

УДК 621.391.26

В.Д. Карлов, Ю.А. Сирьк, А.В. Тугай

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КОЛИЧЕСТВА ЦЕЛЕЙ В СОСТАВЕ ГРУППОВОЙ ПРИ ЛОКАЦИИ В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН

В статье в рамках известных моделей движения целей предложена методика оценки изменения параметров эхо-сигнала, в зависимости от количества объектов групповой цели, находящихся в импульсном объеме излученного сигнала при локации в декаметровом диапазоне радиоволн. Применительно к механизму ионосферного отражения радиоволн при загоризонтной локации, проведена количественная оценка изменения параметров, отраженного от цели сигнала в условиях изменения количества объектов локации. Расчеты проведены в рамках предположения о том, что взаимное влияние отражений от находящихся в импульсном объеме целей не учитывалось. Рассмотрено изменение амплитуды отраженного сигнала при изменении числа объектов групповой цели. Оценено влияние эффективной поверхности рассеяния входящей (или выходящей) в импульсный объем цели на величину скачка амплитуды отраженного сигнала.

**Ключевые слова:** локация групповых целей, декаметровый диапазон, амплитудные флуктуации.

### Введение

**Постановка проблемы.** При локации целей в декаметровом диапазоне радиоволн в импульсном объеме излученного РЛС сигнала обычно попадает несколько целей. Фактически мы имеем дело с рассмотрением вопроса локации групповой цели. В этом случае обычным для радиолокации является постановка задачи связанной с определением числа объектов, лоцируемых в составе групповой цели. Практика локации целей в декаметровом диапазоне радиоволн [1] свидетельствует о том, что в процессе локации число объектов локации в составе групповой цели изменяется. Это происходит за счет того, что в импульсный объем либо входят, либо из него выходят воздушные цели. Такая динамика процесса локации неизбежно должна повлиять на характеристики отраженного сигнала. Вместе с тем в известной литературе таких оценок не проводилось. Данная статья и предназначена для того, чтобы восполнить данный пробел.

**Цель статьи.** Проанализировать зависимость параметров эхо-сигнала от количества объектов групповой цели, входящей в импульсный объем излученного РЛС сигнала. Рассмотреть зависимость параметров эхо-сигнала от изменения количества объектов входящих в состав лоцируемой групповой цели.

### Основной материал

Для проведения оценки влияния на параметры эхо-сигнала РЛС загоризонтального обнаружения целей (ЗГ РЛС) изменения числа объектов групповой цели рассмотрим в начале динамику процесса локации групповой цели по мере увеличения количества ее объектов. Пусть в лоцируемый объем входит сначала один объект, а затем другой. В момент появления второй цели часть параметров эхо-сигнала, например, амплитуда, доплеровская частота, фаза, могут изменяться. Возможно также изменение статистических параметров оцениваемого процесса. При

появлении следующего объекта опять возможно изменение параметров отраженного сигнала. В случае, если отдельные объекты групповой цели будут выходить из объема разрешения ЗГ РЛС, изменение отдельных или всех параметров отраженного сигнала может повториться. В этом случае, фиксируя изменения параметров отраженного сигнала, возможно либо распознавать цели по количественному составу, либо приближенно оценить количество целей в группе. При этом мы рассматриваем такое изменение параметров (или параметра) сигнала, скорость изменения которого должна превышать скорость изменения рассматриваемого параметра в естественных условиях. Изменения параметров сигнала за счет естественных причин могут быть обусловлены, например [1], влиянием неоднородной нестационарной ионосферы, а также зеркальных точек (ЗТ) подстилающей поверхности. Кроме того, в среднеширотной ионосфере изменения параметров сигнала могут происходить по причине наличия на трассе локации, например, перемещающихся ионосферных возмущений, а также движения линии терминатора. Учитывая, что возмущения в среднеширотной ионосфере не являются частыми и их влияние приводит к относительно медленному изменению параметров сигнала (например, скорость изменения фазы очень редко превышает 1...2 рад/с [1]), можно полагать, что скорость вариаций параметров сигнала, обусловленная влиянием естественных причин, возникающих в среднеширотной ионосфере, в подавляющем большинстве случаев существенно меньше, чем при входе в объем разрешения ЗГ РЛС нового объекта. Влияние же ЗТ земной поверхности на возникновение изменений в отраженном эхо-сигнале существенно только при очень малых высотах полета цели [2]. На таких высотах появление компактной групповой цели боевых самолетов является маловероятным событием. При средних и больших высотах полета целей количество ЗТ

