

УДК 621.391

К.С. Васюта, А.А. Малышев, Ф.Ф. Зоц

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ХАОТИЧЕСКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ

В работе анализируется возможность применения хаотических сигналов в радиолокационных системах. Проведен анализ корреляционных свойств хаотического радиоимпульса в сравнении с применяемыми в РЛС радиоимпульсами. Показано, что использование хаотического радиоимпульса в РЛС позволит значительно увеличить их разрешающую способность по дальности и с учетом специфических свойств хаотических сигналов позволит обеспечить их скрытность.

**Ключевые слова:** хаотический радиоимпульс, корреляционные свойства, скрытность.

### Введение

В 70-е годы XX столетия в трудах Я.Д. Ширмана, например в [1], отмечалось, что для реализации игольчатого тела неопределенности сигнала существенна хаотичность в законе модуляции. Тогда под хаотичностью понималась случайность, однако развитие нелинейной динамики за последние годы в корне изменило представление о хаотических процессах [2].

При развитии статистической теории радиотехники были известны два класса процессов – регулярные и случайные. Не более 20-ти лет назад был открыт и развит новый класс – хаотических процессов. Хаотические процессы (колебания) – это процессы (колебания), которые порождены нелинейными динамическими системами, характеризующимися высокой чувствительностью к начальным условиям и их параметрам, конечным горизонтом предсказуемости, внешней схожести со случайными процессами, неотличимыми от них методами корреляционно-спектрального анализа, обладающие свойствами повторяемости при повторении условий эксперимента.

Использование хаотических сигналов до недавнего времени в радиолокации было затруднено из-за наличия технических и технологических ограничений. Но в настоящее время разработано достаточное число генераторов хаотических колебаний [3] и широкополосных усилителей СВЧ, что позволяет использовать их для усиления хаотических сигналов. В работах К.А. Лукина [4] описываются результаты практической реализации хаотической модуляции сигнала. Однако, такой сигнал имеет регулярную несущую и поэтому может быть легко обнаружен средствами радиоэлектронной разведки.

Для радиотехнических систем передачи данных уже теоретически обосновано и доказано преимущество использования хаотической несущей, в частности, для скрытой передачи данных [5].

Целью данной работы является исследование преимуществ хаотического радиоимпульса и его характеристик по сравнению с известными радиолокационными сигналами.

### Изложение основного материала

Ожидается, что использование хаотических сигналов существенно затруднит обнаружение факта работы РЛС существующими средствами радиоразведки. Использование таких сигналов обеспечивает скрытность работы системы для не санкционированного наблюдателя, так как форма сигнала для него неизвестна.

Анализ свойств зондирующего хаотического сигнала проведем на основании его тела неопределенности. В нелинейной динамике уже имеется достаточное количество парадигм, которые можно применять для формирования хаотических несущих. Это такие парадигмы, как: кусочно-линейное (палаточное) отображение, логистическое квадратичное, Фейгенбаумна, отображение Чебышева первого рода 3-го порядка, отображение Эннона и др. На рис. 1 приведены временные реализации сигналов одинаковой длительности, которые иллюстрируют новые парадигмы (модели) процессов. Для дальнейшего анализа остановимся на знакопеременном отображении Чебышева первого рода 3-го порядка:

