

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕОРТОГОНАЛЬНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БАЗИСА НА ТОЧНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛЕЙ

к.т.н. А.Е. Казаков  
(представил д.т.н., проф. Е.Л. Казаков)

Приведена оценка влияния неортогонального поляризационного измерительного базиса (ПИБ) радиолокационной станции (РЛС) с разнесенным приемом на точность измерения элементов поляризационной матрицы рассеяния (ПМР) целей. Проанализированы полученные величины ошибок амплитудных и фазовых элементов ПМР.

В РЛС, измеряющих элементы ПМР цели или отдельные ее элементы, для получения высокой точности измерений необходимо обеспечить при измерении и приеме сигнала заданный поляризационный базис, в частности он должен быть ортогональным. Однако, в силу ряда технических причин при излучении и приеме имеет место прохождение сигнала из одного канала в другой. В результате этого появляется искажение ПИБ, в котором производится измерение элементов ПМР цели, обусловленное наличием углов неортогональности и эллиптичности базиса. Это приводит к появлению дополнительных ошибок в определении данных элементов. Поэтому возникает необходимость в оценке величин ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния искажения ПИБ. В данной статье рассматривается влияние неортогональности ПИБ (рис. 1) на точность измерения элементов ПМР цели. В [1] получены выражения, позволяющие в первом приближении оценить

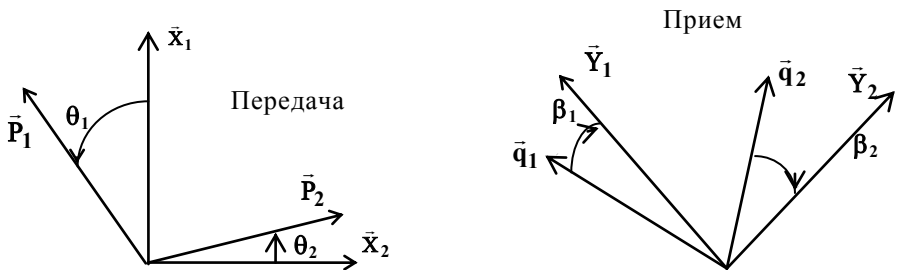


Рис.1. Неортогональный ПИБ

составляющие ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния искажения базиса в РЛС с совмещенным приемом. Для РЛС с разнесенным при-

емом в случае искажения ПИБ необходимо рассматривать более общий случай на основе описания воздействия различных элементов РЛС на излучаемый и принимаемый сигнал. В соответствии с [1] были получены значения элементов ПМР цели в неортогональном ПИБ РЛС с разнесенным приемом в виде

$$\mathbf{S}_H^{(q,p)} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11}^{(y,x)} \cos \beta_1 \cos \theta_1 + \dot{S}_{21}^{(y,x)} \sin \beta_1 \cos \theta_1 + \dot{S}_{12}^{(y,x)} \cos \beta_1 \sin \theta_2 + \dot{S}_{22}^{(y,x)} \sin \beta_1 \sin \theta_2 \\ -\dot{S}_{11}^{(y,x)} \sin \beta_2 \cos \theta_1 + \dot{S}_{21}^{(y,x)} \cos \beta_2 \cos \theta_1 - \dot{S}_{12}^{(y,x)} \sin \beta_2 \sin \theta_2 + \dot{S}_{22}^{(y,x)} \cos \beta_2 \sin \theta_2 \\ -\dot{S}_{11}^{(y,x)} \cos \beta_1 \sin \theta_1 - \dot{S}_{21}^{(y,x)} \sin \beta_1 \sin \theta_1 + \dot{S}_{12}^{(y,x)} \cos \beta_1 \cos \theta_2 + \dot{S}_{22}^{(y,x)} \sin \beta_1 \cos \theta_2 \\ \dot{S}_{11}^{(y,x)} \sin \beta_2 \sin \theta_1 - \dot{S}_{21}^{(y,x)} \cos \beta_2 \sin \theta_1 - \dot{S}_{12}^{(y,x)} \sin \beta_2 \cos \theta_2 + \dot{S}_{22}^{(y,x)} \cos \beta_2 \cos \theta_2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{S}^{(q,p)}$ ,  $\mathbf{S}^{(y,x)}$  - ПМР цели в неортогональном и ортогональном поляризаационных базисах соответственно;  $\beta_1, \beta_2$  - углы неортогональности базиса приемной антенны;  $\theta_1, \theta_2$  - углы неортогональности базиса передающей антенны.

