

# Розвиток, бойове застосування та озброєння радіотехнічних військ

УДК 621.391.26

В.Д. Карлов, Ю.А. Сирьк, А.В. Тугай, В.Г. Чернов

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## К ВОПРОСУ О РАСПОЗНАВАНИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ГРУППОВОЙ МАЛОВЫСОТНОЙ ЦЕЛИ ПРИ ЛОКАЦИИ ЕЁ НАД МОРЕМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ДАЛЬНОСТИ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

*В статье проанализирована возможность распознавания количественного состава групповой цели, лоцируемой над морем на дальности, превышающей дальность прямой видимости. В качестве признака, позволяющего распознать групповую цель, предложено использовать изменение (скачок) параметров эхо-сигналов. К числу таких параметров в радиолокации используют амплитуду, доплеровское смещение частоты и фазу отражённого от цели сигнала. С позиции анализа матрицы условной вероятности фиксации скачка параметра сигнала, в работе рассмотрены возможные варианты построения устройств обнаружения количественного состава групповой цели и оценена их эффективность в зависимости от числа параметров эхо-сигнала по скачку которых оценивается количественный состав групповой цели.*

**Ключевые слова:** групповая цель, параметры эхо-сигнала, матрица условных вероятностей, вероятность ложной тревоги, вероятность правильного обнаружения.

### Введение

**Постановка проблемы.** Одной из проблем существующей в радиолокации особенно остро проявившей себя в настоящее время является проблема увеличения дальности обнаружения маловысотных целей. Решение её в декаметровом диапазоне радиоволн за счёт использования ионосферной волны при локации за пределами дальности прямой видимости показало перспективность этого направления в радиолокации [1]. Вместе с тем при проведении этих работ было выявлено то, что наряду с ионосферной волной, в случае размещения РЛС в прибрежных районах возникает и приповерхностная волна, обеспечивающая обнаружение целей летящих над морем на высотах до 3 000 м и на дальностях до 300-400 км [2]. Подобное явление было зарегистрировано не только в декаметровом [2], но и в метровом [3] диапазонах радиоволн. Дальнейшие исследования этого явления показали [4], что в метровом диапазоне радиоволн над морем существует тропосферный радиоволновод в рамках которого устойчиво лоцируются маловысотные цели, что достаточно подробно рассмотрено в работах [5 – 7]. Однако при рассмотрении проблемы локации целей в пределах тропосферного радиоволновода, основное внимание в известных работах [4 – 7] было уделено обнаружению и измерению координат и параметров движения одиночной цели. Вместе с тем рассмотрение вопроса связанного с определением численного состава

групповой цели лоцируемого в пределах тропосферного радиоволновода на дальностях превышающих дальность прямой видимости в известной литературе в настоящее время не было уделено должного внимания. Восполнению этого пробела и посвящена эта статья.

**Цель статьи:** разработка предложений по построению устройства обнаружения количественного состава групповой цели при локации над морем на дальностях превышающих дальность прямой видимости.

### Основной материал

При локации целее за пределами дальности прямой видимости одной из важнейших задач является определение их численного состава. Наличие групповой цели почти всегда означает группу самолетов военной авиации, выполняющих боевую задачу. Раннее обнаружение таких целей лишает вероятного противника преимуществ внезапности и позволяет своевременно отреагировать на его действия.

Проанализируем возможность распознавания целей по количественному составу.

Введем следующие классы целей:

- 1) одиночная цель, которой может быть любой аэродинамический объект, например крылатая ракета (КР), вертолет, самолет;
- 2) групповая цель, включающая более двух объектов.

Как правило, цели в группе не всегда различаются по доплеровской частоте, угловым координатам и дальности. Существуют косвенные признаки, позволяющие распознавать групповые цели. Как показано в [8] с увеличением количества целей в объеме разрешения возрастает ширина спектра амплитудных флуктуации эхо-сигнала. Однако это не всегда означает, что количество объектов в группе стало больше.

Как показано в [9] при изменении в объеме разрешения количества объектов в составе групповой цели с большой вероятностью возможны скачки параметров эхо-сигнала (амплитуды, доплеровского смещения частоты, фазы и других статистических параметров). Если цель одиночная, то таких скачков не наблюдается.

Еще один признак может быть выявлен при применении специального вида зондирующего сигнала. Использование сигнала с «качанием» несущей частоты приводит к появлению модуляционных гармоник в спектре амплитудных флуктуации [9]. Их уровень зависит от количественного состава цели. Для одиночных целей уровень модуляционных гармоник составляет 0,6...0,8, для группы из двух целей 0,4, а уже для группы из трёх целей он уменьшается до 0,25. С дальнейшим ростом количества целей в группе уровень модуляционной гармоник уменьшается: для группы из четырёх целей он составляет 0,15 – 0,2, а из пяти целей – 0,12 [9]. Таким образом, величина модуляционных гармоник является признаком распознавания одиночных целей от групповых.

