

## **ИНФОРМАТИВНОСТЬ РАЗНЕСЕННЫХ РЛС ПРИ ТЕНЕВОМ РАССЕЙНИИ**

**Г. Л. АЙВАЗЯН**

Усложнение задач, решаемых современными радиолокационными системами различного назначения, повышает требования к их тактико-техническим характеристикам и приводит к необходимости поиска новых технических решений в создании основных компонентов радиолокационных систем (РЛС). В этой связи многопозиционные РЛС (МПРЛС) значительно лучше отвечают требованиям, предъявляемым к современным и перспективным радиолокационным средствам, поскольку позволяют более эффективно использовать информацию, содержащуюся в пространственной структуре электромагнитного поля. Благодаря этому улучшаются энергетические характеристики МПРЛС, повышается их информативность, помехозащищенность и живучесть [1-5].

Для нормального функционирования радиолокационных систем, решающих задачи классификации и распознавания объектов, требуется большой объем радиолокационной информации. Получение высококачественной информации при этом может быть также достигнуто применением многопозиционных РЛС [6,7].

Однако, информативность разнесенных РЛС может быть дополнительно повышена за счет их функционирования в специфическом режиме теневого рассеяния, вызывающем многократное увеличение бистатической эффективной площади рассеяния (ЭПР) радиолокационных целей [8-10].

В теоретическом плане наибольший интерес с точки зрения анализа характеристик и показателей качества представляет бистатическая РЛС. Это объясняется тем, что бистатическая система является элементарным звеном, зная характеристики которого можно провести исследование более

сложной МПРЛС. Поэтому анализ информативности ведется применительно к бистатической РЛС.

Для оценки информационных возможностей разнесенных РЛС, работающих в режиме теневого рассеяния, воспользуемся выражением для показателя информативности системы распознавания радиолокационных объектов [6]

$$I = \delta FT \log_2(1 + q^2) \quad (1)$$

где  $I$  - количество информации,

$\delta F$  - полоса частот,

$T$  - время получения и обработки радиолокационной информации,

$q$  - отношение сигнал / шум.

В случае бистатической радиолокационной системы, отношение сигнал / шум по мощности  $q_b^2$  может быть представлено в виде [11]

$$q_b^2 = \frac{\sigma_b}{\sigma_m} q_m^2 \quad (2)$$

где  $q_m^2$  - отношение сигнал / шум в эквивалентной моностатической системе,

$\sigma_b$  - бистатическая ЭПР радиолокационного объекта,

$\sigma_m$  - моностатическая ЭПР радиолокационного объекта.

Тогда для показателя информативности разнесенной радиолокационной системы с учетом (2) получим

$$I_b = \delta FT \log_2(1 + \frac{\sigma_b}{\sigma_m} q_m^2) \quad (3)$$

Для средних значений бистатической ЭПР радиолокационного объекта произвольной формы имеем [9]

$$\sigma_b \approx 4\pi \left(\frac{\bar{S}}{\lambda}\right)^2, \beta \leq \beta^* \quad (4)$$

$$\sigma_b \approx \frac{\lambda \bar{l}}{\pi^2 \beta^3}, \beta > \beta^* \quad (5)$$

$$\beta^* = \frac{\lambda}{\pi} \left(\frac{\bar{l}}{4 \bar{S}^2}\right)^{1/3} \quad (6)$$

где

$\beta^*$  - угол, определяющий границу между главным лепестком и боковыми лепестками

диаграммы рассеяния в случае бистатической радиолокации,

$\beta$  - угол, дополняющий бистатический угол рассеяния  $\bar{\beta}$  до  $180^\circ$  ( $\beta = \pi - \bar{\beta}$ ),

$\bar{l}$  - средняя длина теневого контура объекта,

$\bar{S}$  - площадь плоской фигуры, ограниченной кривой раздела освещенной и теневой

частей объекта,

$\lambda$  - длина волны.

Средняя ЭПР обратного рассеяния выпуклого объекта произвольной формы равна [9,12]

$$\sigma_m = \frac{S_{\Pi}}{4} \quad (7)$$

где  $S_{\Pi}$  - площадь полной поверхности радиолокационного объекта.

Из (3) на основании соотношений (4) и (5) с учетом коэффициента отражения  $\gamma$  получим

$$I_b = \delta FT \log_2 \left( 1 + \frac{16\pi\bar{S}^2}{\lambda^2 \gamma S_{\Pi}} q_m^2 \right), \beta \leq \beta^* \quad (8)$$

$$I_b = \delta FT \log_2 \left( 1 + \frac{4\lambda\bar{l}}{\pi^2 \beta^3 \gamma S_{\Pi}} q_m^2 \right), \beta > \beta^* \quad (9)$$

Полученные выражения можно использовать для оценки выигрыша в количестве информации, необходимом для распознавания, обусловленного режимом теневого рассеяния.

