

УДК 621.396.98

С.П. Лещенко, А.Л. Ковтунов, Ю.В. Резников, З.З. Закиров

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## ВОЗМОЖНОСТИ ЗАЩИТЫ ОБЗОРНЫХ РЛС СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ ОТ ВЛИЯНИЯ НЕСИНХРОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ

Проведен анализ возможности селекции полезных сигналов и несинхронной импульсной помехи при вторичной обработке сверхширокополосных радиолокационных сигналов на этапе отождествления (селекции) отметок и трасс воздушных целей. Предложено производить селекцию истинной отметки по величине коэффициентов межобзорной корреляции усредненных в пачке дальностных портретов, полученных на смежных обзорах РЛС, с сигналом несинхронной импульсной помехи.

**Ключевые слова:** обзорные РЛС, несинхронная импульсная помеха, вторичная обработка, сверхширокополосные сигналы.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ последних исследований и публикаций.** Несинхронные импульсные помехи (НИП) являются наиболее распространенным видом непреднамеренных взаимных помех. В зависимости от соотношения частот повторения импульсов мешающего источника  $F_n^*$  и зондирующих сигналов РЛС  $F_n$ , характер проявления таких помех на экранах индикаторов РЛС старого парка может быть самым разнообразным: от сплошных спиралевидных засветов (импульсов с характерным разрывом развертки в их основании, перемещающихся вдоль развертки с определенной скоростью) до точечных засветов, расположенных равномерно по всему экрану (импульсов без характерных разрывов в их основании, хаотически возникающих в различных местах развертки). НИП от однопериодных РЛС со стабильным периодом повторения на экране индикатора станции отображаются в виде сплошных или прерывистых (в зависимости от мощности помехи) "спиралей", развивающихся с различной скоростью (рис. 1, а). Направление развития "спиралей" определяется знаком разности частот повторения помехи и зондирующего сигнала РЛС. Если частота повторения помехи больше частоты повторения зондирующего сигнала, то "спираль" развивается от периферии к центру экрана. Скорость развития спиралей, а следовательно, и их число на экране индикатора зависят от величины абсолютной разности между частотами повторения помехи и зондирующего сигнала и, начиная с некоторого значения этой разности, "спирали" распрямляются в радиальном направлении (вырождаются в "спицы"), и их число увеличивается и становится соизмеримым с количеством азимутальных отметок (рис. 1, б). При этом обязательно выполняется условие: появление новой "спирали" происходит лишь после полного прохождения предыдущей "спирали" по

экрану индикатора. При наличии несинхронных импульсных помех от нескольких однопериодных РЛС на экране индикатора кругового обзора наблюдается одновременно несколько "спиралей" (рис. 1, в). При этом часть из них может развиваться от периферии к центру экрана, а другие наоборот.

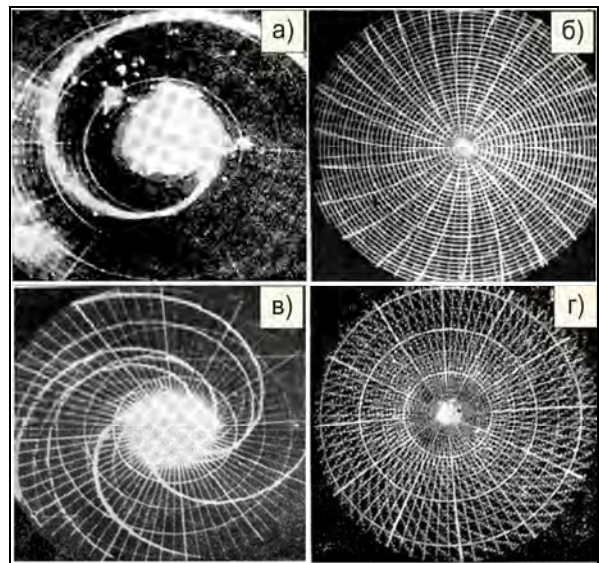


Рис. 1. Экран ИКО при воздействии НИП.

