

УДК 621.391.26

В.Д. Карлов, Ю.А. Сирьк, А.В. Тугай

*Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков*

### **СПЕКТР АМПЛИТУДНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ЭХО-СИГНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ЧАСТОТОЙ**

*В статье на основе математического моделирования проанализировано изменение спектра амплитудных флуктуаций сигналов, отраженных от групповой цели. В качестве зондирующих использованы сигналы с изменяющейся от импульса к импульсу частотой. Основное внимание в статье уделено рассмотрению зависимости модуляционных гармоник, возникающих в отраженном сигнале, от количества объектов входящих в состав лоцируемой групповой цели.*

**Ключевые слова:** спектр амплитудных флуктуаций, модуляционные гармоники, групповая цель.

#### **Введение**

**Постановка проблемы:** Особенностью локации целей в декаметровом диапазоне радиоволн является то, что в импульсном объеме может находиться несколько радиолокационных целей [1] и возникает задача их распознавания. Как известно [2], для решения задачи распознавания по количественному признаку необходимо выявить сигнальные признаки, характерные для объектов, входящих в состав групповой цели. В работе [3] на основе использования модели динамических радиолокационных характеристик исследованы статистические характеристики эхо-сигналов, отраженных от групповой цели при локации её в декаметровом диапазоне радиоволн за пределами радиогоризонта, с использованием радиоволны, распространяющейся по тропосферному радиоканалу [2]. В [3] показано, что с увеличением количества объектов в групповой

цели, находящейся в импульсном объеме, время корреляции амплитуды отраженного от групповой цели сигнала уменьшается. При этом, как показано в [3], при увеличении числа объектов в группе происходит расширение частотного спектра амплитудной флуктуации. Введен коэффициент расширения спектра амплитудных флуктуаций. Показано, что величина этого коэффициента может быть аппроксимирована как корень квадратный из количества объектов в группе. Вместе с тем на практике [2] используют зондирующие сигналы с изменяющейся в диапазоне нескольких десятков килогерц несущей частотой от импульса к импульсу. В соответствии с [2] при локации групповой цели в спектре амплитудных флуктуаций отраженного эхо-сигнала следует ожидать появление модуляционных гармоник. Однако в известной литературе недостаточно изучена зависимость этих гармоник от количества объек-

тов в групповой цели. Изучению этой зависимости и посвящена данная статья.

**Цель статьи:** Проанализировать зависимость спектра флуктуаций эхо-сигнала, отраженного от групповой цели, от количества объектов в группе при использовании зондирующих сигналов с изменяющейся частотой.

### Основной материал

Как отмечается в [2], изменение несущей частоты зондирующих импульсных сигналов всего на несколько десятков кГц может привести к изменению амплитуды отражённого эхо-сигнала. Результаты экспериментальных исследований [2] показали, что в рассматриваемом случае амплитуда эхо-сигнала может измениться от максимального до минимального значения. Это положение лежит в основе предложения об использовании последовательности импульсов с изменяющейся несущей частотой для выявления признаков распознавания целей по количественному составу.

В качестве зондирующего сигнала будем использовать последовательность импульсов с частотой повторения импульсов  $f$ . Несущая частота в пределах одного импульса постоянна, но изменяется на величину  $\Delta f$  за период повторения  $T_n$ . Таким об-

разом, от импульса к импульсу несущая частота зондирующего сигнала изменяется на величину  $\Delta f$ . Последовательность импульсов в пределах периода повторения можно записать в виде

$$E(t) = \sum_{i=1}^p E(t - iT_n) \exp \left\{ j \cdot 2\pi \left( f_0 + \frac{i-1}{f \cdot T_n} \cdot \Delta f \right) (t - iT_n) + \varphi_i \right\},$$

где  $p$  – число импульсов в последовательности;  $f_0$  – основная несущая частота последовательности;  $\varphi_i$  – начальная фаза излучаемого  $i$ -го импульса.

При использовании зондирующего сигнала такого вида эхо-сигнал от одной цели оказывается промодулированным по амплитуде с частотой  $1/T_n$ . В спектре амплитудных флуктуации на частоте  $f_0 + n \cdot (1/T_n)$ ,  $n=1, 2, \dots$  появляются модуляционные гармоники. Наибольший уровень имеет гармоника на частоте  $f_0 + 1/T_n$ . В дальнейшем, говоря об уровне модуляционной гармоники, будем иметь в виду именно эту гармонику. Уровень модуляционной гармоники обусловлен, прежде всего, величиной частотной девиации  $\Delta f$ . При  $\Delta f=10 \dots 20$  кГц он, как правило, уже достигает 0,6...0,8 в нормированных единицах. Типичный вид модулирующей функции, корреляционной функции и спектра флуктуации эхо-сигнала от одиночной цели приведен на рис. 1.