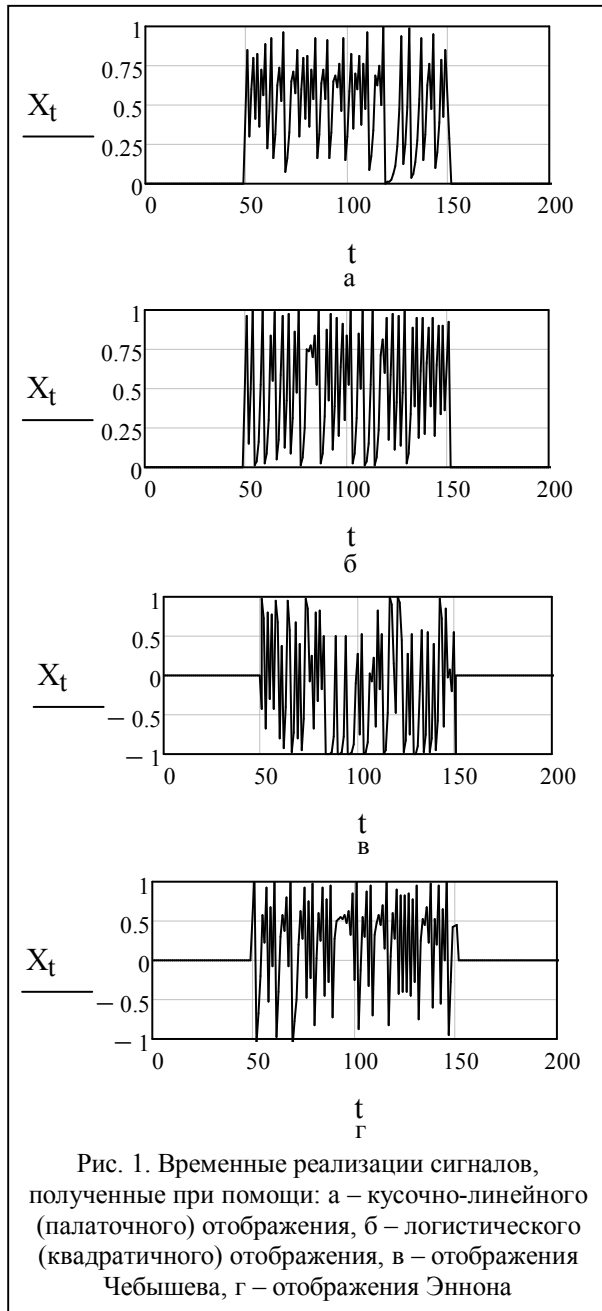
$$x_{t+1} = 4(x_t)^3 - 3x_t, \quad (1)$$

где  $t = 0, 1, 2, \dots, n$ .

На рис. 2 приведено тело неопределенности сигнала сформированного при помощи (1), полученное численным методом. По оси  $x$  отложены значения длительности импульса  $\tau$ , по оси  $y$  – частоты сигнала  $F$ , по оси  $z$  – значение автокорреляционной функции  $\rho(\tau, F)$ . Полученное тело неопределенности имеет “игольчатый” или “кнопочный” вид, как у белого шума [1].

На рис. 3 иллюстрируется спектр хаотического радиоимпульса. Из рисунка видно, что его спектр