Анализ (1) показывает, что в каждом элементе данной ПМР цели присутствуют все элементы, измеренные в ортогональном базисе, с учетом воздействия на них характеристик реального поляризаационного базиса РЛС с разнесенным приемом. Это приведет к ошибкам получения каждого из этих элементов при отсутствии информации о величинах характеристик неортогонального базиса. Получим выражения для ошибок определения амплитуд и разностей фаз элементов ПМР в зависимости от влияния характеристик неортогонального базиса РЛС. Рассмотрим случай, когда излучение сигнала происходит на одной поляризации, а прием производится на двух составляющих отраженного сигнала, так как при излучении второй поляризации методика оценки ошибок сохраняется. Так как элементы ПМР в выражении (1) являются комплексными, то формулы для каждого амплитудного и фазового элемента ПМР в неортогональном базисе РЛС могут быть представлены в виде:

$$\left| \dot{S}_{ij}^{(q,p)} \right| = \sqrt{\left[ \operatorname{Re} \left( \dot{S}_{ij}^{(q,p)} \right) \right]^2 + \left[ \operatorname{Im} \left( \dot{S}_{ij}^{(q,p)} \right) \right]^2}; \quad \varphi_{ij}^{(q,p)} = \arctg \frac{\operatorname{Im} \dot{S}_{ij}^{(q,p)}}{\operatorname{Re} \dot{S}_{ij}^{(q,p)}}, \quad (2)$$

где  $\dot{S}_{ij}^{(q,p)}$  - соответствующий элемент поляризаационной матрицы рассеяния.

Формулы для вычисления относительных ошибок определения амплитудных элементов ПМР и ее фазовых элементов, в предположении, что должна определяться ПМР с относительной фазой представляются как:

$$\delta S_{ij} = \frac{\left| S_{ij}^{(q,p)} - S_{ij}^{(y,x)} \right|}{S_{ij}^{(y,x)}} \cdot 100\%; \quad \delta \varphi_{ij}^{(q,p)} = \varphi_{ij}^{(q,p)} - \varphi_{12}^{(q,p)} - \Delta \varphi_{ij}^{(y,x)}, \quad (3)$$

где  $\Delta\varphi_{ij}^{(y,x)}$  - разность фаз между элементами ПМР в ортогональном базисе РЛС.

Рассмотрим величины ошибок амплитудных элементов ПМР. Для этого запишем выражения для их вещественной и мнимой части из (1). Полагаем, что углы неортогональности поляризационного базиса РЛС не превышают  $10^\circ$ . Тогда величины, содержащие произведения синусов этих углов, можно положить близкими к нулю, а ошибка определения амплитуды первого основного элемента ПМР цели в неортогональном базисе РЛС с разнесенным приемом, с учетом (2) равна

$$\delta \dot{S}_{11}^{(q,p)} = \left[ \sqrt{\cos^2 \beta_1 \cos^2 \theta_1 + \mu + 2\xi_2 \cos \beta_1 \sin \beta_1 \cos^2 \theta_1 \sin \Delta\varphi_{11}^{(y,x)} \sin \Delta\varphi_{21}^{(y,x)}} - 1 \right] \cdot 100\%,$$

$$\text{где } \mu = 2 \cos \beta_1 \cos \theta_1 \cos \Delta\varphi_{11}^{(y,x)} (\xi_1 \sin \beta_1 \cos \theta_1 \cos \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} + \xi_2 \cos \beta_1 \sin \theta_2).$$

Из анализа полученных выражений следует, что на их величину существенное влияние оказывает непосредственно отношение амплитуд кроссового элемента ПМР к амплитуде ее основного элемента, определяемых в ортогональном базисе РЛС. Для получения численных значений ошибок рассмотрим случай, когда выполнены условия: разность фаз между элементами ПМР цели в ортогональном базисе РЛС  $\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{22}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} = 0$ ; углы неортогональности  $\beta_1 = \theta_1 = 5^\circ$ ;  $\beta_2 = \theta_2 = 0^\circ \div 10^\circ$ ;  $\xi_1 = \xi_3 = 0,5$ ;  $\xi_2 = \xi_4 = 0,3$ . Графики зависимостей для данного примера в соответствии с (3) приведены на рис. 2 (1 -  $\delta \dot{S}_{11}^{(q,p)}$ ; 2 -  $\delta \dot{S}_{12}^{(q,p)}$ ; 3 -  $\delta \dot{S}_{21}^{(q,p)}$ ; 4 -  $\delta \dot{S}_{22}^{(q,p)}$ ).