Учитывая выражения (1) и (3), для отношения  $I_w = I_b / I_m$  показателей информативности бистатической и моностатической систем получим

$$I_w = \frac{\log_2 \left( 1 + \frac{16\pi\bar{S}^2}{\lambda^2 \gamma S_{\Pi}} q_m^2 \right)}{\log_2(1 + q_m^2)}, \beta \leq \beta^* \quad (10)$$

$$I_w = \frac{\log_2 \left( 1 + \frac{4\lambda\bar{l}}{\pi^2 \beta^3 \gamma S_{\Pi}} q_m^2 \right)}{\log_2(1 + q_m^2)}, \beta > \beta^* \quad (11)$$

В частности, для радиолокационного объекта конической формы с радиусом основания  $a$ , полууглом при вершине  $\alpha$  и высотой  $h$  имеем [9]

$$\bar{l} \simeq 2a \left[ 1,2 + \frac{1 - (\cos \alpha)^2 / 6}{\sin \alpha} \right] \quad (12)$$

$$S_{\Pi} = \pi a (a + \sqrt{a^2 + h^2}) \quad (13)$$

$$\bar{S}^2 \simeq \left( \frac{S_{\Pi}}{4} \right)^2 = \left[ \frac{\pi a}{4} (a + \sqrt{a^2 + h^2}) \right]^2 \quad (14)$$

Следовательно, для объекта конической формы соотношения (6), (10) и (11) на основании (12) - (14) примут вид

$$I_w \simeq \frac{\log_2 \left[ 1 + \left( \frac{\pi a}{\lambda} \right)^2 \frac{1 + (1 + (h/a)^2)^{1/2}}{\gamma} q_m^2 \right]}{\log_2 (1 + q_m^2)}, \beta \leq \beta^* \quad (15)$$

$$I_w \simeq \frac{\log_2 \left[ 1 + \frac{4\lambda(2,4 + (6 - (\cos \alpha)^2) / 3 \sin \alpha)}{a\gamma(\pi\beta)^3 (1 + (h/a)^2)^{1/2}} q_m^2 \right]}{\log_2 (1 + q_m^2)}, \beta > \beta^* \quad (16)$$

$$\beta^* = \frac{2\lambda}{\pi a} \left[ \frac{1,2 + (1 - (\cos \alpha)^2 / 6) / \sin \alpha}{\pi^2 (1 + (h/a)^2)^{1/2}} \right]^{1/3} \quad (17)$$

Аналогично, для радиолокационного объекта в виде кругового цилиндра высотой  $h$  и радиусом основания  $a$  имеем [9]

$$\bar{l} \simeq (\pi h / 2) + 4,96a \quad (18)$$

$$S_{\Pi} = 2\pi a (a + h) \quad (19)$$

$$\bar{S}^2 \simeq 4(ah)^2 \left( 1 - \frac{\pi}{6} \right) + \frac{\pi a^3}{6} (\pi a + 4h) \quad (20)$$

Подставляя выражения (18) - (20) в (6), (10) и (11), получим

$$I_w \simeq \frac{\log_2 \left[ 1 + 16 \left( \frac{a}{\lambda} \right)^2 \frac{4 \left( 1 - \frac{\pi}{6} \right) \left( \frac{h}{a} \right)^2 + \left( \frac{\pi}{6} \right) \left( \pi + \frac{4h}{a} \right)}{\gamma \left( 1 + \frac{h}{a} \right)} q_m^2 \right]}{\log_2 (1 + q_m^2)}, \beta \leq \beta^* \quad (21)$$

$$I_w \simeq \frac{\log_2 \left[ 1 + \frac{2\lambda \left( \frac{\pi h}{2a} + 4,96 \right)}{a\gamma(\pi\beta)^3 (1 + h/a)} q_m^2 \right]}{\log_2 (1 + q_m^2)}, \beta > \beta^* \quad (22)$$

$$\beta^* = \frac{\lambda}{\pi a} \left\{ \frac{4,96 + \pi h / 2a}{4 \left[ 4 \left( 1 - \frac{\pi}{6} \right) \left( \frac{h}{a} \right)^2 + \left( \pi + \frac{4h}{a} \right) \frac{\pi^2}{6} \right]} \right\}^{1/3} \quad (23)$$

Для оценки информационных возможностей разнесенных радиолокационных станций, работающих в

режиме теневого рассеяния, воспользуемся также эмпирической формулой,

связывающей бистатистическую и моностатическую ЭПР радиолокационных объектов [8]

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_m} = 1 + \exp[ n|\bar{\beta}| - (2,4n + 1) ] \quad (24)$$

где  $n$  – эмпирический коэффициент, определяемый конфигурацией и сложностью радиолокационного объекта. Подставляя (24) в (3), для отношения  $I_w = I_b / I_m$  показателей информативности бистатистической и моностатической систем получим

$$I_w = \frac{\log_2\{1+[ 1 + \exp[ n|\bar{\beta}| - (2,4n + 1) ]\}}{\log_2(1+q_m^2)} \quad (25)$$

Для оценки информационных возможностей бистатистических систем в режиме теневого рассеяния были проведены расчеты по формулам (15) - (17), (21) - (23) и (25) для конуса с параметрами  $\lambda/a = 0,5$ ,  $h/a = 6$  и цилиндра с параметрами  $\lambda/a = 0,2$ ,  $h/a = 16$ .

