

# АЛГОРИТМ СОВМЕСТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ - ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕННОЙ ПО ДАЛЬНОСТИ КОРРЕЛИРОВАННОЙ ОШП В РАДИОЛОКАТОРАХ СОПРОВОЖДЕНИЯ

Чигирь И. В.

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Минск, Республика Беларусь

E-mail: ivan.chigir.a@gmail.com

*Для импульсно-доплеровских радиолокаторов сопровождения предложен алгоритм обнаружения протяженной по дальности коррелированной ответной шумовой помехи с оценкой ее радиальной протяженности и ширины спектра частот.*

## ВВЕДЕНИЕ

Наибольшей эффективностью подавления импульсно-доплеровских радиолокационных станций (ИД РЛС) точного измерения координат обладают комбинированные имитирующие и маскирующие помехи, которая представляет собой аддитивную смесь узкополосной протяженной по дальности ответной шумовой и уводящих помех (УП) по дальности и скорости [1].

Для работы устройства компенсации маскирующей составляющей КИМ-помехи в канале сопровождения цели по дальности, а также более точного сопровождения постановщика такого рода помех по угловым координатам помимо обнаружения ответной шумовой помехи (ОШП) возникает необходимость оценки вектора ее априорно неизвестных параметров  $\alpha_h = \|\Delta f_h; T_{0h}\|^T$  [1]. Таким образом, возникают две задачи – обнаружения протяженной по дальности коррелированной ОШП и оценки вектора ее параметров.

## I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В начальный момент постановки КИМ-помехи ( $t_0$ ) и в течение первой секунды увода, время запаздывания и частота Доплера УП соответствуют времени запаздывания и частоте Доплера ОС  $t_r^{up} = t_r^s, F_d^{up} = F_d^s$  [1].

Учитывая сказанное выше, обнаружение КИМ-помехи сводится к обнаружению протяженной по дальности коррелированной ОШП помимо сопровождаемого сигнала (УП и/или ОС), который является мешающим и подлежит декорреляции [1].

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам обработки принятого сигнала формируется матрица  $M_{i,j}$ , составленная из достаточных статистик в элементах разрешения по времени запаздывания и частоте Доплера (рисунок 1). Количество элементов разрешения по дальности  $J$  определяется периодом повторения импульсов  $T_p$  и временем дискретизации  $\Delta t$ , количество элементов разрешения по частоте Доплера  $I$  определяется количеством когерентно

накапливаемых импульсов, что для случая ИД РЛС соответствует числу импульсов в пачке  $L$ .

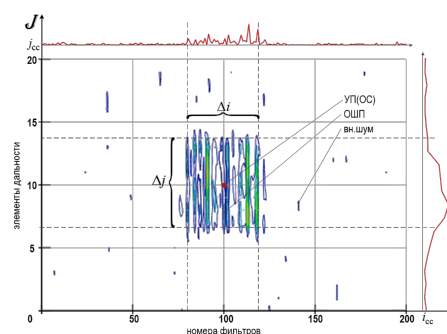


Рис. 1 – Матрица принятия решения

Следящие системы по времени запаздывания и радиальной скорости обеспечивают работу алгоритма обнаружения-измерения ОШП данными о сопровождаемом сигнале (УП и/или ОС) – соответствующие номера элементов дальности и частоты. Далее алгоритм оценивания распараллеливается на два алгоритма – алгоритма оценивания радиальной протяженности ОШП по развертке частотных фильтров в элементе дальности, соответствующего сопровождаемому сигналу (ССг) и алгоритма оценивания ширины полосы частот ОШП по развертке дальности в фильтре, соответствующем ССг (на рисунке 1 данные развертки выделены красным цветом и вынесены за пределы осей ординат и абсцисс). Обнаружение ОШП осуществляется путем сравнения с порогом результатов свертки принятой реализации с прямоугольными эталонами различной длины. Оценка мощности фона  $\sigma_{fona}^2$  производится в четырех окнах, включающих в себя по  $\Delta_j$  элементов дальности и  $\Delta_i$  элементов частоты, с выбором минимума для уменьшения влияния остатков компенсации мешающих отражений и других воздушных целей.

В начале алгоритма открывается цикл по длине прямоугольного эталона  $\Delta j(\Delta i)$ . Максимально возможная длина эталона ограничена величиной  $\Delta j_{max}(\Delta i_{max})$ . Величина  $\Delta j_{max}(\Delta i_{max})$  выбирается исходя из [1]. После открытия цикла по  $\Delta j(\Delta i)$  вычисляется адаптивный порог об-

