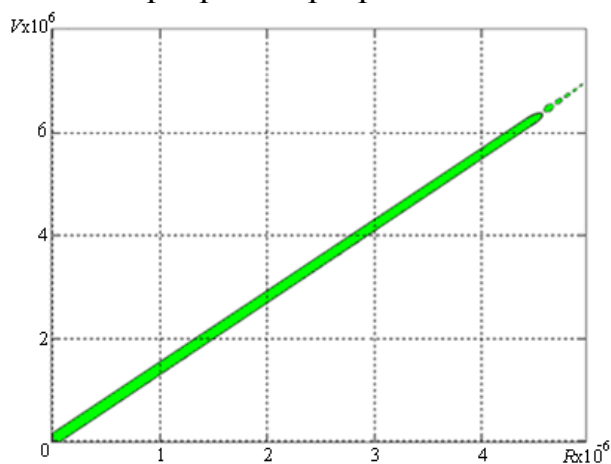


Рис.1. Искажения диаграммы неопределенности с пятью боковыми лепестками

наблюдалось «выбросы» (до 5-го включительно) на функции неопределенности:

$$q_0 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_0} = 100 \quad q_1 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_1} = 18,52 \quad q_2 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_2} = 16,13$$

$$q_3 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_3} = 13,80 \quad q_4 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_4} = 11,83 \quad q_5 = \frac{f_0}{2 \cdot \Delta f_5} = 10,76$$

Результаты моделированной функции неопределенности для ЛЧМ сигнала представлены на рис. 1, на котором наглядно видно появление дополнительного числа «выбросов» функции неопределенности, причем каждый из «выбросов» соответствует определенной ширине полосы зондирующего сигнала.

Значения коэффициентов широкополосности были рассчитаны, исходя из частот, при которых на-

Особо отметим улучшение, по сравнению с Вудвордом, потенциальной разрешающей способности по дальности и скорости, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Уровень 0.5 (-6 дБ)		Уровень 0.7 (-3 дБ)		Уровень 0.9 (-1 дБ)		$2 \Delta f$ (МГц)
f_g (Гц)	R (с)	f_g (Гц)	R (с)	f_g (Гц)	R (с)	
$\frac{1.210}{\tau_u}$	$\frac{1.234}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.884}{\tau_u}$	$\frac{0.869}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.494}{\tau_u}$	$\frac{0.457}{2 \cdot \Delta f}$	1.00
$\frac{1.207}{\tau_u}$	$\frac{1.188}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.862}{\tau_u}$	$\frac{0.441}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.147}{\tau_u}$	$\frac{0.485}{2 \cdot \Delta f}$	5.40
$\frac{1.247}{\tau_u}$	$\frac{1.209}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.778}{\tau_u}$	$\frac{0.879}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.265}{\tau_u}$	$\frac{0.493}{2 \cdot \Delta f}$	6.20
$\frac{1.195}{\tau_u}$	$\frac{1.211}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.700}{\tau_u}$	$\frac{0.883}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.239}{\tau_u}$	$\frac{0.477}{2 \cdot \Delta f}$	7.25
$\frac{1.097}{\tau_u}$	$\frac{1.208}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.643}{\tau_u}$	$\frac{0.875}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.220}{\tau_u}$	$\frac{0.472}{2 \cdot \Delta f}$	8.45
$\frac{1.053}{\tau_u}$	$\frac{1.209}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.617}{\tau_u}$	$\frac{0.875}{2 \cdot \Delta f}$	$\frac{0.211}{\tau_u}$	$\frac{0.473}{2 \cdot \Delta f}$	9.30

Зависимости изменения потенциальной разрешающей способности по дальности и по скорости показаны на рис. 2 и рис. 3. На графиках имеются по 3 кривых для разных измеренных уровней.

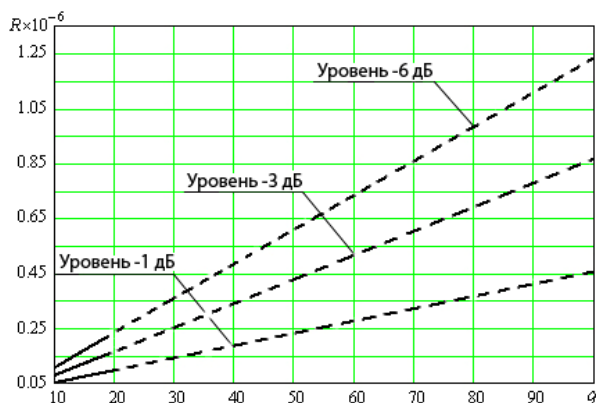


Рис.2. График изменения потенциальной разрешающей способности по дальности от коэффициента широкополосности