Характер проявления несинхронных импульсных помех от разнотипных РЭС зависит от того, насколько стабильна частота повторения импульсов помехи и зондирующих сигналов РЛС, также характер относительного изменения частот и осуществляется ли возбуждения частоты повторения. Если частоты повторения импульсов помехи и зондирующих сигналов РЛС примерно равны, т.е. выполняется условие:

$$\left| \frac{F_n^* - F_n}{F_n} \right| \leq 0,01, \quad (1)$$

то проявление помехи на экране индикатора будет таким же, как и в предыдущем случае (рис. 1 а, б).

При относительной разности частот повторения, соответствующей условию:

$$\left| \frac{F_n^* - F_n}{F_n} \right| > 0,01, \quad (2)$$

помехи на экране индикатора в зависимости от выбранного масштаба будут проявляться в виде радиальных "спиц" или "спиралей" с импульсной структурой (рис. 1, г). Если частоты повторения импульсов помех или зондирующих сигналов РЛС, или тех и других вместе нестабильны или же возбуждают по какому-то закону, то на экране индикатора радиальные "спицы" или "спирали" будут иметь либо различную скорость развития, либо плавные или ломаные искривления.

Современные системы защиты от НИП, с одной стороны, не обеспечивают их полное подавление, с другой – приводят к уменьшению вероятности правильного обнаружения полезных сигналов [1]. При попадании сигналов НИП в стробы селекции сопровождаемых целей может существенно ухудшаться качество вторичной обработки. Целью данной статьи является решение проблемы защиты от НИП с использованием СШП сигналов, которые обеспечивают разрешение элементов радиолокационной цели по дальности и возможность получать дальностные портреты (ДП) [2 – 4]. Очевидно, что ДП, полученные в результате сжатия прямого зондирующего сигнала, будут представлять узкие одиночные импульсы, соответствующие автокорреляционной функции сигналов, и по форме будут отличаться от ДП воздушной цели. Этот факт может быть положен в основу метода различения полезных сигналов от сигналов НИП. При вторичной обработке радиолокационной информации использование СШП сигналов позволяет разрешать ложные и полезные сигналы в стробе селекции, путем сличения ДП. Предлагается производить селекцию истинной отметки по величине коэффициентов межобзорной корреляции усредненных в пачке ДП, полученных на смежных обзорах РЛС, с сигналом НИП.

### Изложение основного материала

В [3] предложен метод измерения дальности до цели и получения усредненного ДП при использовании СШП сигналов путем анализа закона, зависимости величин коэффициентов взаимной ковариации отраженных сигналов в пределах обнаруженной пачки относительно центрального отраженного сигнала, который соответствует середине диаграммы направленности антенны, и применение известного алгоритма «лог-масштабного» обнаружителя [5]. Метод расчета коэффициентов межобзорной корреляции усредненных ДП, полученных в результате обработки обнаруженных пачек СШП сигналов предложен [4]. Модель НИП на выходе согласован-

ного фильтра, необходимая для расчета коэффициента взаимной корреляции НИП с отсеleктированным ДП воздушной цели, можно рассчитать следующим образом.

Для прямоугольного ЛЧМ импульса комплексная огибающая определяется по формуле:

$$\tilde{A}(t) = \begin{cases} \exp(j\pi\Delta f_d t^2 / \tau_\epsilon), & |t| \leq \tau_\epsilon / 2, \\ 0, & |t| > \tau_\epsilon / 2. \end{cases} \quad (3)$$

где  $\Delta f_d$  – девиация частоты;

$\tau_\epsilon$  – длительность импульса.

Сигнал на выходе согласованного фильтра от прямого зондирующего сигнала (НИП) представляет собой автокорреляционную функцию комплексной огибающей прямоугольного ЛЧМ импульса на его входе:

$$\tilde{\rho}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{A}(t)\tilde{A}^*(t-\tau)\exp(j2\pi ft)dt. \quad (4)$$

Также комплексную огибающую выходного сигнала можно получить, выполнив преобразование Фурье огибающей спектральной плотности сигнала:

$$\tilde{A}_{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}}(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(j2\pi f)\exp(j2\pi ft)dt. \quad (5)$$

График спектральной плотности прямоугольного ЛЧМ импульса с девиацией частоты 150 МГц и длительностью равной 2 мкс, полученный в результате моделирования, представлен на рис. 2.

