

Селеенко Е.Е., ст. преп., УГЗУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Показано, что при решении задачи обнаружения взрывоопасных предметов, расположенных в толще грунта, а также проведение поисково-спасательных работ на водной поверхности целесообразно использование методов радиолокационного зондирования с применением сложных сигналов. Обоснована необходимость минимизации уровня шумов в спектре излучаемого сигнала до допустимых значений. Проведены исследования характера и уровня внутриполосных искажений излучаемых сложных сигналов с целью определения области и величины минимальной интенсивности искажений

Постановка проблемы. В настоящее время, для подразделений МЧС актуальными остаются задачи обнаружения мин и других взрывоопасных предметов, расположенных в толще грунта, а также проведение поисково-спасательных работ на водной поверхности (поиск людей и материальных средств, оказавшихся в воде в результате чрезвычайной ситуации), далее по тексту – объектов поиска.

Анализ последних исследований и публикаций. Решение этих задач традиционными методами малоэффективно, поскольку, используемые в настоящее время для обнаружения взрывоопасных предметов поисковые системы — детекторы и датчики — не обеспечивают необходимую вероятность правильного обнаружения [1], а поисковые работы на водной поверхности, как правило, осуществляются визуально [2]. Известные же космические системы дистанционного зондирования Земли характеризуются низкой оперативностью получения информации; обладают жесткими ограничениями, связанными с прозрачностью атмосферы и погодными условиями; пространственное разрешение таких систем находится в диапазоне от десятков метров до десятков километров [3,4], что делает нецелесообразным их применение для проведения поисково-спасательных работ.

В этих условиях, для обнаружения и распознавания рассматриваемых объектов поиска возможно применение радиолокационного зондирования сложными сигналами, синтезируемыми на основе цифроаналогового метода [5]. Однако, высокий уровень шумов в спектре отраженного (принимаемого) сигнала, обусловленный рядом естественных факторов [1,5], уменьшает вероятность обнаружения объектов поиска, а значит, ограничивает применение радиолокаторов. Одним из путей снижения уровня шумов в спектре отраженного сигнала является минимизация уровня искажений в спектре излучаемого колебания до допустимых значений [1,5].

Постановка задачи и её решение. Для синтеза сигналов с допустимым уровнем искажений применяются устройства узкополосной следящей фильтрации [5]. Однако, возможности следящих фильтров по уменьшению уровня искажений синтезируемых сигналов не безграничны и составляют 15-30 дБ при полосе пропускания до десятков – сотен кГц [5]. В связи с этим, необходимо исследовать характер и уровень внутриволновых искажений излучаемых сложных сигналов с целью определения области и величины минимальной интенсивности искажений для повышения вероятности обнаружения объектов поиска при радиолокационном зондировании.

В программном синтезаторе вычислительного типа в дискретные моменты времени $t_i = i/f_m$ определяются $K_\varphi(i)$ – коды мгновенных значений фазы формируемого сигнала. Преобразование кодов фазы $K_\varphi(i)$ в коды мгновенных значений напряжения $K_u(i)$ осуществляется в соответствии с функциями синуса либо косинуса при помощи тригонометрического преобразователя.

В результате работы синтезатора сигналов формируются коды мгновенных значений напряжения $K_u(i)$, а в результате цифроаналогового преобразования - квантованное напряжение $U(t)$. Реальные и мнимые части спектральных составляющих синтезированного сигнала находятся с помощью алгоритмов Фурье-анализа

$$\operatorname{Re}(G(m)) = \sum_{i=0}^N \left(U(i) \cos \frac{2\pi m i}{N} + U^*(i) \sin \frac{2\pi m i}{N} \right),$$

$$\operatorname{Im}(G(m)) = \sum_{i=0}^N \left(-U(i) \sin \frac{2\pi m i}{N} + U^*(i) \cos \frac{2\pi m i}{N} \right), \quad (1)$$

где $m = 0, 1, \dots$ – отсчеты БПФ.

Для определения спектральной плотности мощности фазовых шумов сложных сигналов – $G_\phi(m)$ – воспользуемся выражением

$$G_\phi(m) = \left| \Delta G_\phi(m) \right|^2 = \left| G_{\phi u}(m) - G_{\phi p}(m) \right|^2, \quad (2)$$

где $G_{\phi u}(m)$ – значения коэффициентов ФЧС идеального сигнала, $G_{\phi p}(m)$ – значения коэффициентов ФЧС реального сигнала.