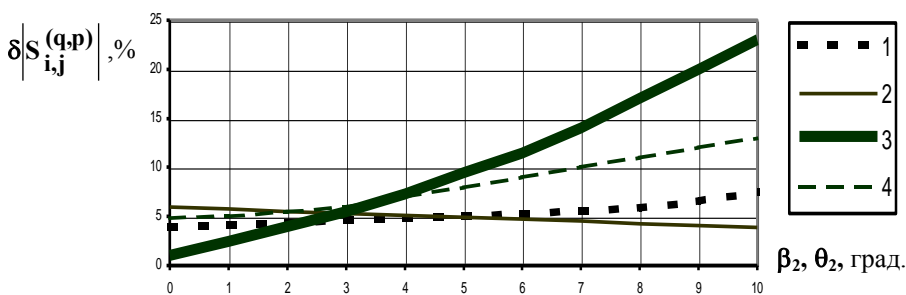


Рис.2. Зависимости ошибок амплитудных элементов ПМР от угла неортогональности ПИБ

Анализ данных зависимостей показывает: относительная ошибка определения амплитуды первого и второго основных элементов с ростом углов неортогональности монотонно возрастает и достигает значи-

тельных величин; относительная ошибка определения амплитуды второго крессового элемента с ростом углов неортогональности возрастает и уже при  $\beta_2 = \theta_2 = 5^\circ$  превышает 10%; наибольшая ошибка вносится вторым основным и вторым крессовым элементами. На основе изложенного выше получим выражения для оценки ошибок определения разности фаз между элементами поляризационной матрицы рассеяния цели в неортогональном ПИБ РЛС с разнесенным приемом. При этом учитывалось, что рассматривается ПМР с относительной фазой, в которой значения разностей фаз определяются относительно крессового элемента  $\hat{S}_{12}^{(y,x)}$ . Для получения численных значений ошибок полученные выражения подставим в (3) и рассмотрим случай, когда  $\Delta\varphi_{11}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{22}^{(y,x)} = \Delta\varphi_{21}^{(y,x)} = 90^\circ$ ;  $\beta_2 = \theta_2 = 5^\circ$ ;  $\beta_1 = \theta_1 = 0^\circ \div 10^\circ$ ;  $\xi_2 = 0,3$ ;  $\xi_4 = 0,7$ ;  $\xi_5 = 0,8$ . Графики зависимостей для данного примера приведены на рис. 3 (1 -  $\delta\varphi_{11}^{(q,p)}$ ; 2 -  $\delta\varphi_{21}^{(q,p)}$ ; 3 -  $\delta\varphi_{22}^{(q,p)}$ ). Анализ данных зависимостей показывает, что при увеличении углов неортогональности ошибки определения разности фаз увеличиваются и при  $\beta_1 = \theta_1 = 6^\circ$  для данного примера они превышают  $10^\circ$ , а наибольшая ошибка вносится фазовым элементом  $\varphi_{22}^{(q,p)}$ .

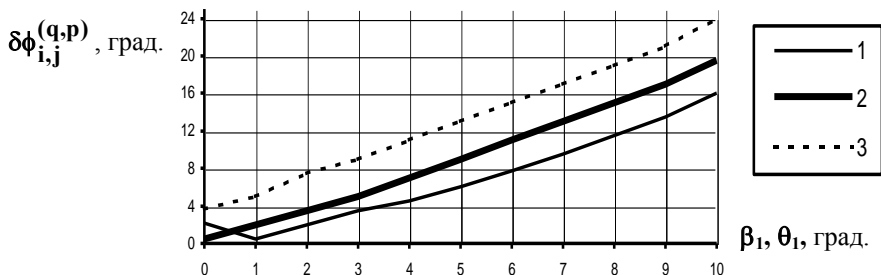


Рис.3. Зависимости ошибок фазовых элементов от угла неортогональности ПИБ

Итак, проведенные предварительные оценки значений ошибок определения элементов ПМР цели за счет влияния неортогональности ПИБ РЛС с разнесенным приемом для заданных значений разности фаз и отношений амплитуд, доказывают необходимость по проведению соответствующей калибровки трактов РЛС и компенсации данных ошибок. Уточнение этих ошибок возможно непосредственно по экспериментальным данным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Е. Л., Рыжов Д. Н. Влияние параметров радиолокационных измерителей на точность измерения поляризационных характеристик цели // Радиотехника. – 1981. – Т. 36, №11. – С. 50 - 52.

*Поступила в редколлегию 5.03.2001*

---