наружения  $Z_{i(j)*} = \sigma_{fona}^2 \cdot \lambda_{i(j)} \cdot \sqrt{\Delta j(\Delta i)}$ . Величина относительного порога  $\lambda_{i(j)}$  вычисляется согласно [2] с учетом размерности  $\Delta j(\Delta i)$ . Затем открывается цикл по дискретам окна частоты (дальности)  $I(J)$ . В этом цикле производится скользящее суммирование  $i(j)$  дискретов реализации и сравнение их с порогом  $Z_{i(j)}$ . С порогом сравниваются лишь значения скользящих сумм при  $\Delta j(\Delta i) \geq \Delta j_{min}(\Delta i_{min})$ . Величина  $\Delta j_{min}(\Delta i_{min})$  выбирается исходя из [1]. Местоположение (номер начального дискрета  $i(j)$ ) прямоугольника, его длина и величина  $\Delta j(\Delta i)$  скользящей суммы запоминаются, если последняя превышает порог. По окончании цикла по  $i(j)$ , скользящие суммы (амплитуды), которые были записаны в оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ) в течении предыдущих циклов по  $\Delta j(\Delta i)$ , пересчитываются для сопоставления со вновь обнаруженными целями (участками целей) при следующем значении длины прямоугольника  $\Delta j(\Delta i)$ . На выходе алгоритмов формируются оценки начальных элементов частоты (дальности) –  $j_{min}(\hat{i}_{min})$ , соответствующих ОШП и протяженности по частоте и дальности –  $\hat{\Delta j}(\hat{\Delta j})$ .

Далее происходит формирование результирующей статистики для обеспечения работы алгоритма обнаружения. Формирование решающей статистики производится по выражению

$$Z = \sum_{k=i_{min}}^{i_{min}+\Delta i} \sum_{l=j_{min}}^{j_{min}+\Delta j} M_{k,l}, \quad (1)$$

которое сравнивается с порогом обнаружения  $Z_* = \hat{\Delta i} \cdot \hat{\Delta j} \cdot \lambda_{i,j}(F, \hat{\Delta i}, \hat{\Delta j})$ . Величина относительного порога  $\lambda_{i,j}(F, \hat{\Delta i}, \hat{\Delta j})$  вычислялась согласно [2, стр.239].

Для анализа показателей качества синтезированного устройства обнаружения-измерения ОШП было проведено математическое моделирование. Принятый сигнал представлял собой аддитивную смесь протяженной по дальности коррелированной ОШП и внутреннего шума, уводящая помеха отсутствует для того чтобы рассчитать предельные характеристики обнаружения. Вектор параметров ОШП считается известным, поэтому апостериорная среднеквадратическая ошибка равна нулю. В качестве критерия оптимальности системы обнаружения был выбран критерий Неймана-Пирсона. На выходе данной системы оценивались характеристики обнаружения, представляющие собой зависимость условной вероятности правильного обнаружения от отношения ОШП-шум при заданной условной вероятности ложной тревоги.

Моделирование проводилось для трех значений полосы спектра ОШП – 7, 10 и 20 кГц. Отношение мощности ОШП к мощности внутренних шумов задавалось на выходе устройства внутрипериодной обработки и изменялось в диапазоне от 0,01 до 1,0 с шагом 0,001. Количество модельных экспериментов  $10^5$ , что позволило обеспечить доверительную вероятность 0,9 и относительную погрешность 10 %.

По результатам обработки формировалась матрица принятия решений, сформированная из выходных сигналов 5, 10 и 14 взаимно расстроенных фильтров (в зависимости от  $\Delta f_h$ ) с учетом квадратичного детектирования и некогерентного суммирования в 20 внутрипериодных каналах дальности. Линейка фильтров перекрывала однозначный диапазон доплеровских частот от 0 до 100 кГц при полосе одного фильтра примерно 7, 10 и 20 кГц соответственно. Характеристики обнаружения оценивались в известном элементе дальности и номере фильтра, где подсчитывались результаты превышения порога. Оценка уровня фона производилась в 4 отсчетах дальности в 9 различных фильтрах. Расчетные характеристики обнаружения (по результатам моделирования) представлены на рисунке 2 в виде штрих-пунктирных линий для вероятности ложной тревоги равной 0,001.

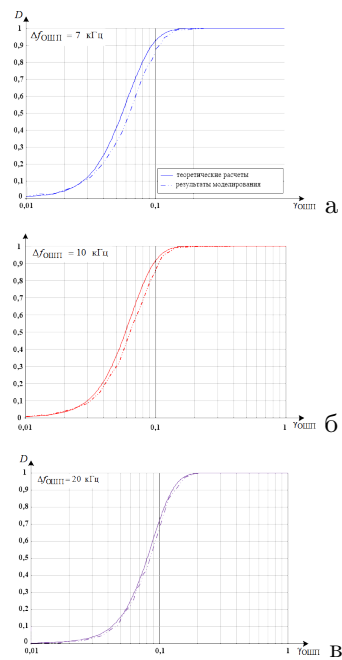


Рис. 2 – Характеристики обнаружения

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам моделирования установлена адекватность математической модели. Точность оценивания  $\alpha_h$  снижается при отношениях ОШП-шум менее 5-15 дБ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чигирь, И. В. Анализ воздействия комбинированной имитирующей и маскирующей помехи на системы сопровождения по дальности и скорости радиолокаторов точного измерения координат / И. В. Чигирь, С. А. Горшков, Н. К. Кузьмичев // Вестн. ВАРБ. – 2018. – № 1 (58). – С. 71–81.
2. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба / А. Е. Охрименко. – Ч. 1. Основы радиолокации. – М. : Воениздат, 1983. – 457 с.