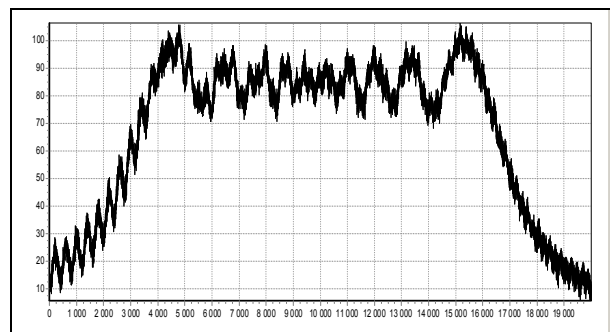


Рис. 2. Амплитудный спектр прямоугольного ЛЧМ импульса с девиацией частоты 150МГц и его длительностью равной 2 мкс

Выполняя обратное преобразование Фурье спектральной плотности прямоугольного ЛЧМ импульса можно получить его огибающую на выходе согласованного фильтра. Вид проникающего в приемник ЛЧМ импульса на выходе согласованного фильтра (эквивалент ДП от НИП), полученный в результате моделирования представлен на рис. 3.

Использование ЛЧМ импульсов с колокообразной огибающей приводит к уменьшению боковых лепестков и расширению главного лепестка. Вид проникающего в приемник колокообразного ЛЧМ импульса на выходе согласованного фильтра,

полученный в результате моделирования представлен на рис. 4.

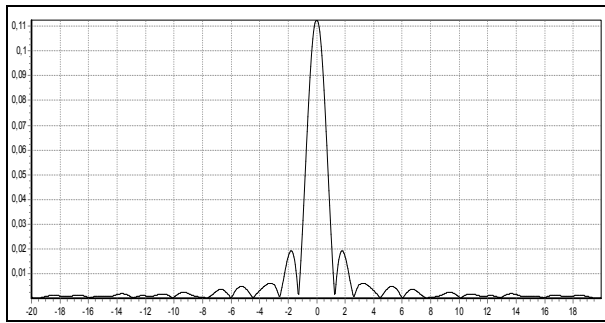


Рис. 3. АКФ прямоугольного ЛЧМ импульса с девиацией частоты 150 МГц и его длительностью равной 2 мкс

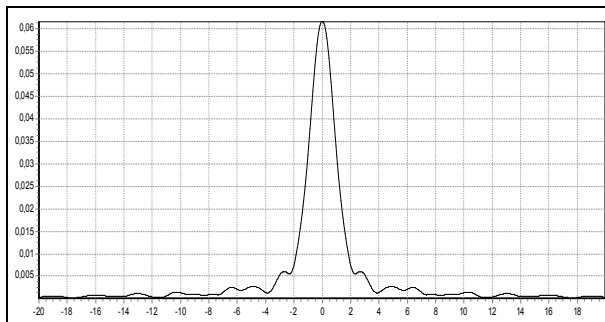


Рис. 4. АКФ колокообразного ЛЧМ импульса с девиацией частоты 150 МГц и его длительностью равной 2 мкс

Комплексная огибающая выходного сигнала НИП описывается формулой:

$$\tilde{A}_{\text{НИП}}(t) = A_m \sqrt{B} \frac{\sin(\pi \Delta f (t - t_0))}{\pi \Delta f (t - t_0)}, \quad (6)$$

где  $B$  – база или коэффициент сжатия ЛЧМ импульса, совпадает с комплексной огибающей его автокорреляционной функции (АКФ) и представляет зависимость типа  $\sin(x)/x$ . Максимумы боковых лепестков нормированной АКФ убывают по гиперболическому закону  $\frac{2}{(2i + 1)\pi}$ , где  $i$  – номер бокового лепестка.

ДП от реальной ВЦ, как правило, имеет сложную многопиковую структуру. Методом математического моделирования с использованием программного пакета по моделированию электродинамики вторичного излучения BSS (Back Scattering Simulation) [6] получены коэффициенты межобзорной корреляции усредненных ДП на двух смежных оборотах РЛС, а также коэффициенты межобзорной корреляции ДП с НИП в зависимости от ракурса цели, отношения сигнал-шум и типа воздушной цели. Моделировалось прямолинейное движение воздушных целей со скоростью 300 м/с.

