

УДК 621.391

А.Н. Барсуков, С.С. Сергеев, В.В. Ткачук, А.С. Болдырев

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ СКРЫТНОСТИ БОРТОВОГО РАДИОВЫСОТОМЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ХАОТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, СФОРМИРОВАННОГО НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ИКЕДЫ

В статье рассматривается метод повышения скрытности (маскировки) радиовысотомера летательного аппарата, с использованием хаотического процесса, генерируемого нелинейной динамической системой Икеды. Предлагается структурная схема модернизированного радиовысотомера больших высот.

**Ключевые слова:** хаотический процесс, скрытность, радиовысотомер.

### Введение

Исследования локальных вооруженных конфликтов в различных государствах и их военных учений показали, что превосходство боевой мощи не гарантировало благоприятного исхода операций, если системы управления различных командных инстанций оказывались подавленными средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ) [1]. За двадцатилетний период средства РЭБ трижды подвергались существенным изменениям: в 1993, 2004 и 2010 годах [1], т.к. применения новых подходов скрытия радиоэлектронных средств и принципов обработки сигналов приводили к разработкам новых средств радиоэлектронного подавления (РЭП) [1].

Вместе с тем, особое внимание разработчиков привлекла возможность применения достижений теории динамического хаоса в решениях задач, связанных с повышением помехозащищенности бортового радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов, т.е. функционирования в условиях радиоэлектронного подавления.

К настоящему моменту известны новые направления использования динамического хаоса [2 – 5]: в сетевых мультисенсорных информационно-измерительных системах, в радиолокационных станциях (РЛС) и многопозиционных и многоканальных (multiple input – multiple output) ММО РЛС, а также в радиотехнических системах передачи информации (РТС ПИ).

Однако, как оказалось, возможность применения теории динамического хаоса в бортовых радионавигационных системах недостаточно хорошо изучено и по-прежнему остается актуальным.

Хаотические процессы обладают следующими важными характеристиками: способностью выделять информацию по наблюдению хаотического сигнала без предварительной синхронизации, широким энергетическим спектром, а высокая чувствительность поведения хаотических динамических систем к начальным значениям делает их привлекательными для кодирования и (или) скрытности сигнала [6]. Перечисленные характеристики обуслови-

ли разработчиков к применению в измерительных системах, а именно в радиовысотомерах (РВ) летательных аппаратов (ЛА).

**Целью данной работы** является разработка метода маскировки радиосигнала при измерении истинной высоты радиовысотомером ЛА.

### Изложение основного материала

Современные импульсные радиовысотомеры летательных аппаратов представляют собой импульсную радиолокацию, работающую в сантиметровом диапазоне, и предназначены для измерения истинной высоты полета ЛА [7]. Радиовысотомеры используются в основном при решении навигационных и ряда тактических задач (при прицеливании, бомбометании и фотографировании) [8].

Принцип измерения высоты основан на измерении временного интервала между моментами излучения радиоимпульсов и их приемами отраженных от поверхности земли [8].

Упрощенная структурная схема РВ [9], в которой реализованный импульсный метод, приведен на рис. 1, где: ГСВЧ – генератор сверхвысокой частоты, БС – балансный смеситель, УНЧ – усилитель низкой частоты, ФИ – формирователь импульсов, СИ – счетчик импульсов, УПТ – усилитель постоянного тока; УВ – указатель высоты, Апрд, Апрм – передающая и приемная антенны.

