

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТЛИЧИЯ НАБЛЮДАЕМОЙ ЦЕЛИ  
ОТ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ НА  
ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕЕ ПОЛОЖЕНИЯ В  
КАРТИННОЙ ПЛОСКОСТИ РЛС ПО ЭЛЕМЕНТАМ  
ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ**

д.т.н., проф. Е.Л. Казаков, к.т.н. А.Е. Казаков

*Предлагается способ определения ориентации не осесимметричной цели по поляризационной матрице рассеяния (ПМР) в картинной плоскости РЛС. Проведена его оценка по данным, полученным в ходе эксперимента.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время из всего класса аэродинамических, баллистических и космических целей только небольшое количество представляют собой по форме осесимметричные тела вращения. В связи с этим становится актуальной задача распознавания таких целей на основе анализа информации, которую несет переотраженный целью радиолокационный сигнал.

**Анализ литературы.** В различных публикациях [1, 2] рассматривались вопросы распознавания целей по информации, содержащейся в переотраженном целью сигнале для совмещенной РЛС. Для разнесенной РЛС рассматривались вопросы определения ориентации только осесимметричной цели [3] по измерениям положения оси симметрии цели в картинной плоскости каждой РЛС системы. Однако наличие на осесимметричной цели неоднородностей может привести к ошибкам определения положения преимущественной оси цели в картинной плоскости РЛС.

**Целью статьи** является анализ влияния имеющихся на цели неоднородностей на возможность определения ориентации цели в картинной плоскости РЛС.

**Основной материал.** Изложенные в [3] результаты справедливы при наблюдении целей, представляющих собой осесимметричные тела вращения. На практике количество таких целей весьма ограничено. У большинства целей на поверхности имеются неоднородности, которые делают их неосесимметричными. В качестве таких неоднородностей могут выступать различные антенны, фонарь кабины пилотов, сопла

двигателей и т.д. Все это приводит к тому, что при отражении от таких целей, например, линейно-поляризованных сигналов, их поляризация преобразуется в эллиптическую. Угол  $\Theta_d$ , который при измерении элементов ПМР в этом случае может быть определен в соответствии с [4], характеризует положение в картинной плоскости РЛС оси эллипса поляризации.

Имеющиеся на цели неоднородности в каждый момент времени приводят к существенному изменению ориентации эллипса поляризации в картинной плоскости РЛС. Следовательно необходимо проверить насколько отличается положение оси симметрии осесимметрической цели в картинной плоскости РЛС от соответствующего положения оси эллипса поляризации сигнала, отраженного от цели с неоднородностями.

Рассмотрим этот вопрос подробно на примере осесимметричной цели с прикрепленными к ней штырями.

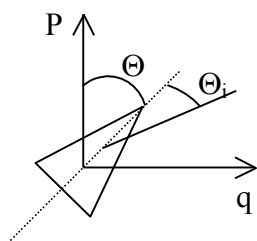


Рис. 1. Картинная плоскость РЛС

Пусть проекция оси симметрии цели на картинную плоскость РЛС расположена под углом  $\Theta$  относительно измерительного базиса РЛС, а положение проекции каждого штыря характеризуется углом  $\gamma_i$  (рис. 1), причем  $\gamma_i = \Theta + \Theta_i$ .

Отражающие свойства осесимметричной цели и каждого из прикрепленных к ней штырей можно характеризовать

ПМР в их собственном базисе, которые записываются в виде:

$$S_{ц} = \begin{pmatrix} \bar{S}_1 & 0 \\ 0 & \dot{S}_2 \end{pmatrix}; \quad S_{штi} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{1штi} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Тогда для получения ПМР цели со штырями согласно разработанной математической модели радиолокационной цели [5] необходимо преобразовать ПМР каждого из штырей в измерительный поляризационный базис РЛС и просуммировать все полученные ПМР. В этом случае не учитываются эффекты переотражения электромагнитных волн между штырями и осесимметричной целью.