составляет десятки-сотни [2] и изменение их числа, обусловленное неровностями Земли, часто приводит к очень малым скачкам параметров эхо-сигнала, которые невозможно зарегистрировать. Поэтому при проведении дальнейших рассмотрений будем полагать, что групповая (одиночная) цель осуществляет полет над статистически однородной поверхностью.

Оценим вероятностные характеристики скачка амплитуды  $\Delta A$  при появлении в объеме разрешения новой цели. Проведем рассуждения при следующих предположениях. Пусть в объеме разрешения находится одна цель на средней высоте. Представим модулирующий множитель эхо-сигнала в виде суммы квадратурных составляющих:

$$V'(t) = b_1'(t) - jb_2'(t).$$

Амплитуда эхо-сигнала, отраженного от цели, представляет собой сумму сигналов со случайными амплитудами и фазами, пришедших в точку наблюдения по разным путям, причем каждая зеркальная точка образует три эхо-сигнала со случайными фазами и амплитудами (четырёхлучевая модель, [2]). Все эти эхо-сигналы независимы между собой и примерно равноценны. По центральной предельной теореме вероятностей [3], это позволяет предположить, что квадратурные составляющие распределены по нормальному закону с дисперсией  $D'$ , величина которой зависит от ЭПР цели и числа ЗТ на подстилающей поверхности:

$$p(b_{1,2}') = \frac{1}{\sqrt{2\pi D'}} \exp\left\{-\frac{(b_{1,2}')^2}{2D'}\right\}.$$

Нормальное распределение квадратурных составляющих определяет нормальное распределение мгновенных значений принятых реализаций, являющихся линейными комбинациями  $b_1, b_2$ . В этом случае амплитудный множитель  $b' = |V'|$  распределен по закону Релея [3]:

$$p(b') = (b'/D') \cdot \exp\left\{-b'^2/D'\right\}.$$

Пусть в момент времени  $t_0$  в объеме разрешения появляется еще одна цель. Модулирующий множитель сигнала, отраженного от второй цели, тоже можно представить в виде квадратурных составляющих:

$$V''(t) = b_1''(t) - jb_2''(t).$$

Применяя те же рассуждения, найдем, что амплитудный множитель эхо-сигнала от второй цели также распределен по закону Релея:

$$p(b'') = (b''/D'') \cdot \exp\left\{-b''^2/D''\right\}.$$

Для одной и той же подстилающей местности количество ЗТ для обеих целей примерно совпадает. В этом случае дисперсии распределения квадратурных составляющих  $D', D''$  зависят только от ЭПР целей.

После появления второй цели на входе приемника ЗТ РЛС будут складываться два независимых неразрешаемых по времени задержки эхо-сигнала с модулирующими множителями  $V'$  и  $V''$ . Полагая, что доплеровские смещения частоты обоих реализаций

примерно совпадают, запишем выражение для модулирующего множителя суммарного сигнала:

$$V_{\Sigma} = V' + V'' = b_1' + b_1'' - j(b_2' + b_2'') = b_{\Sigma 1} - jb_{\Sigma 2}.$$

В силу независимости эхо-сигналов от двух целей закон распределения квадратурных составляющих множителя  $V_{\Sigma}$  будет также нормальным со средним значением

$$\bar{b}_{\Sigma 1,2} = \bar{b}_{1,2}' + \bar{b}_{1,2}'' = 0$$

и дисперсией  $D_{\Sigma} = D' + D''$ .

