

УДК 621.391

А.Н. Барсуков, И.В. Вербицкий, Д.А. Донцов

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ СКРЫТНОСТИ БОРТОВОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

*Рассматривается метод повышения скрытности канала измерения дальности радиотехнической системы ближней навигации, с применением хаотической несущей, сформированной нелинейной динамической системой. Предлагается вариант структурной схемы модернизированной бортовой радиотехнической системы ближней навигации летательных аппаратов.*

**Ключевые слова:** скрытность, хаотическая несущая, радиотехническая система ближней навигации, канал измерения дальности.

### Введение

В настоящее время интенсивное развитие теории обнаружения радиосигналов заставило разработчиков радиотехнических систем (РТС) переосмыслить традиционные подходы, используемые для их помехозащищенности [1 – 7]. Помехозащищенность определяется ее скрытностью и помехоустойчивостью, что в конечном итоге сводится к возможности выполнять задачи функционирования РТС в условиях радиоэлектронного подавления (РЭП) [8]. Под скрытностью систем понимается [8] способность противостоять мерам радиотехнической разведки: обнаружению сигнала и определению его структуры на основе оценки ряда его параметров. Таким образом, задачи повышения скрытности РТС является весьма острой и до сих пор остается нерешенной в большинстве прикладных задач [1 – 7].

Современные решения подобных задач в радиотехнических системах нового поколения основаны на использовании не только широкополосных сигналов ШПС, но и хаотических (шумоподобных) процессов и последовательностей в устройствах защиты и передачи конфиденциальной информации [7]. Особенностью хаотических сигналов, обладающих признаками случайных процессов (широким спектром и меняющихся по внешнему виду при каждой выборке реализации), заключается в главном отличии их от обычных шумов: они реализуются с помощью разработанных математических алгоритмов [7]. На сегодняшний день хаотические сигналы применяются в следующих направлениях [2-5]: сетцентрических мультисенсорных информационно-измерительных системах, многопозиционных и многоканальных (multiple input – multiple output ММО) радиолокационных станциях (РЛС). Однако решения задач связанных с применением хаотических несущих в навигационных радиотехнических системах по-прежнему остаются актуальными.

**Целью работы** является исследование метода повышения скрытности канала измерения дальности

радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) с использованием хаотической несущей.

### Основная часть

Бортовая радиотехническая система ближней навигации обеспечивает [9]:

- измерение азимута и наклонной дальности относительно наземных маяков;
- определение углового отклонения самолета от равносигнальных зон наземных курсовых и глиссадных радиомаяков посадочной радиомаячной группы и выдачу сигналов, пропорциональных этому отклонению;
- измерение дальности до ретранслятора дальномеров в режиме «Посадка»;
- измерение дальности до взаимодействующего самолета и определение направления на него;
- ретрансляцию запросных сигналов взаимодействующего самолета;
- прием позывных сигналов от радиомаяков;
- передачу сигналов ответа наземной индикации и сигналов опознавания для индикации самолетов на экране выносного индикатора [9].

На рис. 1 приведена упрощенная структурная схема самолетного и наземного оборудования РСБН [9]. Бортовое оборудование включает антенно-фидерную систему, приемник, передатчик, блок измерения азимута и дальности, а также навигационно-пилотажный прибор и прямопоказывающий прибор дальности. Наземное оборудование РСБН (рис. 1) включает всенаправленный азимутально-дальномерный радиомаяк и посадочную радиомаячную группу (ПРМГ) в составе курсового радиомаяка (КРМ), глиссадного радиомаяка (ГРМ) и радиодальномеров (РД) [10].

Рассмотрим принцип измерения наклонной дальности радиотехнической системы ближней навигации. Дальность  $D$  определяется на борту летательного аппарата (ЛА) по времени запаздывания ответных сигналов относительно момента послышки запросных сигналов [11]:

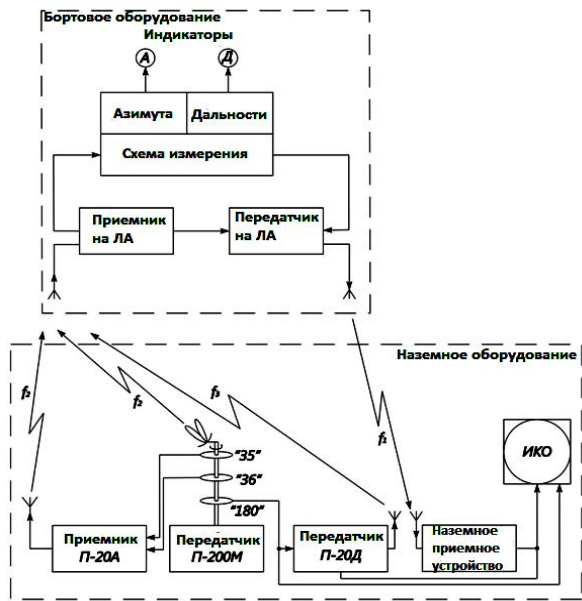


Рис. 1. Структурная схема РСБН

$$D = c \cdot t_D / 2,$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость распространения радиоволн и  $t_D$  – временной интервал запаздывания. Запросные сигналы (рис. 2, а, б) излучаются самолетным передатчиком на частоте запроса. Каждый запросный сигнал представляет собой группу из двух импульсов (рис. 2, а, б), временной интервал между которыми соответствует установленному запросному коду.

