

УДК 621.396.96

*Н.В. Сотникова, Ю.В. Петров*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА КРЕНА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ПЕЛЕНГАЦИОННУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

*Рассмотрен моноимпульсный режим работы бортового радиолокатора, исследовано влияние крена самолета на пеленгационные характеристики антенной решетки эллиптической формы. Показано, что при крене происходит смещение нуля и изменение крутизны пеленгационной характеристики.*

**Введение.** Одна из задач современных бортовых радиолокаторов - это определение угловых координат радиолокационных целей. Решение этой задачи обеспечивается моноимпульсным режимом работы локатора, при котором отраженный импульс дает полную информацию об угловом положении цели. При этом источником угловой информации являются диаграммы направленности (ДН) моноимпульсной антенной системы. Угловая информация извлекается в процессе сравнения и обработки принятых сигналов [1].

При эллиптической форме антенной решетки (АР) ДН антенной системы будут различны в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Тогда при маневрировании летательного аппарата (ЛА) (изменении угловой ориентации) пеленгационные характеристики могут изменяться. Это приведет к уменьшению точности пеленгации и срыву сопровождения радиолокационных целей. Как показали предварительные исследования, основное влияние на искажение пеленгационных характеристик системы оказывает угол крена самолета.

**Цель работы.** Целью работы является анализ влияния угла крена ЛА на пеленгационную характеристику моноимпульсной системы в угломестной плоскости.

**Теоретические исследования.** Рассмотрим схему образования сигналов в моноимпульсных системах.

Пусть на борту ЛА имеется антенная система, состоящая из АР эллиптической формы, четырех волноводных мостов, и на ее выходе

формируются три канала: суммарный, разностный азимутальный и разностный угломестный. АР конструктивно разделена на 4 сектора, т.е. состоит из четырех приемоизлучателей, расположена в носовой части ЛА и жестко связана с его корпусом.

В АР происходит формирование четырех сигналов, каждый из которых описывается соотношением

$$\dot{S}_i(\alpha_i, \beta_i, t) = \iint \frac{1}{\sigma 4\pi R_i^2} \cdot G_\Sigma(\alpha, \beta) \cdot G_i(\alpha_i, \beta_i) \times \\ \times A(x_0, y_0, h(x_0, y_0)) \cdot e^{-j2kR_i} \cdot dx_0 dy_0,$$

где  $G_\Sigma(\alpha, \beta)$  – пространственная диаграмма направленности АР (на излучение);  $\alpha, \beta$  – углы азимута и места конкретной отражающей точки внутри ДН на излучение;  $G_i(\alpha_i, \beta_i)$  – пространственная диаграмма направленности  $i$ -го приемоизлучателя (на прием);  $\alpha_i, \beta_i$  – углы азимута и места конкретной отражающей точки внутри ДН на прием;  $A(x_0, y_0, h(x_0, y_0))$  – функция, характеризующая отражающие свойства подстилающей поверхности;  $h(x_0, y_0)$  – функция геометрического рельефа;

$R_i = \sqrt{(X_i - x_0)^2 + (Y_i - y_0)^2 + (Z_i - z_0)^2}$  – расстояние от  $i$ -го приемоизлучателя до элемента поверхности с координатами  $x_0, y_0, z_0$ ;  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты  $i$ -го приемоизлучателя;  $k=2\pi/\lambda$  – волновое число;  $\sigma$  – площадь просматриваемого участка поверхности.