Тогда амплитудный множитель суммарного сигнала распределен по закону:

$$p(b_{\Sigma}) = (b_{\Sigma}/D_{\Sigma}) \cdot \exp\left\{-\frac{b_{\Sigma}^2}{2D_{\Sigma}}\right\}.$$

Найдем  $p(b_{\Sigma}/b' = \alpha)$  – условную плотность вероятности распределения амплитуды суммарного сигнала при условии, что амплитуда эхо-сигнала от первой цели приняла значение  $b' = |a_1 - ja_2| = \alpha$ . В этом случае квадратурные составляющие суммарного сигнала будут распределены по нормальному закону со средним

$$\bar{b}_{\Sigma 1,2} = a_{1,2} + \bar{b}_{1,2}'' = a_{1,2}$$

и дисперсией  $D^{\Sigma} = D' + D'' = D''$ .

Амплитудный множитель суммарного сигнала в этом случае распределен по обобщенному закону Релея:

$$p(b_{\Sigma}/b' = \alpha) = \frac{b_{\Sigma}}{D''} \exp\left\{-\frac{b_{\Sigma}^2 + \alpha^2}{2D''}\right\} \cdot I_0\left(\frac{\alpha \cdot b_{\Sigma}}{D''}\right), \quad (1)$$

где  $I_0(u) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{u \cos(\beta - \beta_0)} d\beta$  – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Используя (1), найдем условную вероятность того, что при появлении второй цели скачок амплитуды суммарного сигнала  $\Delta$  был не больше некоторой величины  $\Delta A$ :

$$P(\Delta \leq \Delta A / b' = \alpha) = \int_{\alpha - \Delta A}^{\alpha + \Delta A} p(b_{\Sigma}/b' = \alpha) db_{\Sigma}.$$

Полную вероятность того, что скачок амплитуды суммарного сигнала не превышает величину  $\Delta$  (закон распределения скачка амплитуды), можно найти, проинтегрировав условные вероятности по всему множеству возможных значений  $b'$ :

$$P(\Delta \leq \Delta A) = P(\Delta A) = \int_0^{\infty} P(\Delta \leq \Delta A / b' = \alpha) db'. \quad (2)$$

Рассмотрим следующие возможные ситуации.

1. Первая цель имеет ЭПР намного меньше, чем вторая цель (при принятой модели сигнала ЭПР пропорциональна дисперсии  $D$ ). Физически понятно, что в этом случае велика вероятность возникновения значительного скачка амплитуды. Введем величину  $\delta$ , равную отношению ЭПР первой цели к ЭПР второй цели. Тогда справедливо соотношение:

$$\delta = D'/D''.$$

На рис. 1 приведена вероятность распределения скачка амплитуды для случая  $\Delta = 1/4$  (обозначена на рис. 1 цифрой 1). Зависимость получена методом численного интегрирования по формуле (2). Медианное значение скачка амплитуды в этом случае  $m \approx 0,9\sqrt{D'}$

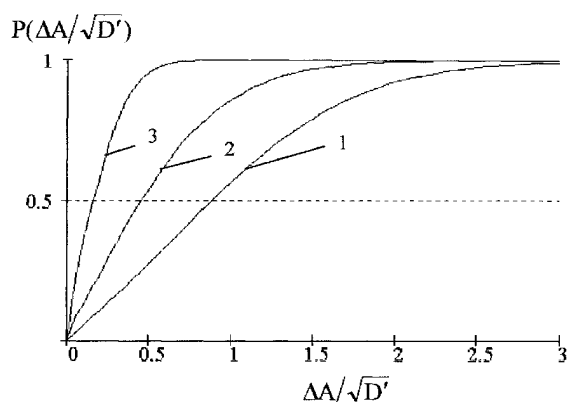


Рис. 1. Распределение вероятности скачка амплитуды

2. Вероятность распределения скачка амплитуды для целей с примерно равными ЭПР ( $\delta = 1$ ) обозначена на рис. 1 цифрой 2. Видно, что по сравнению с первым случаем, возросла вероятность появления меньших скачков амплитуды. Медианное значение скачка амплитуды  $m \approx 0,48\sqrt{D'}$ .