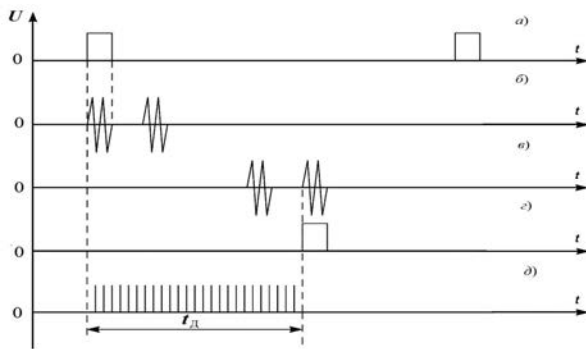


Рис. 2. Временная диаграмма измерения дальности

Запросные сигналы принимаются наземными приемными устройствами и декодируются. Ответные импульсы (рис. 2, в, г) переизлучаются на частоте ответа, в виде кодированной двухимпульсной

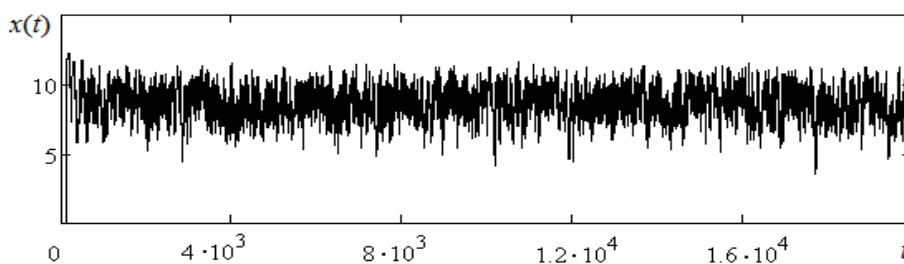


Рис. 4. Временная реализация ХН

последовательности передатчиком ретранслятора. Измерение временного интервала  $t_D$  (рис. 2, д), содержащего информацию о дальности в РСБН осуществляется цифровым способом [11].

Ниже по контексту предлагается вариант модифицированной структурной схемы с повышенной скрытностью бортовой РСБН (рис 3). Повышение скрытности РСБН осуществляется за счет использования хаотической несущей для переноса запросных импульсов, подмешивание которых проводится в блоке ПРД СЗД (рис. 3).

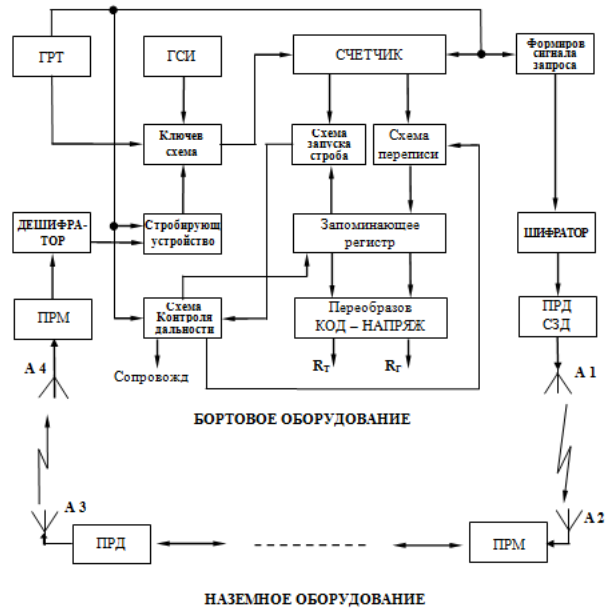


Рис. 3. Структурная схема бортовой РСБН

Генератор хаотической несущей (ХН) описывается нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка [12].

$$\dot{x}(t) = -x(t)^2 + \mu \cdot (\sin(x(t - \tau_0) - \psi))^2, \quad (1)$$

где  $\psi$  – фазовый сдвиг,  $\mu$  – коэффициент пропорциональности обратной связи,  $\tau_0$  – время задержки.

Далее проводится исследование важных свойств хаотической несущей. В качестве примера на рис. 4 приведен график  $x(t)$  временной реализации хаотической несущей, полученный в результате решения уравнения (1) численным методом Рунге – Кутты четвертого порядка с шагом интегрирования  $h=0,005$  и начальными значениями  $x(t_0 \div t_\tau) = 0,01$  при параметрах системы:  $\mu=150, \tau=100, \psi=\pi/2$ .