Сигналы в суммарном, разностном азимутальном и разностном угломестном каналах будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \dot{S}_\Sigma(\alpha, \beta, t) &= \dot{S}_1(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_2(\alpha_i, \beta_i, t) + \\ &+ \dot{S}_3(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_4(\alpha_i, \beta_i, t); \\ \dot{S}_{\Delta_{аз}}(\alpha, \beta, t) &= (\dot{S}_1(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_3(\alpha_i, \beta_i, t)) - \\ &- (\dot{S}_2(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_4(\alpha_i, \beta_i, t)); \\ \dot{S}_{\Delta_{ум}}(\alpha, \beta, t) &= (\dot{S}_1(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_2(\alpha_i, \beta_i, t)) - \\ &- (\dot{S}_3(\alpha_i, \beta_i, t) + \dot{S}_4(\alpha_i, \beta_i, t)), \end{aligned}$$

где  $\dot{S}_\Sigma(\alpha, \beta, t)$  - сигнал в суммарном канале моноимпульсной системы;  $\dot{S}_{\Delta_{аз}}(\alpha, \beta, t)$  - сигнал в разностном азимутальном канале моноимпульсной системы;  $\dot{S}_{\Delta_{ум}}(\alpha, \beta, t)$  - сигнал в разностном угломестном канале моноимпульсной системы.

Так как АР жестко связана с корпусом ЛА, то при его маневрировании (изменении угловой ориентации) координаты приемопередатчиков изменяются. Это приводит к искажению принимаемых сигналов

$$\begin{aligned} \dot{S}_i^\gamma(t) &= \iint \frac{1}{\sigma 4\pi R_i^{\gamma 2}} \cdot G^\gamma_\Sigma(\alpha, \beta) \cdot G^\gamma_i(\alpha_i, \beta_i) \times \\ &\times A(x_0, y_0, h(x_0, y_0)) \cdot e^{-j2kR_i^\gamma} \cdot dx_0 dy_0, \end{aligned}$$

где  $G^\gamma_\Sigma(\alpha_\Sigma, \beta_\Sigma)$  - пространственная диаграмма направленности антенной решетки на излучение при крене ЛА;  $G^\gamma_i(\alpha_i, \beta_i)$  - пространственная диаграмма направленности  $i$ -го приемопередатчика на прием при крене ЛА;  $R_i^\gamma$  - расстояние от  $i$ -го приемопередатчика до элемента поверхности при крене.

При этом  $G^\gamma_\Sigma(\alpha, \beta) = G_\Sigma(\alpha^\gamma, \beta^\gamma)$ ,  $G^\gamma_i(\alpha, \beta) = G_i(\alpha_i^\gamma, \beta_i^\gamma)$ , где  $\alpha^\gamma, \beta^\gamma$  - углы азимута и места внутри ДН антенны на излучение при крене;  $\alpha_i^\gamma, \beta_i^\gamma$  - углы азимута и места для каждого приемопередатчика при крене.

В соответствии с правилом преобразования координат [2] при крене ЛА значения углов внутри ДН антенны изменятся следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \alpha^\gamma \\ \beta^\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}.$$

Отметим, что будет меняться и значение пространственной диаграммы направленности каждого приемопередатчика  $G_i$  в направлении  $\alpha_i, \beta_i$ . Влияние угла крена на амплитудные диаграммы направленности АР, модель которых представлена в виде функции

$$G(\alpha, \beta) = \frac{|\sin(A \cdot \alpha)| \cdot |\sin(B \cdot \beta)|}{|A \cdot \alpha| \cdot |B \cdot \beta|},$$

где  $A, B$  - коэффициенты, характеризующие направленные свойства антенны [3]. Например, на рисунке 1 показан поворот ДН антенной системы в разностном угломестном канале при угле крена -30 градусов.