Для нахождения $G_\phi(m)$ воспользуемся записью спектральной плотности через ее модуль и аргумент:

$$\begin{aligned} G_I(m) &= |G_I(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\phi u}(m)); \\ G_P(m) &= |G_P(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\phi p}(m)). \end{aligned} \quad (3)$$

При перемножении спектра $G_I(m)$ идеального колебания и комплексно-сопряженного спектра $G_P^*(m)$ реального сигнала получаем

$$\begin{aligned} G(m) &= |G_I(m)| \cdot \exp(-j \cdot G_{\phi u}(m)) \cdot |G_P(m)| \cdot \exp(j \cdot G_{\phi p}(m)) = \\ &= |G_I(m) \cdot G_P(m)| \cdot \exp(-j \cdot (G_{\phi u}(m) - G_{\phi p}(m))) = \\ &= |G(m)| \cdot \exp(-j \cdot \Delta G_\phi(m)). \end{aligned} \quad (4)$$

Из выражения (4) находим спектральное распределение фазовых шумов выходного сигнала:

$$\Delta G_\phi(m) = G_{\phi u}(m) - G_{\phi p}(m) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Im}(G(m))}{\operatorname{Re}(G(m))} \right). \quad (5)$$

Используя выражение (2) получаем значения спектральной плотности мощности фазовых шумов $G_\varphi(m)$. Спектральную плотность мощности частотных шумов $G_f(m)$, характеризуемую как средний квадрат отклонений частоты сигнала от ее номинального значения под действием шумов на частоте анализа F_m в полосе частот Δf , находим из выражения (6)

$$G_f(m) = G_\varphi(m) \cdot F_m^2. \quad (6)$$

Частота анализа F_m рассчитывается из соотношения $F_m = (i \cdot n / f_m)$, где n – количество отсчетов БПФ. Тогда выражение (6) приобретает вид

$$G_f(m) = G_\varphi(m) \cdot (i \cdot n / f_m)^2. \quad (7)$$

Результаты моделирования показаны на рис. 1

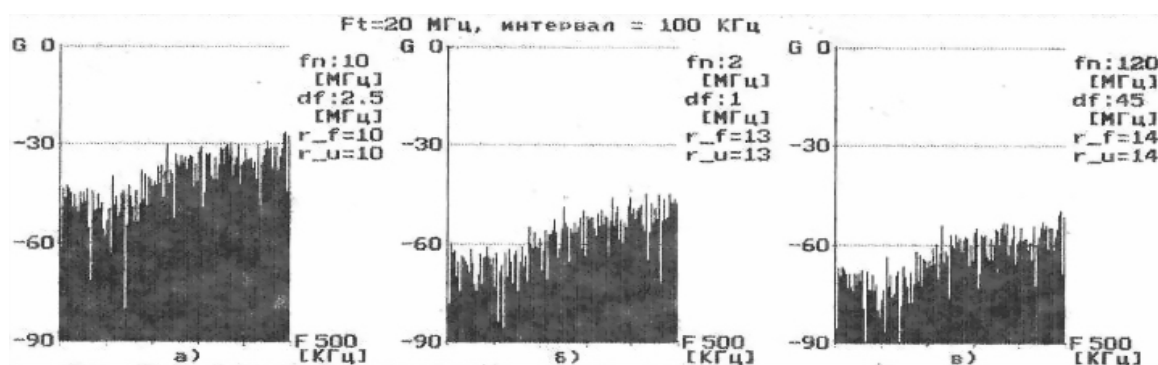


Рис. 1 – Спектральное распределение искажений сигнала

В результате проведенного моделирования установлено, что спектральное распределение искажений сложных сигналов, синтезируемых формирователями поисковых систем, имеет неравномерный характер. Исследование уровня внутриполосных искажений излучаемых сложных сигналов позволило определить область минимальной интенсивности искажений, которая расположена на удалении до 200 кГц от несущей. На удалении более 200 кГц от несущей уровень искажений увеличивается на 15-20 дБ, что делает использование следящего фильтра поисковой системы менее эффективным.

Выводы. При построении устройств формирования сложных сигналов для поисковых систем, решающих задачи обнаружения взрывоопасных предметов, расположенных в толще грунта, а также для проведения поисково-спасательных работ на водной поверхности, необходимо учитывать ширину области минимальной интенсивности искажений при выборе полосы пропускания активного следящего фильтра. Данная рекомендация позволит наиболее эффективно использовать возможности устройств узкополосной следящей фильтрации по снижению уровня искажений синтезируемых сигналов и, как следствие, повысит вероятность обнаружения, распознавания и точность измерения координат объектов поиска при проведении поисково-спасательных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывоопасные объекты. Методы и средства поиска, обнаружения, обезвреживания и утилизации. / Под ред. В.А. Заренкова. — С-Птб, Наука и Техника, 2003. — 354 с.
2. В.А. Акимов, Ю.Л. Воробьев, М.И. Фадеев и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. — М.: Высш. шк., 2006. — 592 с.
3. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001. — 264 с.
4. Красовский Г.Я., Петросов В.А. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды. — Харьков, Государственный аэрокосмический университет, 1999. — 206 с.
5. Теория и техника генерирования, излучения и приема радиолокационных сигналов. / Под ред. Ю.Н. Седышева. — ВИРТА, 1986. — 650 с.