Сведем перечисленные признаки в табл. 1.

Таблица 1

Признаки распознавания по количественному составу цели

Класс целей	Признаки распознавания	
	Скачки параметров сигнала	Уровень модуляционных гармоник при «качании» частоты
Одиночная цель	нет	0,6...0,8
Групповая цель	есть	0,1...0,4

Одним из способов классификации целей по количественному составу является обнаружение скачков параметров эхо-сигнала от цели. Качественно проанализируем процесс обнаружения скачка параметров отраженного от цели сигнала и рассмотрим работу системы распознавания по количественному составу в целом.

Анализ обнаружения скачков параметров сигнала проведем для одноканального по пространству и частоте приемника.

Пусть на вход последнего поступает скалярная реализация

$$y(t) = S[t, \vec{x}(t)] + n(t), \quad (1)$$

где  $S[t, \vec{x}(t)]$  – ожидаемый сигнал, который запишем следующим образом:

$$S[t, \vec{x}(t)] = \begin{cases} A_0(t) \cos(\omega t + \phi_0(t)) & \text{при } t \leq \tau_{\text{СК}}; \\ (A_0 + \Delta A) \cos((\omega + \Omega)t + \phi_0(t) + \Delta\phi) & \text{при } t > \tau_{\text{СК}}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{СК}}$  – момент скачка параметров сигнала

$\Delta A, \Omega, \Delta\phi$  – изменения (скачки) соответственно амплитуды, частоты и фазы принимаемого сигнала,

$n(t)$  – белый гауссовский шум с нулевым средним и спектральной интенсивностью  $N$ ,

$\vec{x}(t)$  – вектор состояния.

В сигнале (2) для примера учтены только скачки трех параметров, хотя их может быть и больше.

Качество распознавания будем характеризовать матрицей условной вероятности фиксации скачка параметров сигнала:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $P_{00}$  – условная вероятность принятия решения об отсутствии скачка при его отсутствии (вероятность правильного не обнаружения скачка),

$P_{01}$  – условная вероятность фиксации скачка при его отсутствии (вероятность «ложной тревоги»),

$P_{10}$  – условная вероятность принятия решения об отсутствии скачка при его наличии (вероятность «пропуска скачка»),

$P_{11}$  – условная вероятность фиксации скачка при его наличии (вероятность правильного обнаружения скачка).

Рассмотрим возможные схемы построения устройств обнаружения скачка параметров сигнала. При этом будем полагать, что матрицы условных вероятностей фиксации скачка всех параметров сигнала одинаковы и равны  $P1$ :

$$P1 = \begin{pmatrix} P1_{00} & P1_{01} \\ P1_{10} & P1_{11} \end{pmatrix}.$$

Приближенно полагаем, что условная вероятность обнаружения скачка одного параметра сигнала при наличии скачка другого параметра равна вероятности обнаружения первого параметра.

Фактически, мы определили условия независимости скачков, что в общем случае не всегда выполняется.

С учетом принятых допущений проанализируем характеристики блока обнаружения скачка.

Один из возможных вариантов построения схемы - устройство, фиксирующее скачок только одного параметра (например, амплитуды или доплеровского смещения частоты). Фиксация скачка параметров сигнала происходит при обнаружении скачка одного параметра. Такая схема имеет ряд недостатков. Например, нельзя принимать решение о скачке параметров сигнала при фиксации скачка амплитуды. Как показано в [9], для низколетящих целей амплитуда эхо-сигнала может изменяться практически скачком, но это еще не означает, что появился новый объект, превращающий одиночную цель в групповую. Если фиксировать только скачок доплеровской частоты, то велика вероятность «пропуска цели»: при входе в объем разрешения нового летящего объекта скачок доплеровской частоты может и не наблюдаться. В рассматриваемом случае матрица условных вероятностей фиксации скачка параметров сигнала равна матрице P1.