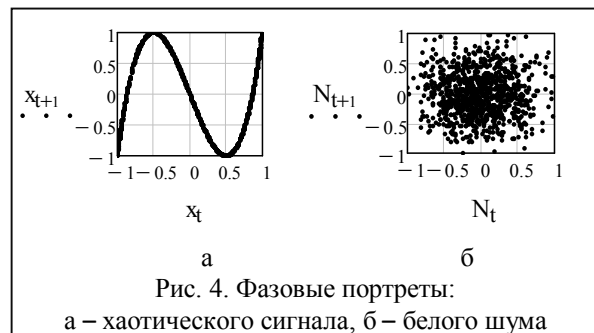
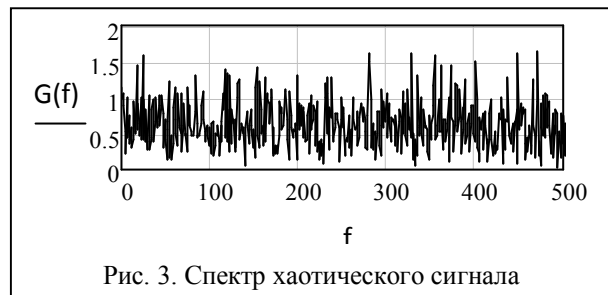
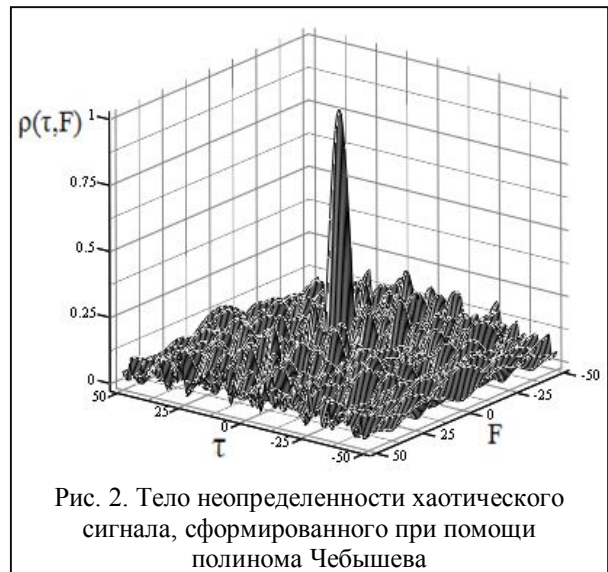
равномерно-непрерывный, как у белого шума. Сравнение фазовых портретов хаотического сигнала, сформированного при помощи (1) (рис. 4, а) и белого шума (рис. 4, б) – иллюстрирует детерминированную природу хаотического сигнала.



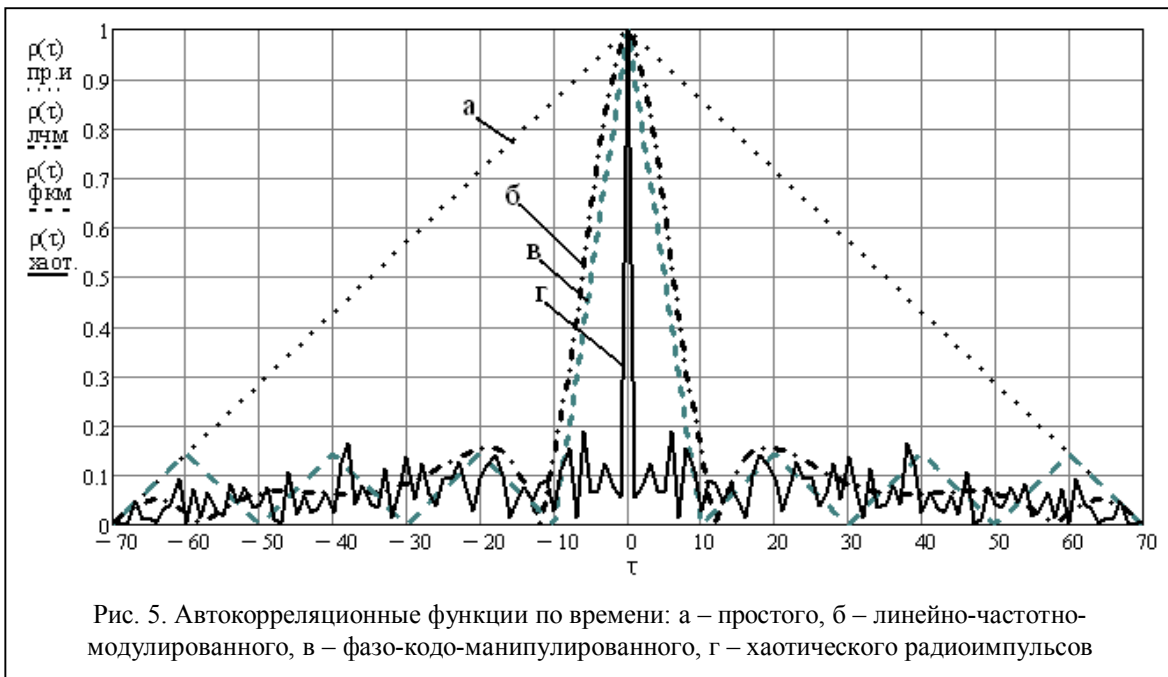
Данную особенность следует использовать для применения не традиционных методов приема и обработки хаотических сигналов.