Очевидно, что временную реализацию  $x(t)$ , представленную на рис. 4, можно идентифицировать как шум. Кроме этого на рис. 5 демонстрируется фазовый портрет хаотической несущей, который указывает на сложную его структуру принадлежащему хаотическому режиму.

Вместе с этим целесообразно исследовать энергетический спектр  $G(\omega)$  и автокорреляционную функцию  $C(n)$  хаотической несущей, которые представлены на рис. 6 и 7.

Легко заметить (см. рис. 6), что энергетические свойства хаотической несущей можно характеризовать как узкополосный шум.

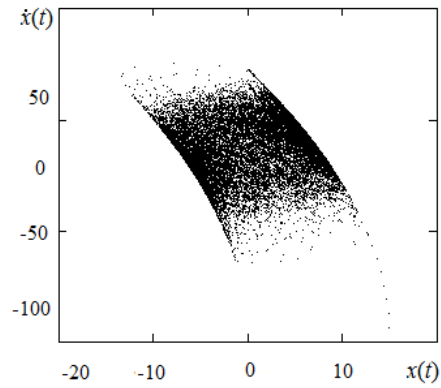


Рис. 5. Фазовый портрет ХН

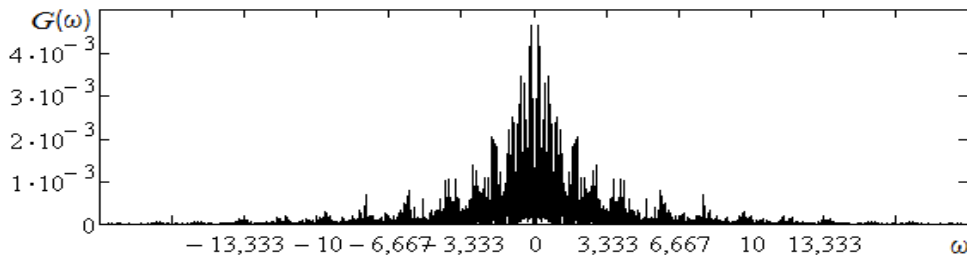


Рис. 6. Энергетический спектр ХН

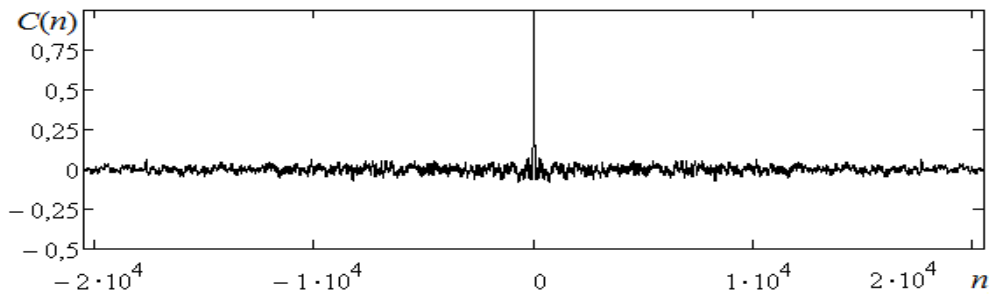


Рис. 7. Автокорреляционная функция ХН

На рис. 7 автокорреляционная функция хаотической несущей имеет дельтаобразную форму, соответствующая случайному процессу.

Предлагается алгоритм подмешивания запросных импульсов  $i(t)$  в хаотическую несущую  $x(t)$  осуществляемую добавлением к динамической переменной (1):

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

где  $c$  – уровень импульсов.

Выделения ответных импульсов определялись обращением уравнения (2) относительно  $i(t)$  и в результате этого получили выражение:

$$s(t) = \left( -\mu \cdot (\sin(x(t - \tau_0) - \psi))^2 - \xi(t)^2 - \dot{\xi}(t) \right) \frac{1}{c}. \quad (3)$$

Поскольку в выражениях (3) производная хаотического процесса неизвестна, однако учитывая, что доступно наблюдение  $\xi(t)$ , тогда воспользо-

вавшись численным методом приближенного дифференцирования  $\xi(t)$  по четырем дискретным отсчетам, получили недостающую производную [5].

В качестве примера на рис. 8 приведен график зависимости  $s(t)$  запросных (кривая 1) и ответных (кривая 2) импульсов, полученных в результате моделирования приемо-передающей системы РСБН с использованием хаотической несущей. Ответные импульсы  $i(t)$  после процедуры выделения дополнительно ограничивались по уровню.

Следует отметить, что графики (см. рис. 8) демонстрируют положительный результат моделирования канала измерения дальности РСБН, с использованием хаотической несущей, генерированной нелинейной динамической системой (1).