Следующий возможный вариант построения схемы – блок, состоящий из независимых устройств фиксации скачков двух параметров (например, амплитуды и доплеровского смещения частоты). Решение о наличии скачка параметров эхо-сигнала принимается, если зафиксирован скачок хотя бы одного параметра. Матрица условных вероятностей фиксации скачков параметров эхо-сигнала будет иметь вид:

$$P2 = \begin{pmatrix} P1_{00}^2 & 1 - P1_{00}^2 \\ P1_{10}^2 & 1 - P1_{10}^2 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

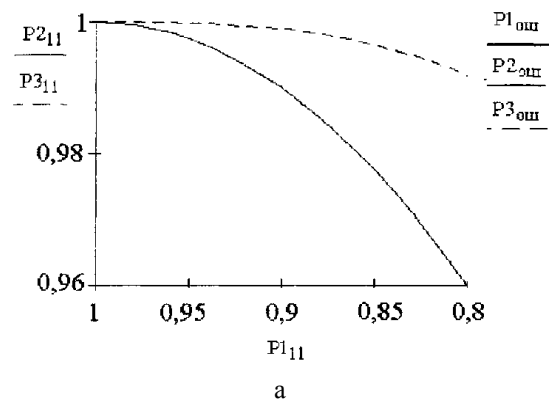
Третий вариант построения схемы – блок, имеющий независимые устройства фиксации скачков трех параметров (амплитуды, доплеровского смещения частоты и фазы). Решение о наличии скачка параметров эхо-сигнала принимается, если зафиксирован скачок хотя бы одного параметра. В противном случае принимается решение об отсутствии скачка. Матрица условных вероятностей фиксации скачка параметров эхо-сигнала будет иметь вид:

$$P3 = \begin{pmatrix} P1_{00}^3 & 1 - P1_{00}^3 \\ P1_{10}^3 & 1 - P1_{10}^3 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Проанализируем характеристики трёх устройств. На рис. 1 приведены графики зависимости вероятности «правильного обнаружения» и вероятности принятия неправильного решения

$$P_{ош} = \frac{1}{2} \cdot (P_{01} + P_{10}) \quad (6)$$

от вероятности «правильного обнаружения» скачка одного параметра для трех устройств.



1 - P1<sub>00</sub> = 0,999 2 - P1<sub>00</sub> = 0,9999

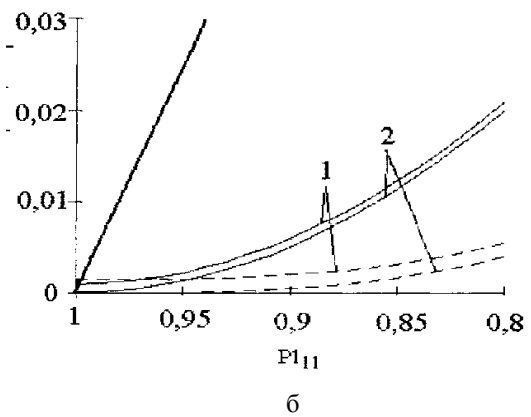


Рис. 1. Зависимость вероятности «правильного обнаружения» и вероятности принятия неправильного решения

Из данных приведённых на рис. 1 следует:

1. Построение схемы с фиксацией скачков нескольких параметров на порядок уменьшает вероятность принятия неправильного решения. Так, при P1<sub>11</sub>=0,9 и P1<sub>00</sub>=0,999; P1<sub>ош</sub>≈0,05, P2<sub>ош</sub>≈0,006 и P3<sub>ош</sub>≈0,002. При этом возрастает вероятность правильного обнаружения скачка, при P1<sub>11</sub>=0,8 P2<sub>11</sub>=0,96 и P3<sub>11</sub>=0,99.

2. Вероятностные характеристики схемы значительно улучшаются при переходе от схемы обнаружения скачков по одному параметру к схеме обнаружения скачков по двум параметрам. Переход к схеме обнаружения скачков по трем параметрам незначительно улучшает вероятности «правильного обнаружения» и принятия неправильного решения. Учитывая простоту и стоимость реализации, необходимо остановиться на схеме обнаружения скачков по двум параметрам.

3. Переход от схемы обнаружения скачков по одному параметру к схеме обнаружения скачков по двум параметрам значительно улучшает вероятность «правильного обнаружения». Так, при P1<sub>11</sub>=0,9 P2<sub>11</sub>=0,99, при P1<sub>11</sub>=0,7 P2<sub>11</sub>=0,91. Это позволяет понизить требования к вероятности правильного обнаружения скачка одного параметра.

## Выводы

Таким образом, из данных, приведённых в статье, следует, что при построении устройства распознавания количественного состава групповой маловысотной цели при локации её над морем за пределами дальности прямой видимости блок обнаружения скачков параметров сигнала может состоять из двух устройств, одно из которых должно фиксировать скачок амплитуды эхо-сигнала, а второе – скачок доплеровской частоты.

Эти два параметра выбраны из условия наиболее простой реализации схемы их измерения в устройстве обработки РЛС.