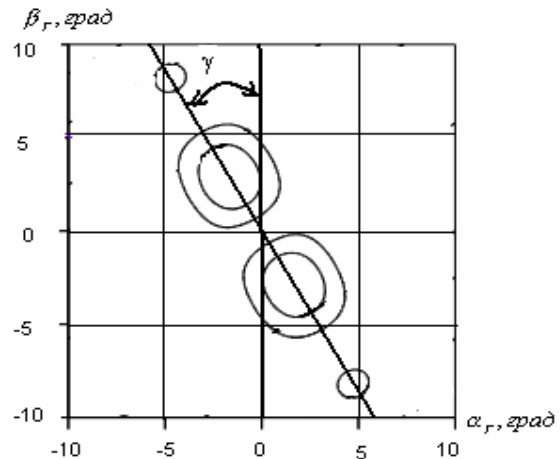


Рисунок 1 – Контурная модель амплитудной ДН антенны в разностном угломестном канале при крене ЛА -30 градусов

Фазы сигналов  $e^{-j2kR_i^\gamma}$  зависят от расстояния между центрами приемопередатчиков и элементами поверхности, а так как координаты приемопередатчиков при крене изменяются, то и расстояние также изменится.

Таким образом, изменение пространственной ориентации ЛА приводит к амплитудным (из-за изменения  $G_i(\alpha_i, \beta_i)$ ) и фазовым (из-за изменения  $R_i$ ) искажениям принимаемых сигналов АР.

Пеленгационная характеристика эллиптической антенной решетки в угломестной плоскости в общем случае представляет собой отношение разностного сигнала к суммарному

$$PH(\alpha, \beta) = \frac{\dot{S}_{\Delta_{ум}}(\alpha, \beta, t)}{\dot{S}_\Sigma(\alpha, \beta, t)}. \quad (1)$$

Так как величины, входящие в (1), при крене изменяются, то происходит искажение и самой пеленгационной характеристики:

$$PH^\gamma(\alpha, \beta) = \frac{\dot{S}_{\Delta_{ум}}^\gamma(\alpha, \beta, t)}{\dot{S}_\Sigma^\gamma(\alpha, \beta, t)},$$

где  $\dot{S}_{\Delta_{ум}}^\gamma(\alpha, \beta, t)$  - значение разностного угломестного сигнала при крене ЛА,  $\dot{S}_\Sigma^\gamma(\alpha, \beta, t)$  - значение суммарного сигнала при крене.

Оценка влияния угла крена на пеленгационную характеристику системы в угломестной плоскости проводилась при фиксированных значениях угла азимута в пределах ширины диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости.

Пеленгационные характеристики строились в диапазоне изменения угла места от  $-2^{\circ}$  до  $2^{\circ}$ .

Исходными данными для построения пеленгационных характеристик были: ширина ДН в азимутальной плоскости  $\theta_{аз} = 2^{\circ}$ ; ширина ДН в угломестной плоскости  $\theta_{ум} = 3^{\circ}$ ; длина волны  $\lambda = 0,03$  м; дальность до цели  $R = 50000$  м; углы визирования в горизонтальной плоскости  $\alpha_n = 0$  и вертикальной плоскости  $\beta_n = -10^{\circ}$ .

На рисунке 2 приведены семейства пеленгационных характеристик при углах азимута  $-1^{\circ}$  и  $+1^{\circ}$  и крена:  $-45^{\circ}, -30^{\circ}, -15^{\circ}, 0, +15^{\circ}, +30^{\circ}, +45^{\circ}$ .

Для количественной оценки результатов моделирования были выбраны следующие критерии, характеризующие пеленгационную характеристику.

1) Смещение нуля пеленгационной характеристики

$$\Delta\beta = \beta - \beta_0,$$

где  $\beta_0$  – оценка положения нуля пеленгационной характеристики без крена самолета (в градусах);  $\beta$  – оценка положения нуля пеленгационной характеристики при крене самолета (в градусах).