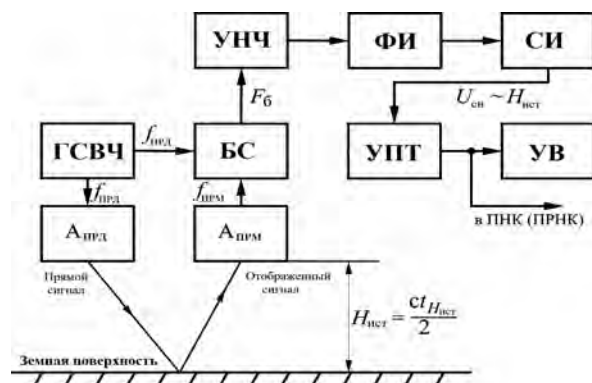


Рис. 1. Структурная схема радиовысотомера

Нижче по контексту пропонується варіант структурної схеми модернізованого радіовисотомера (рис. 2), що відрізняється наявністю блоків: хаотичним модулятором (ХМ) і демодулятором хаотичного сигналу (ДХС).

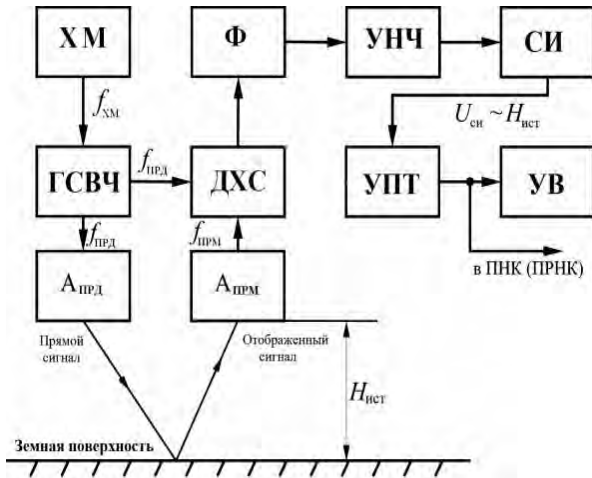


Рис. 2. Структурная схема модернизированного радиовисотомера

Генератор хаотического процесса описывается нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка Икеды [10]:

$$\dot{x}(t) = -x(t) + \mu \cdot \sin(x(t - \tau_0) - \psi), \quad (1)$$

где  $\psi$  – фазовый сдвиг;  $\mu$  – коэффициент пропорциональности обратной связи;  $\tau_0$  – время задержки [10].

Подмешивание импульсов отсчета  $s(t)$  в хаотический процесс, выполняется манипуляцией динамической переменной  $x(t)$  следующим образом [5]:

$$\dot{x}(t) = -(x(t) + s(t) \cdot c) + \mu \cdot \sin(x(t - \tau_0) - \psi), \quad (2)$$

где  $c$  – уровень импульсов  $s(t)$ .

В качестве примера на рис. 3 приведена временная реализация хаотического сигнала (ХС)  $x(t)$ , полученного в результате моделирования алгоритма (2) при таких значениях:  $\mu=50$ ,  $\tau=800$ ,  $c=10$  и  $\psi=\pi/2$ . Дифференциальное уравнение Икеды (2) решалось численным методом Рунге – Кутты четвертого порядка с шагом интегрирования  $h = 0,001$  и начальными значениями  $x(t_0 \div t_\tau) = 0,01$ .

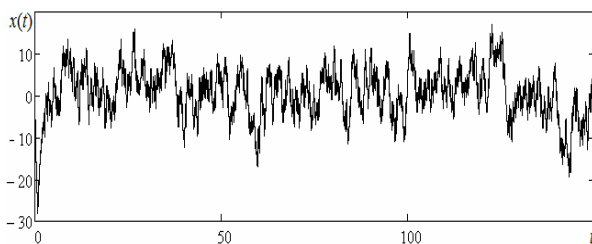


Рис. 3. Временная реализация ХС

Легко заметить, что временная реализация  $x(t)$  (рис. 3) внешне схожа на случайный процесс.

Вместе с тем, на рис. 4 демонстрируется фазовый портрет хаотического сигнала, который позволяет по его структуре изучить состояния динамической системы в различных колебательных режимах.