## Список литературы

1. Основы загоризонтной радиолокации / В.А. Алабастров, Э.Ш. Гойхман, И.М. Заморин и др. Под ред. А.А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
2. Карлов В.Д. Особенности работы РЛС дальнего обнаружения приморского базирования в условиях сверхрефракции / В.Д. Карлов, А.А. Коваль // В книге "Фундаментальные и прикладные проблемы создания сложных информационных систем". – Житомир, 1994. – С. 104.
3. Расширение возможностей РЛС дальнего обнаружения ПВО по обнаружению надводных целей / В.Д. Карлов, А.А. Коваль, А.И. Самохвалов, С.В. Добрынин // В книге "Фундаментальные и прикладные проблемы создания сложных информационных систем". – Житомир, 1994. – С. 43.
4. Петрушенко М.М. Особливості застосування радіотехнічних систем Повітряних Сил в нестабільних гідрометеорологічних явищах / М.М. Петрушенко. – Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2009. – № 2 (10). – С. 54-57.
5. Статистические характеристики сигналов, отраженных от объектов, лоцируемых за пределами радиогоризонта над морем / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, В.Л. Мисайлов, К.П. Квиткин / Съема наукова конференція ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору», 13-14 квітня 2011 року: тези доповідей.-Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2011.- С.241
6. Карлов В.Д. Результати експериментальних досліджень параметрів ехо-сигналів в радіотехнічних системах приморського базування. / В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, В.Л. Мисайлов / Тези доповідей 10 науково-технічної конференції „Створення та модернізації озброєння і військової техніки в сучасних умовах” Феодосія, 2-3 вересня 2010. – С. 288.
7. Влияние среды распространения радиоволн на приморском направлении при измерении угловых координат радиолокационных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, В.В. Челпанов, К.П. Квиткин / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.– Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 3(25). – С. 51-53.
8. Карлов В.Д. Спектр амплитудных флуктуаций эхосигнала при использовании зондирующих сигналов декаметрового диапазона радиоволн с изменяющейся частотой / В.Д. Карлов, Ю.А. Сирьк, А.В.Тугай // Системи обробки інформації. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил, 2010. – Вип. 9(90). – С. 52-54.
9. Карлов В.Д., К вопросу об оценке количества целей в составе групповой при локации в декаметровом диапазоне радиоволн / В.Д. Карлов, Ю.А. Сирьк, А.В.Тугай // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил.– Х.: ХУПС, 2011. – Вип.1(27). – С. 77-79.

Поступила в редколлегию 29.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ДО ПИТАННЯ ПРО РОЗПІЗНАВАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО СКЛАДУ ГРУПОВОЇ МАЛОВИСОТНОЇ ЦІЛІ ПРИ ЛОКАЦІЇ ЇЇ НАД МОРЕМ ЗА МЕЖАМИ ДАЛЬНОСТІ ПРЯМОЇ ВИДИМОСТІ

В.Д. Карлов, Ю.А. Сірик, А.В. Тугай, В.Г. Чернов

У статті проаналізована можливість розпізнавання кількісного складу групової мети, лоцируемой над морем на дальності прямої видимості, що перевищує дальність. В якості ознаки, що дозволяє розпізнати групову мету, запропоновано використовувати зміну (стрибок) параметрів ехо-сигналов. До таких параметрів в радіолокації використовують амплітуду, доплерівське зміщення частоти і фазу відбитого від мети сигналу. З позиції аналізу матриці умовної вірогідності фіксації стрибка параметра сигналу, в роботі розглянуті можливі варіанти побудови пристроїв виявлення кількісного складу групової мети і оцінена їх ефективність залежно від числа параметрів ехо-сигнала по стрибку яких оцінюється кількісний склад групової мети.

**Ключові слова:** групова ціль, параметри луна-сигналу, матриця умовних ймовірностей, ймовірність потрібної тривоги, ймовірність правильного виявлення.

## TO THE QUESTION OF THE RECOGNITION OF THE STRENGTH OF THE GROUP AIMS AT LOW ALTITUDE OVER THE SEA OF ITS LOCATION OUTSIDE THE RANGE OF SIGHT

V.D. Karlov, Y.A. Sirik, A.V. Tugay

Possibility of recognition of quantitative composition of group aim, лоцируемой above a sea on distance of exceeding distance line-of-sight is analysed in the article. As a sign, allowing to recognize a group aim, it is suggested to use the change (jump) of parameters of echo-signal. To the number such parameters in a radio-location use amplitude, Doppler translation of frequency and phase of the signal reflected from an aim. From position of analysis of matrix of conditional probability of fixing of jump of parameter of signal, the possible variants of construction of devices of finding out quantitative composition of group aim are in-process considered and their efficiency is appraised depending on the number of parameters of echo-signal on the jump of which quantitative composition of group aim is estimated.

**Keywords:** group goal, parameters echo signal, matrix of conditional probabilities, the probability of the desired alarm, the probability of correct detection.