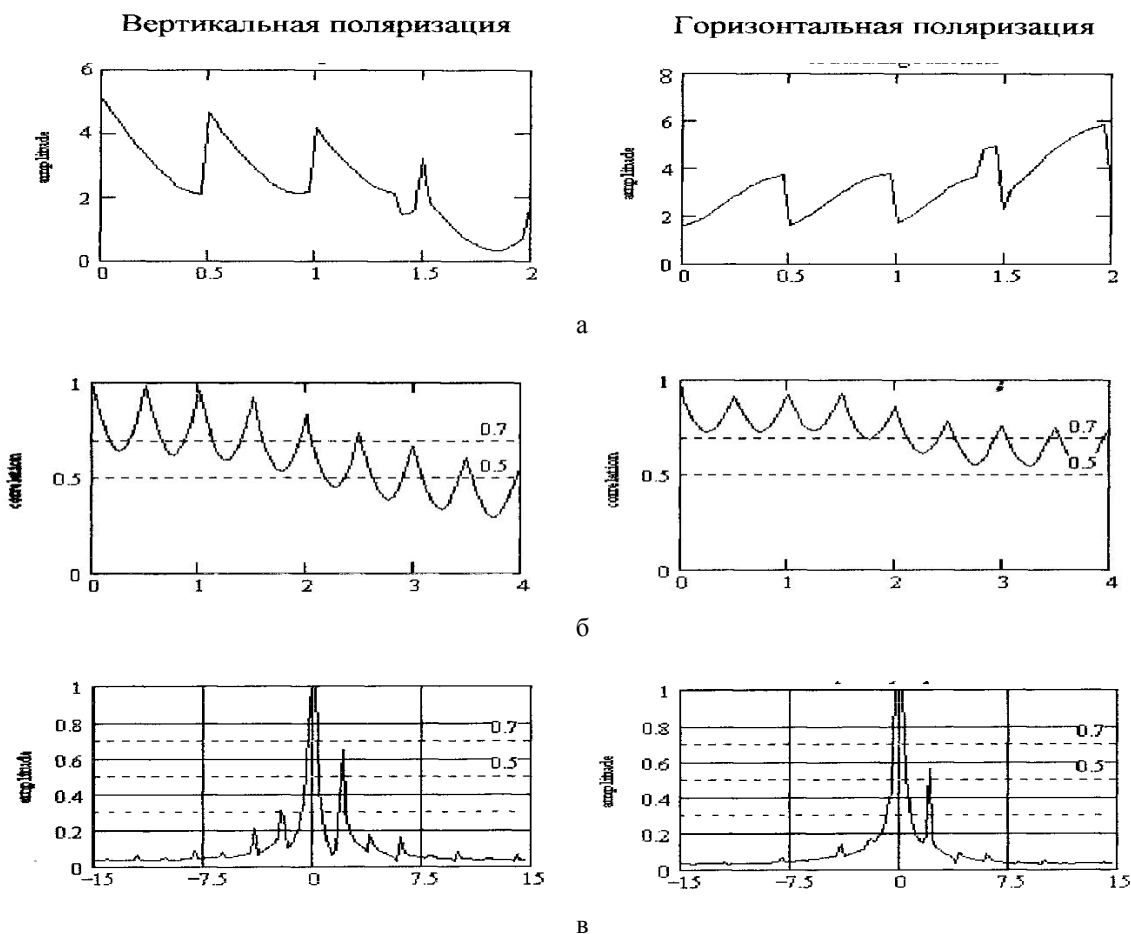


Рис. 1. а – модулирующая функция; б – корреляционная функция; в – спектр флуктуации эхо-сигнала

Результаты, приведённые на рис. 1, получены при следующих условиях: цель – истребитель F-16, высота полёта 5 км, скорость полёта 200 м/с,  $f_0=30$  МГц, девиация частоты  $\Delta f=20$  кГц, период повторения  $T_{\text{п}}=0,5$  с.

Если в неразрешаемом объёме находится несколько целей, эхо-сигналы от каждой из них суммируются со своей амплитудой, фазой и временем задержки. При этом в отражённом от групповой цели сигнале модуляция проявляется намного меньше.