### Выводы

Таким образом, применение метода повышения скрытности канала измерения дальности бортовой радиотехнической системы ближней навигации, с использованием хаотической несущей, генерирован-

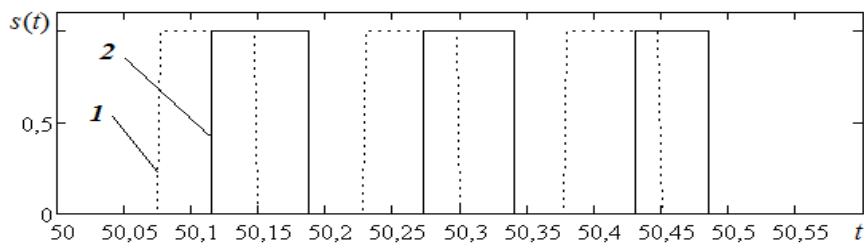


Рис. 8. Временная диаграмма

ной нелинейной динамической системой (1), позволяет обеспечить ее функционирование «под шум», и не приводит к существенному изменению конструкции оборудования.

Одним из дальнейших направлений исследований остались вопросы, связанные с анализом влияния вариаций параметров динамической системы на качество выделения импульсов ответа.

### Список литературы

1. Фалькович С.Е. Основы статистической теории радиотехнических систем. Учеб. пособие / С.Е. Фалькович, П.Ю. Костенко // Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 390 с.
2. 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 // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2012. – Вып. 7(105). – С. 60-63.
3. Васюта К.С. ММО РЛС основанная на применении ортогональных хаотических сигналов в сетевидной системе ПВО / К.С. Васюта, Ф.Ф. Зоц, С.Н. Ковалевский // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 1(108). – С. 21-24.
4. 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.
5. Барсуков А.Н. Выделение бинарного сообщения по наблюдению хаотического сигнала, сформированного динамической системой Икеды / А.Н. Барсуков // Кибернетика и системный анализ. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 2(35). – С. 67-70.
6. Костенко П.Ю. Обнаружение хаотического процесса искаженного белым шумом с использованием BDS-статистик / П.Ю. Костенко, А.Н. Барсуков, К.С. Васюта, С.Н. Симоненко // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2009. – Т. 52, № 11. – С. 41-50.
7. Костенко П.Ю. Оценка структурной скрытности хаотических сигналов / П.Ю. Костенко, С.Н. Симоненко, А.Н. Барсуков, А.В. Антонов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 2012. – Т. 55, № 11. – С. 3-10.
8. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
9. Авиационное радиоэлектронное оборудование самолетов и его эксплуатация / В.В. Мишухин, Е.А. Абрашин, В.В. Кулагин и др. – Воен. изд. М.: 1990 – 406 с.
10. Баранник В.В. Захист бортової апаратури РСБН-5с літаків Л-39 від радіоелектронних засобів технології CDMA 800 стандарту IS-95 на військових аеродромах України / В.В. Баранник, А.О. Красноруцький, А.І. Вареник, А.В. Педько // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 4(24). – С. 15-20.
11. 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.
12. Kouomou Chembo Chaotic Breathers in Delayed Electro-Optical Systems / Chembo Kouomou, Pere Colet, Laurent Larger, and Nicolas Gastaud // Physical review letters – 2005. – PRL 95, № 203903. – P. 1-7.

Поступила в редколлегию 3.02.2014

**Рецензент:** д-р. техн. наук проф. К.С. Васюта, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков.

### ПІДВИЩЕННЯ СКРИТНОСТІ БОРТОВОЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ БЛИЖНЬОЇ НАВІГАЦІЇ, З ВИКОРИСТАННЯМ ХАОТИЧНОЇ НЕСУЧОЇ

О.М. Барсуков, І.В. Вербицький, Д.А. Донцов

Розглядається метод підвищення скритності каналу вимірювання дальності радіотехнічної системи ближньої навігації, із застосуванням хаотичної несучої, сформованої нелінійною динамічною системою. Пропонується варіант структурної схеми модернізованої бортової радіотехнічної системи ближньої навігації літальних апаратів.

**Ключові слова:** скритність, хаотична несуча, радіотехнічна система ближньої навігації, канал вимірювання дальності.

### IMPROVING THE STEALTH ONBOARD RADIOFREQUENCY RANGE NAVIGATION SYSTEM USING CHAOTIC CARRIER

A.N. Barsukov, I.V. Verbitskiy, D.A. Doncov

We consider a method of increasing secrecy channel measurement range radio system near navigation using chaotic carrier formed of a nonlinear dynamical system. A variant of the block diagram of the upgraded radio system board near aircraft navigation.

**Keywords:** stealth, chaotic carrier, electronic range navigation system, ranging channel.