Из расчетов следует, что при бистатистических углах  $\bar{\beta} > 135^0$  имеет место возрастание выигрышей. Наибольшие выигрыши наблюдаются в области главного лепестка диаграммы рассеяния ( $\bar{\beta} > 175^0$ ). Так, для отношения сигнал/шум  $q = 1$  выигрыши возрастают более чем на порядок как для конуса, так и для цилиндра.

Однако и в области боковых лепестков диаграммы рассеяния значения выигрышей достаточно большие. Так, например, в случае конуса (цилиндра) при  $\gamma = 1$  увеличение бистатистического угла от  $165^0$  до  $175^0$  вызывает возрастание выигрыша от 4,6 дБ (1 дБ) до 8,7 дБ (7,1 дБ). Кроме того, выигрыши возрастают при уменьшении коэффициента отражения  $\gamma$ . Так, при уменьшении  $\gamma$  от 1 до 0,01 выигрыши возрастают на 5 дБ для конуса и на 8 дБ для цилиндра при  $q = 1$  и  $\bar{\beta} = 165^0$ . Из анализа результатов расчетов можно также заключить, что наибольшие выигрыши получаются при малых значениях отношения сигнал/шум  $q$ .

Таким образом, обобщая сказанное можно заключить, что информативность разнесенных радиолокационных систем может быть заметно повышена за счет их функционирования в режиме теневого рассеяния, реализуемого при больших значениях бистатических углов.

**Ключевые слова:** *бистатическая радиолокация, многопозиционная радиолокация, теневое рассеяние.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. S.R. Doughty. Development and Performance Evaluation of a Multistatic Radar System. University College London, 2008, pp.213
2. C.J. Baker. An Introduction To Multistatic Radar. College of Engineering and Computer Science, ANU, 2007, pp.20
3. V.S. Chernyak. Fundamentals of Multisite Radar Systems: Multistatic Radars and Multiradar Systems, Gordon and Breach Science Publishers, 1998, pp.475
4. C.J. Baker, A.L.Hume. Multistatic Radar Sensing, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2003, Volume 18-2, pp.3-6
5. W. Beide. The Nature of Bistatic and Multistatic Radar, International Conference on Radar, 2001, pp.15-18
6. W.G. Nebabin. Methods and Techniques of Radar Recognition, Artech House, 1995, pp. 239
7. А.Л Горелик, В.А. Скрипкин. Селекция и распознавание на основе локационной информации, Москва, Радио и связь, 1990,-240с.
8. В.Я. Аверьянов. Разнесенные радиолокационные станции и системы, Минск, Наука и Техника, 1978, -250с.
9. А.К. Черемисов. Статистические характеристики эффективной площади рассеяния тела в бистатической радиолокации, Москва, Радиотехника и Электроника, 1987, N 12, с.2516-2524

10. J.I. Glaser Bistatic RCS of complex objects near forward scatter, IEEE Trans.AES,1985, N1, pp.70-78
11. Г.Л. Айвазян. Адаптивное управление сопровождением объектов в разнесенных РЛС при теновом рассеянии, Ереван, Европейская Академия: Сборник научных трудов, 2011, N1(01),с.156-165
12. В.О. Кобак. Радиолокационные отражатели, Москва, Сов.Радио, 1975, -248с.

**Գ.Լ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ**  
**ՏԱՐԱՆՁԱՏՎԱԾ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՑԻՈՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ**  
**ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**  
**ՍՏՎԵՐԱՅԻՆ ՑՐՄԱՆ ԴԵՊԵՈՒՄ**

**Ամփոփում**

Հոդվածում քննարկվում են ստվերային ցրման դեպքում տարանջատված ռադիոլոկացիոն համակարգերի ինֆորմացիոն հնարավորությունները: Գնահատվում են բիստատիկ համակարգերի ինֆորմացիոն հնարավորությունները կոնաձև և գլանաձև ռադիոլոկացիոն օբյեկտների համար:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս բիստատիկ համակարգի ինֆորմացիոն բնութագրիչի նկատելի աճ ցրման դիագրամայի ինչպես գլխավոր, այնպես էլ կողային տիրույթներում:

**Առանցքային բառեր.** *բիստատիկ ռադիոլոկացիա, բազմադիրքային ռադիոլոկացիա, ստվերային ցրում:*

**G.L. AYVAZYAN**  
**INFORMATIVENESS OF SEPARATED RADARS NEAR**  
**FORWARD SCATTER**

**Summary**

In this article information capabilities of separated radars near forward scatter are discussed. The information capabilities of bistatic systems for cylindrical and conical radar objects are estimated.

The obtained results show that there is significant increasing of the information index of bistatic system near the main and side-lobe scattering.

**Keywords:** *bistatic radar, multistatic radar, forward scatter*