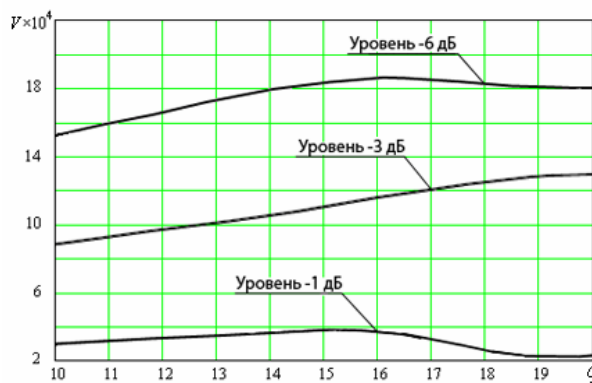


Рис.3. График изменения потенциальной разрешающей способности по скорости от коэффициента широкополосности

Наблюдающаяся в настоящее время тенденция к увеличению широкополосности сигнала требует пересмотра Вудвордовской концепции функции неопределенности (ФН), которая интерпретирует эффект Доплера как простой частотный сдвиг центральной частоты f_0 отраженного сигнала.

Проведенное численное моделирование свидетельствует о том, что наблюдается эффект деградации функции неопределенности, проявляющийся

ся в том, что сокращается объем основного гребня ФН и он перетекает в дополнительные боковые выбросы. Наличие дополнительных боковых выбросов приводит к увеличению вероятности ложной тревоги, а значит к уменьшению помехоустойчивости.

Сокращение объема основного гребня приводит к увеличению потенциальной разрешающей способности по дальности $\Delta\tau$ и скорости Δf . Для каждого конкретного значения параметров зондирующего сигнала (вида огибающей, центральной частоты f_0 , ширины спектра $2 \cdot \Delta f$, длительности τ_u) значения потенциальных характеристик сигнала должно быть предварительно рассчитано.

Впервые в гидролокации, где используется класс широкополосных сигналов, функция неопределенности Вудворда была некорректно использована в работе Стеварда и Уестерфильда [6], потом этот подход был заимствован в работах Ольшевского В. В. ([7],[8]) и Круковского-Синевича ([9]), результаты которых существенно отличаются от истинных значений $\Delta\tau$ и Δf .

Литература

1. Ширман Я. Д. «Способ повышения разрешающей способности радиолокационных станций и устройство для его осуществления» А.с. СССР № 146803 от 25.07.1956
2. Кук Ч., Бернфельд М. «Радиолокационные сигналы», М.: Сов. Радио, — 1971
3. Справочник по радиолокации, Сов. Радио, М., 1978
4. Вудворд Ф. М. Теория Вероятностей и теория в информации с применением в радиолокации.— Сов. Радио, М., 1955
5. Вакман Д. Е. «Сложные сигналы и принцип неопределенности в радиолокации», Сов. Радио, М., 1965
6. Стевард, Уестерфильд «Теория активного гидролокационного обнаружения», Зарубежная радиоэлектроника, №2, 1960 год
7. Ольшевский В. В. Статистические методы в гидролокации. Судостроение, Л., 1973
8. Ольшевский В. В. Статистические методы в гидролокации. Судостроение, Л., 1983
9. Круковский-Синевич К. Б. Синтез гидролокационных сигналов по области сильной корреляции функции неопределенности скорость-запаздывание // Труды 6-ой всесоюзной школы семинара по статистической гидроакустике.— Новосибирск — 1975. — стр. 117-136

Мрачковський О. Д., Бичков В.Є., Олійник О. О. Про деградацію функції невизначеності широкополосного зондируючого сигналу з лінійною частотною модуляцією всередині імпульсу. Тенденція збільшення широкосмуговості в наші дні веде за собою перегляд теорії, розробленої Вудвордом, оскільки вона не розрахована для широкосмугових сигналів. У даній роботі змодельований такий випадок, котрий показує неточності в класичній теорії Вудворда

Ключові слова: *функція невизначеності, широкосмуговий сигнал, розрешаюча спроможність*

Мрачковский О.Д., Бычков В.Е., Олейник А.А. О деградации функции неопределенности широкополосного зондирующего сигнала с линейной внутриимпульсной частотной модуляцией Тенденция увеличения широкополосности в наши дни ведет за собой пересмотр теории, которую разработал Вудворд, поскольку она не рассчитана для широкополосных сигналов. В данной работе был смоделирован такой случай, который показывает неточности в классической теории Вудворда

Ключевые слова: *функция неопределенности, широкополосный сигнал, разрешающая способность*

Mrachkovskiy O.D., Bychkov V.E., Oleinik A.A. About degradation of uncertainty function broadband signal with the linear inside impulse frequency modulation. The increase tendency bandwidth conducts today behind itself revision of the theory which has developed Woodward as it is not calculated for broadband signals. In the given work was such case which shows discrepancies in is simulated classical theory Woodward

Key words: *function of uncertainty, broadband signal, resolution ability*