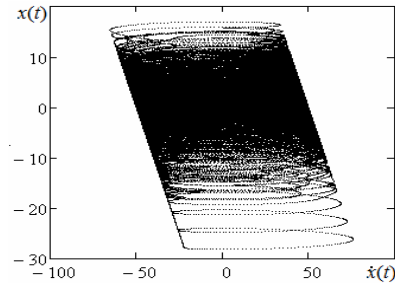


Рис. 4. Фазовый портрет ХС

Видно, что аттрактор (рис. 4) динамической системы (2) имеет сложную структуру и отождествляет хаотический режим.

Кроме этого исследуются автокорреляционная функция  $C(n)$  хаотического сигнала и его энергетический спектр  $G(\omega)$ , которые представлены на рис. 5 и 6.

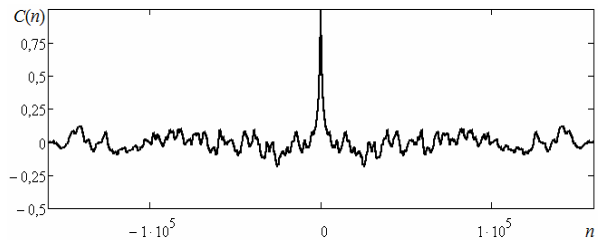


Рис. 5. Автокорреляционная функция ХС

Заметим, что на автокорреляционной функции хаотического сигнала (рис. 5) наблюдается максимум при  $n = 0$  и убывающие до нуля боковые кривые при  $n \rightarrow \pm \infty$ .

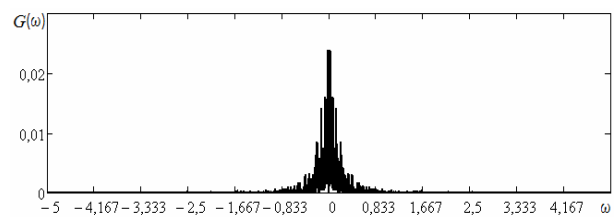


Рис. 6. Энергетический спектр ХС

Отметим, что на рис. 6 энергетический спектр хаотического сигнала обладает свойствами динамического хаоса, характеризуемый как узкополосный шум.

Не меняя общности вышесказанного, ниже предлагается алгоритм выделения импульсов по наблюдению хаотического сигнала  $y(t)$ , который выполнялся обращением уравнения (2) относительно  $s(t)$  при условии, что известны параметры дина-

мической системы в результате этого, получили выражение [5]:

$$s(t) = (\mu \cdot \sin(x(t - \tau_0) - \psi) - y(t) - \dot{y}(t)). \quad (3)$$

Поскольку в выражении (3) производная хаотического сигнала  $\dot{o}(t)$  неизвестна, однако доступно наблюдение  $o(t)$ , то воспользовавшись численным методом приближенного дифференцирования по четырем дискретным отсчетам, получили недостающую производную  $\dot{o}(t)$  [5].

На рис. 7 приведена зависимость  $s(t)$ , полученная в результате моделирования алгоритма измерения высоты, на основе системы Икеды. Кривая 1 отображает излученные импульсы, а кривая 2 отраженные импульсы. После процедуры выделения импульсов  $s(t)$ , сигнал ограничивался по уровню.

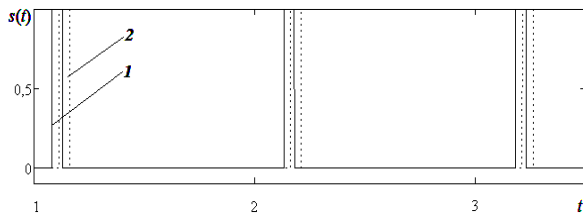


Рис. 7. Временная диаграмма

Временная диаграмма, изображенная на рис. 7, подтверждает адекватность предложенной математической модели измерения истинной высоты, с использованием хаотического процесса.