Для сравнительного анализа были построены сечения тел неопределенности (автокорреляционные функции  $\rho(\tau)$  и  $\rho(F)$  (рис. 5). Из рис. 5 видно, что хаотический радиоимпульс обладает высокой разрешающей способностью по дальности, которая не зависит от длительности импульса и определяется шириной спектра сигнала, разрешающая способность по частоте обратно пропорциональна дли-

тельности сигнала. При этом уровень боковых лепестков  $\rho(\tau)$  для отображения Эннона составляет 33%, а  $\rho(\tau)$  для отображения Чебышева 13%, что не превышает уровень боковых лепестков используемых радиоимпульсов в современных РЛС.



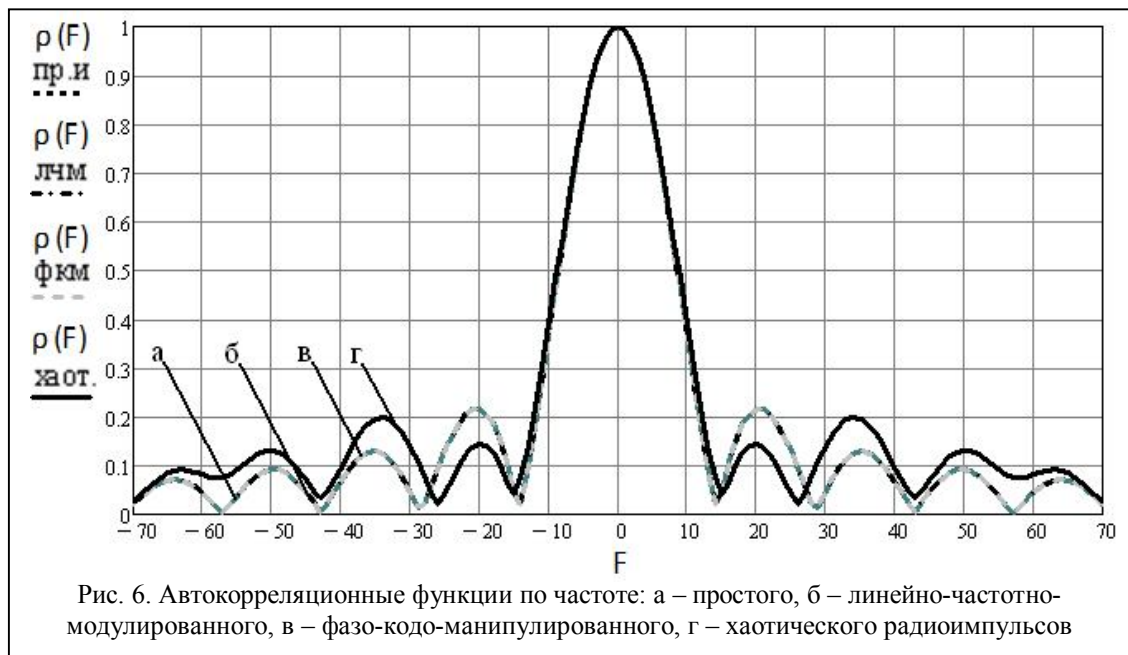
Для сравнительного анализа разрешающей способности по дальности построены автокорреляционные функции радиосигналов, которые используются в РЛС (рис. 5). Из рис. 5 видно, что разрешающая способность по дальности хаотического радио импульса: в 70 раз больше чем для простого радиоимпульса, в 13 раз больше чем для ЛЧМ и в 10 раз больше чем для ФКМ радиоимпульсов. Следовательно, использование хаотических радиоимпульсов в РЛС обеспечит более высокую разрешающую способность по дальности.