Проведя указанные преобразования матриц, получим выражения для элементов поляризационной матрицы рассеяния цели со штырями в следующем виде:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{pp\cup\cup\cup} &= S_1 \cos^2 \Theta + S_2 \cos \varphi_2 \sin^2 \Theta + \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \cos \varphi_{1\cup\cup i} \cos^2(\Theta + \Theta_i) + \\
&+ j \left[ S_2 \sin \varphi_2 \sin^2 \Theta + \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \sin \varphi_{1\cup\cup i} \cos^2(\Theta + \Theta_i) \right]; \\
\dot{S}_{qq\cup\cup\cup} &= S_1 \sin^2 \Theta + S_2 \cos \varphi_2 \cos^2 \Theta + \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \cos \varphi_{1\cup\cup i} \sin^2(\Theta + \Theta_i) + \\
&+ j \left[ S_2 \sin \varphi_2 \cos^2 \Theta + \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \sin \varphi_{1\cup\cup i} \sin^2(\Theta + \Theta_i) \right]; \quad (2) \\
\dot{S}_{pq\cup\cup\cup} &= \frac{1}{2} \left[ (S_1 - S_2 \cos \varphi_2) \sin 2\Theta + \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \cos \varphi_{1\cup\cup i} \sin 2(\Theta + \Theta_i) \right] + \\
&+ j \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^N S_{1\cup\cup i} \sin \varphi_{1\cup\cup i} \sin 2(\Theta + \Theta_i) - S_2 \sin \varphi_2 \right],
\end{aligned}$$

где  $\varphi_2$  – разность фаз между элементами ПМР осесимметричной цели в собственном базисе;  $N$  – количество штырей на цели.

Подставив полученные величины элементов ПМР из (2) в выражение для угла, характеризующего положение в картинной плоскости РЛС эллипса поляризации, отраженного от цели со штырями сигнала [4]. Данное выражение имеет вид:

$$\text{tg} 2\Theta = - \frac{2 \operatorname{Re} \left[ (\dot{S}_{pp} + \dot{S}_{qp})^* \dot{S}_{qp} \right]}{\operatorname{Re} \left[ (\dot{S}_{pp} + \dot{S}_{qp})^* (\dot{S}_{pp} - \dot{S}_{qq}) \right]}, \quad (3)$$

где  $\dot{S}_{pp}, \dot{S}_{qq}$  – комплексные коэффициенты отражения на основных поляризациях;  $\dot{S}_{qp}$  – комплексные коэффициенты отражения на крессовой поляризации.

Произведя математические преобразования, получим:

$$\text{tg} 2\Theta_{\cup\cup\cup} = A \cdot \text{tg} 2\Theta, \quad (4)$$

где

$$A = \frac{B + \sum_{i=1}^N C_i \frac{\sin 2(\Theta + \Theta_i)}{\sin 2\Theta}}{B + \sum_{i=1}^N C_i \frac{\cos 2(\Theta + \Theta_i)}{\cos 2\Theta}}; \quad (5)$$

$$B = (S_1^2 - S_2^2) + S_1 \sum_{i=1}^N S_{1\text{лш}i} \cos \varphi_{1\text{лш}i} - S_2 \cos \varphi_2 \left( \sum_{i=1}^N S_{1\text{лш}i} \cos \varphi_{1\text{лш}i} + \sum_{i=1}^N S_{1\text{лш}i} \sin \varphi_{1\text{лш}i} \right);$$

$$C_i = \left( S_1 + S_2 \cos \varphi_2 + \sum_{j=1}^N S_{1\text{лш}j} \cos \varphi_{1\text{лш}j} \right) S_{1\text{лш}i} \cos \varphi_{1\text{лш}i} +$$

$$+ \left( S_2 \cos \varphi_2 + \sum_{j=1}^N S_{1\text{лш}j} \sin \varphi_{1\text{лш}j} \right) S_{1\text{лш}i} \sin \varphi_{1\text{лш}i} .$$

Из выражения (4) следует, что определяемое по ПМР цели со штырями положение в картинной плоскости оси эллипса поляризации отраженного сигнала зависит как от положения в этой плоскости оси симметрии цели без штырей, так и от расположения этих штырей по отношению к цели. Кроме того, оно также определяется соотношением между коэффициентами отражения непосредственно цели и штырей.