## Выводы

Таким образом, в работе предложен вариант структурной схемы бортового радиовысотомера, с использованием генератора хаотических сигналов, практическая реализация которого не требует существенного изменения конструкции оборудования радиовысотомера. Кроме этого, рассмотренная математическая модель измерения истинной высоты, позволяет повысить скрытность функционирования («под шум») радиовысотомера летательного аппарата.

## ПІДВИЩЕННЯ СКРИТНОСТІ БОРТОВОГО РАДІОВИСОТОМІРА, ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ХАОТИЧНОГО ПРОЦЕСУ, СФОРМОВАНОГО НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМОЮ ІКЕДИ

О.М. Барсуков, С.С. Сергеев, В.В. Ткачук, А.С. Болдирев

У статті розглядається метод підвищення скритності (маскування) радіовисотомір літального апарату, з використанням хаотичного процесу, генерованого нелінійної динамічної системою Ікеди. Пропонується структурна схема модернізованого радіовисотомір великих висот.

**Ключові слова:** хаотичний процес, скритність, радіовисотомір.

## INCREASED STEALTH AIRBORNE RADAR ALTIMETER, USING CHAOTIC PROCESS GENERATED BY NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEM OF IKEDA

A.N. Barsukov, S.S. Sergeev, V.V. Tkachuk, A.S. Boldirev

This article discusses a method of increasing masking altimeter aircraft using chaotic process generated by a nonlinear dynamical system Ikeda. Offered a block diagram of the upgraded altimeter greater heights.

**Keywords:** chaotic process, hiding, radio altimeter.

## Список литературы

1. Иванов И. Содержание и роль радиоэлектронной борьбы в операциях XXI века / И. Иванов, И. Чадов // За рубежом военное обозрение. – 2011. – №1. – С. 14-20.
2. Васюта К.С. Мультирадарная информационно-измерительная система на основе хаотических сигналов / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – Муром.: МВЛГУ, 2013. – Вып. 3 (11). – С. 25-32.
3. Васюта К.С. Анализ влияния флуктуаций параметров хаотического сигнала на качество его корреляционной обработки в измерительных радиотехнических системах / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.В. Озеров // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2012. – Вып. 7 (105). – С. 60-63.
4. Васюта К.С. ММО РЛС основанная на применении ортогональных хаотических сигналов в сетцентрической системе ПВО / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.Н. Ковалевский // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2013. – Вып. 1 (108). – С. 21-24.
5. Барсуков А.Н. Выделение бинарного сообщения по наблюдению хаотического сигнала, сформированного динамической системой Икеды / А.Н. Барсуков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС. – 2013. – Вып. 2 (35). – С. 67-70.
6. Фалькович С.Е. Основы статистической теории радиотехнических систем. Учеб. пособие / С.Е. Фалькович, П.Ю. Костенко. – Х.: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 390 с.
7. Рябцов А.Л. Бортовые средства радионавигации / А.Л. Рябцов, В.Я. Нартов, А.И. Яковлев. – М.: Воен. изд, 1993. – 300 с.
8. Ярлыков М.С. Авиационные радионавигационные устройства и системы / М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, А.С. Богачев. – Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1980. – 384 с.
9. Суханов О.Ю. Бортові радіонавігаційні пристрої та системи. Ч.1. Амплітудні та частотні радіонавігаційні пристрої: навч. посіб. / О.Ю. Суханов, О.Ю. Яценюк. – Х.: ХУПС, 2013. – 230 с.
10. Laurent Larger From Flow to Map in an Experimental High-Dimensional Electro-Optic Nonlinear Delay Oscillator / Larger Laurent, Lacourt Pierre-Ambroise, Poincot Ste.phane, and Hanna Marc // PHYSICAL REVIEW LETTERS PRL 95. – 2005. – 043903. – P. 043903-(1-4).

Поступила в редколлегию 19.02.2014

**Рецензенты:** канд. техн. наук, ст.научн. сотр. А.А. Красноуцкий; канд. техн. наук, доц. А.Ю. Суханов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.