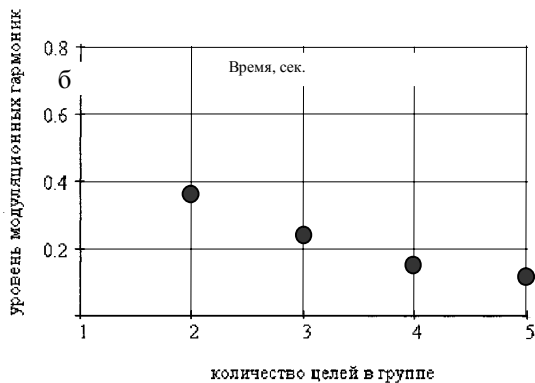


Рис. 2. Зависимость уровня модуляционной гармоник от количества целей в группе

На рис. 2 приведена зависимость уровня модуляционной гармоник от количества целей в группе. Данные, приведённые на рис. 2, получены путём математического моделирования при следующих условиях: цель – истребитель F-16, высота полёта 3 км, скорость полёта 200 м/с,  $f_0=30$  МГц, девиация частоты  $\Delta f=20$  кГц, период повторения  $T_{\text{п}}=0,5$  с, цели выстроены в колонну, дистанция между ними 500 м.

Результаты усреднены по 10 выборкам земной поверхности. Моделирование показало, что изменение высоты полёта целей незначительно влияет на уровень модуляционной гармоник.

Из данных, приведённых на рис. 2, видно, что уровень модуляционной гармоник зависит от количества целей в группе.

Для одиночной цели он равен 0,7, для группы из двух целей  $\approx 0,4$ , 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, а из пяти целей – 0,12.

Полученный результат можно использовать в качестве признака распознавания одиночных объектов от групповых целей.

## Выводы

При локации групповой цели в случае использования в качестве зондирующих сигналов декаметрового диапазона радиоволн с изменяющейся от импульса к импульсу частотой в спектре амплитудных флуктуаций эхо-сигнала возникают модуляционные гармоник. Их уровень зависит от количества целей в группе и может изменяться от 0,7 в нормированных единицах для одиночной цели до 0,15 для цели из четырёх объектов.

Указанное обстоятельство позволяет утверждать о том, что по уровню модуляционных гармоник можно оценивать количество целей в группе, лоцируемой в декаметровом диапазоне радиоволн.

## Список литературы

1. Мищенко Ю.А. Загоризонтная радиолокация / Ю.А. Мищенко. – М.: Воениздат, 1972. – 96 с.
2. Основы загоризонтной радиолокации / В.А. Алебастров, Э.Ш. Гойхман, И.М. Заморин и др.; под ред. А.А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
3. Карлов В.Д. Статистические характеристики эхо-сигналов, отраженных от групповых целей при локации их в декаметровом диапазоне радиоволн / В.Д. Карлов, Ю.А. Сырык, А.В. Тугай // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «Центральний НДІ навігації і управління», 2010. – Вип. 4(16). – С. 24-27.

Поступила в редколлегию 9.12.2010

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

## СПЕКТР АМПЛИТУДНИХ ФЛУКТУАЦІЙ ЛУНА-СИГНАЛУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗОНДУЮЧИХ СИГНАЛІВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ РАДІОХВИЛЬ ЗІ ЗМІННОЮ ЧАСТОТОЮ

В.Д. Карлов, Ю.А. Сірик, А.В. Тугай

У статті на основі математичного моделювання проаналізовано зміну спектру амплітудних флуктуацій сигналів відбитих від групової цілі. В якості зондуючих використані сигнали зі змінною від імпульсу до імпульсу частотою. Основну увагу в статті приділено розгляду залежності модуляційних гармонік, які виникають у відбитому сигналі, від кількості об'єктів, які входять до складу лоцируємої групової цілі.

**Ключові слова:** спектр амплітудних флуктуацій, модуляційні гармоніки, групова ціль.

## SPECTRUM AMPLITUDE FLUCTUATIONS OF ECHO SIGNAL USING PROBING SIGNALS DECA-METER RANGE OF RADIOWAVES WITH VARIABLE FREQUENCY

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

The article, based on mathematical modeling analyzes changes in the spectrum of amplitude fluctuations of the reflected signal from the target group. As the probing signals are used to changing from pulse to pulse frequency. The main attention in the article the consideration of the dependence of the modulation harmonics occurring in the reflected signal, the number of objects belonging to location the group purpose.

**Keywords:** spectrum of amplitude fluctuations, harmonic modulation, the group purpose.