На рис. 5 – 7 представлены зависимости коэффициентов межобзорной корреляции ДП на двух смеж-

ных оборотах РЛС, а также коэффициентов межобзорной корреляции ДП с НИП в зависимости от ракурса, для трех типов целей, представляющих основные классы – тяжелый бомбардировщик B-52, тактический истребитель F-15, крылатая ракета ALCM.

Анализ зависимостей показывает, что корреляция полезного сигнала с НИП при нахождении ВЦ малой протяженности на боковых ракурсах заметно возрастает.

На удаляющихся и встречных курсах алгоритм обеспечивает высокое разрешение полезного сигнала с НИП.

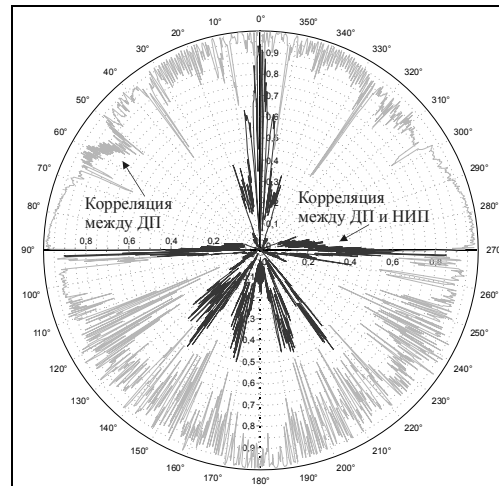


Рис. 5. Зависимость коэффициентов межобзорной корреляции смежных ДП и ДП с НИП от ракурса тяжелого бомбардировщика B-52

Усредненная по ракурсам вероятность правильной селекции ДП модели тяжелого бомбардировщика B-52 составила 0,99. Усредненная по ракурсам вероятность правильной селекции ДП модели тактического истребителя F-15 составила 0,97. Усредненная по ракурсам вероятность правильной селекции модели крылатой ракеты ALCM составила 0,93.

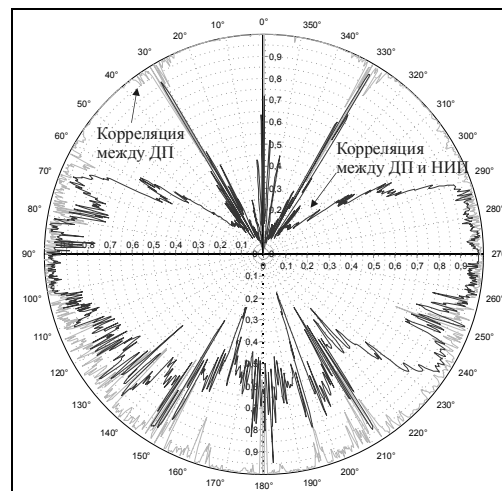


Рис. 6. Зависимость коэффициентов межобзорной корреляции смежных ДП и ДП с НИП от ракурса крылатой ракеты ALCM

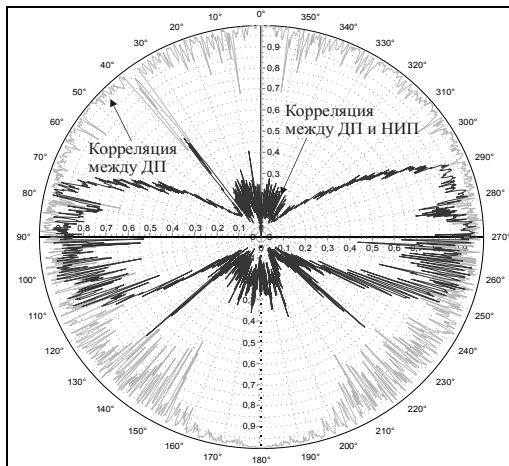


Рис. 7. Зависимость коэффициентов межобзорной корреляции смежных ДП и ДП с НИП от ракурса тактического истребителя F-15

Снижение отношения сигнал-шум приводит к уменьшению корреляции, как полезных сигналов, так и полезного сигнала с НИП. При этом вероятность правильной селекции полезных сигналов в строке уменьшится незначительно. Усредненная по ракурсам зависимость вероятности правильной селекции полезного сигнала от отношения сигнал-шум и типа цели, полученная путем моделирования, представлена на рис. 8.