При рассмотрении космических целей, у которых неоднородности на поверхности слабо изменяют свое положение относительно цели и которые расположены равновероятно по отношению к оси симметрии цели, значение оценки угла  $\Theta_{\text{ц+шт}}$  будет практически совпадать со значением угла  $\Theta$ .

Этот вывод подтверждается результатами расчетов, проведенных в соответствии с выражением (5) при использовании теоретических и экспериментальных данных, а также результатами расчетов угла  $\Theta$  по выражению (3) при использовании элементов ПМР целей, измеренных методом физического моделирования [6].

Расчеты по выражению (5), выполненные для разного количества штырей, которые прикреплены к объекту конической формы, показали, что величины коэффициента  $A$  в этом выражении находятся в пределах от 0,9 до 1. Следовательно, значение угла  $\Theta_{\text{ц+шт}}$  в выражении (4) совпадают с углом  $\Theta$ .

В табл. 1 показаны рассчитанные по экспериментальным данным в соответствии с (3) значения угла  $\Theta$  в градусах при наблюдении одинаково ориентированных по отношению к РЛС конуса и конуса со штырями (рис. 2).

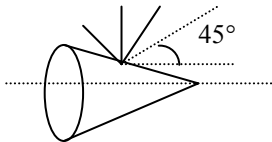


Рис. 2. Конус со штырями

Анализ данных табл. 1 подтверждает вывод о том, что значения угла  $\Theta_{\text{ц+шт}}$ , измеренного по цели со штырями, практически совпадает со значениями угла  $\Theta$  для этой же цели без штырей при одинаковой ориентации.

Таблица 1

Значения угла  $\Theta$  при наблюдении одинаково ориентированных целей

Конус	Угол $\Theta$ (град.)								
	3,8	4,1	4,9	8	10	20	28	30	32
Конус со штырями	3,9	4,5	6	8	8	20	24	26	29

**Вывод.** Проведенные оценки показали, что рассмотренный способ определения ориентации цели по ПМР в картинной плоскости РЛС справедлив как для осесимметричных, так и для неосесимметричных целей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн. Под ред. А.Л. Горелика. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.*
2. *Васильев В.Н. Распознающие системы. – К.: Наук. думка, 1983. – 422 с.*
3. *Казаков Е.Л., Казаков А.Е. Способ определения ориентации осесимметричной цели при измерении поляризационной матрицы рассеяния в нескольких пунктах наблюдения // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 2. – С. 174 – 178.*
4. *Казаков Е.Л. Радиолокационное распознавание космических объектов по поляризационным признакам. – Одесса: Институт управления и менеджмента, 1999. – 230 с.*
5. *Казаков Е.Л. Статистическая модель радиолокационной цели в сантиметровом диапазоне волн с учетом поляризационных свойств цели на многих частотах. – Радиотехника, 1976. – Т. 31. – № 4. – С. 45 – 49.*
6. *Справочные материалы по ПМР радиолокационных целей / Приложение к итоговому отчету о НИР "Контур". – Х.: ВИРТА, 1980. – 36 с.*

Поступила 9.06.2003

**КАЗАКОВ Евгений Леонидович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1958 году окончил АРТА СА им. Л.А. Говорова. Область научных интересов – распознавание различных классов радиолокационных целей.

**КАЗАКОВ Александр Евгеньевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1994 году окончил ВИРТА ПВО им. Л.А. Говорова. Область научных интересов – радиолокационное распознавание объектов.