3. Если первая цель имеет ЭПР значительно большую, чем вторая, то физически понятно, что вероятность возникновения значительного скачка амплитуды мала. Вероятность распределения скачка амплитуды при  $\delta = 4$  обозначена на рис. 1 цифрой 3. Медианное значение скачка амплитуды  $m \approx 0,2\sqrt{D'}$

Данная ситуация возникает также при появлении нового объекта в объеме разрешения, когда в нем уже находятся несколько объектов.

Подобные условия имеют место также при появлении (исчезновении) новой ЗТ на подстилающей поверхности. В этом случае величина  $\delta$  зависит от

высоты полета, ее величина обратно пропорциональна количеству ЗТ и на средних и больших высотах имеет порядок  $0,1 \dots 0,01$  [1]; поэтому скачок амплитуды эхо-сигнала будет незначительным. На малых же высотах, когда количество ЗТ меньше  $3 \dots 5$ , появление или исчезновение одной ЗТ может стать причиной значительного скачка амплитуды эхо-сигнала [2].

Из приведенных графиков видно, что не во всех случаях появление второго объекта в объеме разрешения приводит к значительному скачку амплитуды эхо-сигнала: в некоторых ситуациях велика вероятность незначительного изменения амплитуды. Однако для наиболее часто встречающихся на практике и самых важных случаев (средние и большие высоты полета, группы однородных объектов) почти всегда будет наблюдаться скачок амплитуды отраженного от цели сигнала [2].

## Выводы

При вхождении объектов групповой цели в лоцируемый объем разрешения ЗГ РЛС декаметрового диапазона радиоволн характеристики отраженного эхо-сигнала изменяются. Эти изменения позволяют определить количество объектов в составе групповой цели при оценке изменения амплитуды отраженного эхо-сигнала.

## 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. Исследование возможностей распознавания аэродинамических целей в декаметровом диапазоне волн в условиях помехового воздействия ионосферы: отчет о НИИР (промежуточный). – Х.: ХВУ, 1998. – 42 с.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б.Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

Поступила в редколлегию 24.02.2011

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

## ДО ПИТАННЯ ПРО ОЦІНКУ КІЛЬКОСТІ ЦІЛЕЙ У СКЛАДІ ГРУПОВИЙ ПРИ ЛОКАЦІЇ У ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ РАДІОХВИЛЬ

В.Д. Карлов, Ю.А. Сірик, А.В.Тугай

У статті в рамках відомих моделей руху цілей запропонована методика оцінки зміни параметрів луна-сигналу, в залежності від кількості об'єктів групової цілі знаходяться в імпульсному обсязі випроміненого сигналу при локації в декаметровому діапазоні радіохвиль. Стосовно до механізму іоносферного відображення радіохвиль при заобрійної локації, проведена кількісна оцінка зміни параметрів, відбитого від цілі сигналу в умовах зміни кількості об'єктів локації. Оцінено вплив ефективної поверхні розсіяння яка входить (або виходить) в імпульсний обсяг цілі на величину стрибка амплітуди відбитого сигналу

**Ключові слова:** локація групових цілей, декаметровий діапазон, амплітудні флуктуації.

## THE PROBLEM OF ASSESSMENT AMOUNT PURPOSE AS PART OF A GROUP WHEN LOCATIONS IN DECAMETER RADIOWAVES

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

In an article in the framework of known models of movement goals proposed method of estimation of parameters of the echo signal, depending on how many objects are in multi-target pulse volume of the emitted signal at locations in decameter radio. With regard to the mechanism of the ionosphere reflection of radio waves at the horizon location, the quantitative assessment of changes in the parameters of the reflected signal from the target in the changing number of objects location. The influence of the effective surface scattering of incoming (or outgoing) in the pulse volume targets for the jump of the amplitude of the reflected signal.

**Keywords:** location of group goals, Decameter amplitude fluctuations.