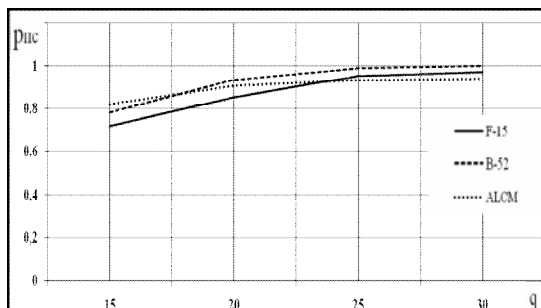


Рис. 8. Усредненная по ракурсам зависимость вероятности правильной селекции полезного сигнала от отношения сигнал-шум и типа цели

## Выводы

Таким образом, применение СШП сигналов позволяет производить разрешение полезных сигналов и НИП при вторичной обработке радиолокационной информации на этапе отождествления (селекции) отметок и траекторий с высокой вероятностью правильной селекции для всех типов целей при отношении сигнал-шум более 15дБ.

## Список литературы

1. Основы построения РЛС РТВ / В.П. Блохин, Б.Ф. Бондаренко, В.Т. Неснов, В.Е. Угольников; под ред. Б.Ф. Бондаренко. – К.: КВИРТУ ПВО, 1987. – 368 с.
2. Ковтунов А.Л. Методы виявлення ширококосмугових сигналів та виміру радіальної швидкості цілі в оглядових РЛС / А.Л. Ковтунов, С.П. Леценко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – Вип. 4(33). – С. 78-81.
3. Ковтунов А.Л. Методи вимірювання координат повітряних цілей в оглядових РЛС з використанням надширококугових радіолокаційних сигналів / А.Л. Ковтунов, С.П. Леценко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 7(105). – С. 91-94.
4. Метод обнаружения маневра радиолокационной цели в обзорных РЛС с использованием сверхширокополосных сигналов / А.Л. Ковтунов, С.П. Леценко, М.П. Батурицкий, Л.В. Польшина // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2013. – Вип. 3(36). – С. 78-81.
5. Орленко В.М. Особенности обнаружения радиолокационных целей при широкой полосе частот зондирующих сигналов / В.М. Орленко // Прикладная радиоэлектроника. – Х.: АНПРЭ. – 2006. – № 4. – С. 528-535.
6. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, etc. – Boston-London: Artech House, 2002. – 71 p.

Поступила в редколлегию 5.07.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.П. Деденок, Харьковский университет Воздушных Сил, им. И. Кожедуба Харьков.

## МОЖЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ОГЛЯДОВИХ РЛС ІЗ НШС СИГНАЛАМИ ВІД ВПЛИВУ НЕСИНХРОННОЇ ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕШКОДИ

С.П. Лещенко, А.Л. Ковтунов, Ю.В. Резников, З.З. Закиров

Проведено аналіз можливості селекції корисних сигналів і несинхронної імпульсної перешкоди при вторинній обробці радіолокаційної інформації на етапі отождествлення (селекції) оцінок і трас повітряних цілей. Запропоновано робити селекцію правдивої відмітки по величині коефіцієнтів міжоглядової кореляції усереднених у пачці ДП, отриманих на суміжних оглядах РЛС, із сигналом і несинхронної імпульсної перешкоди.

**Ключові слова:** оглядові РЛС, несинхронна імпульсна перешкода, вторинна обробка, надширококугові сигнали.

## POSSIBILITIES OF DEFENCE SURVEY RADARS WITH ULTRABROADBAND SIGNALS FROM INFLUENCE OF UNSYNCHRONOUS IMPULSIVE HINDRANCE

S.P. Leshenko, A.L. Kovtunov, U.V. Reznikov, Z.Z. Zakirov

The analysis of useful signals selection possibility and unsynchronous impulsive hindrance is conducted at the second processing of ultrabroadband radiolocation signals on the stage of marks and routes equation (selections) of air aims. It is suggested to produce the selection of veritable mark on the size of intersurvey correlation averaged in a pack range portraits, got on contiguous reviews RLS, with the signal of unsynchronous impulsive hindrance.

**Keywords:** survey RLS, unsynchronous impulsive hindrance, second processing, ultrabroadband signals.