На рис. 6 приведены автокорреляционные функции сравниваемых сигналов по частоте. Из рисунка видно, что разрешающая способность по частоте у хаотического радиоимпульса не хуже, чем у используемых сигналов в современных РЛС. Было выявлено, что уровень боковых лепестков хаотического сигнала изменяется при изменении начальных усло-

вий  $x_0 = 0, -0.001..1$  в порождающем полиноме Чебышева. При моделировании было задано  $x_0 = 0,16$ .

Из рис. 5, 6 видно, что при этом уровень боковых лепестков, хаотического радиоимпульса практически не превышает уровень боковых лепестков ЛЧМ, ФКМ сигналов и простого радиоимпульсов.



В РЛС, находящихся на вооружении радиотехнических войск, используются сигналы с жестко заданной (детерминированной) структурой, как правило, это простой (гладкий) радиоимпульс, фазо-кодо-манипулированный или линейно-частотно-модулированный сигналы. Такие сигналы имеют гармоническую несущую, поэтому легко обнаружи-

ваются на фоне шумов современными методами и средствами радиоразведки.

При визуальном, спектральном и корреляционном анализе хаотический радио сигнал не отличим от белого шума. Это свойство может быть использовано для скрытия факта работы радиолокационных систем.

Таким образом, применение хаотических сигналов в РЛС позволит улучшить разрешающую способность по дальности и обеспечить скрытность их работы. Детальный анализ скрытности прямо хаотической радиолокации будет проведен авторами в последующих работах.

### Список литературы

1. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / [И.Н. Бусыгин, В.Н. Голиков, В.Н. Манжос и др.] ; под общ. ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.

2. Потапов А.А. Фракталы и хаос как основа новых прорывных технологий в современных радиосистемах // Дополнение к книге: Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах: Пер. с англ. под ред. Т.Э. Кренкеля / А.А. Потапов. – М.: Техносфера, 2006. – С. 374.

3. Дмитриев А.С. Генераторы хаоса: от вакуумных приборов до наносхем / А.С. Дмитриев, Е.П. Ефремова, А.Ю. Никишов, А.И. Панас // Радиоэлектроника, нано системы, информационные технологии. – 2009. – Т.1, № 1 – 2. – С. 6-22.

4. Лукин К.А. Шумовая радарная технология / К.А. Лукин, А.А. Могила, Ю.А. Александров [и др.] // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 9, № 4. – С. 510-525.

5. Сиващенко С.И. Скрытность радиосистем со сложными и хаотическими сигналами / С. И. Сиващенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ навігації і управління», 2009. – Вип. 3(11). ISSN 2073 -7394 56

Поступила в редколлегию 6.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.М. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков.

### АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХАОТИЧНИХ РАДІОІМПУЛЬСІВ

К.С. Васюта, О.А. Малишев, Ф.Ф. Зоц

У роботі аналізується можливість застосування хаотичних сигналів в радіолокаційних системах. Проведено аналіз кореляційних властивостей хаотичного радіоімпульсу порівняно із вживаними в РЛС радіоімпульсами. Показано, що використання хаотичного радіоімпульсу в РЛС дозволить значно збільшити їх роздільну здатність по дальності і з урахуванням специфічних властивостей хаотичних сигналів дозволить забезпечити їх скритність.

**Ключові слова:** хаотичний радіоімпульс, кореляційні властивості, скритність.

### ANALYSIS OF CORRELATION PROPERTIES OF CHAOTIC RADIOIMPULSES

K.S. Vasuta, A.A. Malyshev, F.F. Zots

Possibility of application of chaotic signals in the radiolocation systems is analyzed in the work. The analysis of correlation properties of chaotic radio impulse is conducted by comparison to used radio impulses in radars. It is shown that the use of chaotic radio impulse in radars will allow considerably increase resolution of radars on their range and taking into account specific properties of chaotic signals will allow to provide their secrecy.

**Keywords:** chaotic radio impulse, correlation properties, secrecy.