2) Средняя крутизна пеленгационной характеристики на линейном участке:

$$m = \frac{PH_1 - PH_N}{N \cdot \Delta\eta},$$

где  $PH_1, PH_N$  – первый и последний отсчеты пеленгационной характеристики на линейном участке;

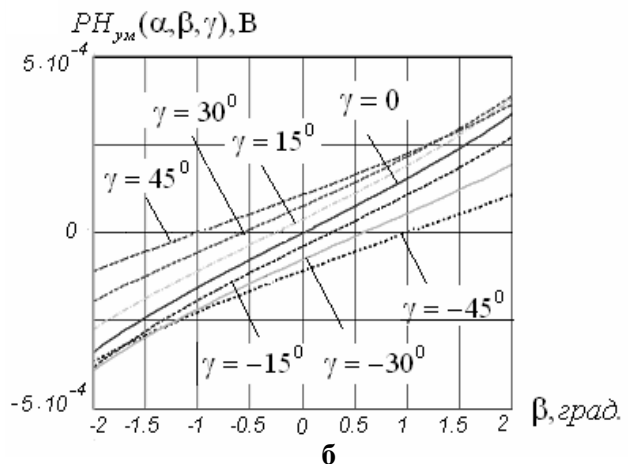
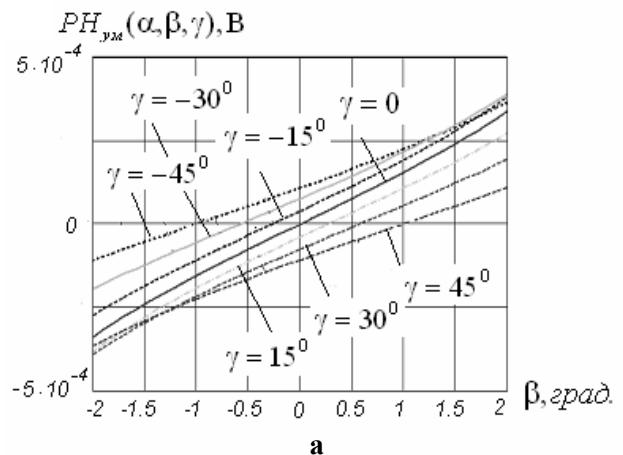
$\Delta\eta$  – шаг дискретизации по углу места;

$N$  – количество дискретов пеленгационной характеристики на линейном участке.

**Выводы.** 1. При положительных значениях угла азимута в пределах диаграммы направленности и положительных углах крена величина смещения пеленгационной характеристики положительна ( $\Delta\beta > 0$ ), при отрицательных углах крена – отрицательна ( $\Delta\beta < 0$ ).

2. При отрицательных значениях угла азимута в пределах диаграммы направленности и положительных углах крена величина смещения пеленгационной характеристики отрицательна ( $\Delta\beta < 0$ ), при отрицательных углах крена – положительна ( $\Delta\beta > 0$ ).

3. Максимальная величина смещения нуля



**Рисунок 2 – Семейство пеленгационных характеристик: а - при угле азимута  $+1^{\circ}$ ; б - при угле азимута  $-1^{\circ}$**

пеленгационной характеристики в исследованном диапазоне составляет  $|\Delta\beta| = 1^{\circ}$  при значении угла азимута  $|\alpha| = 1^{\circ}$  и крене  $|\gamma| = 45^{\circ}$ .

4. При появлении крена происходит уменьшение крутизны пеленгационной характеристики по сравнению со значением, полученным без крена. Например, без крена крутизна составляет  $m = 3,0$  мВ/град., а при крене  $|\gamma| = 45^{\circ}$  крутизна изменяется до  $m = 2,2$  мВ/град.

**Возможность практического применения результатов работы.** Информация о пеленгационной характеристике антенной моноимпульсной системы применяется при решении ряда прикладных задач на борту самолета. Примером может послужить угломестная оценка рельефа местности бортовым радиолокатором.

Если пеленгационная характеристика искажается, то появятся ошибки при измерении рельефа. Следовательно, зная величину смещения нуля и изменения крутизны пеленгационной характеристики при крене, можно: 1) проанализировать ошибки измерения рельефа, вызванные искажением пеленгационной характеристики

при крене; 2) разработать алгоритмы коррекции пеленгационной характеристики.

**Библиографический список**

1. *Леонов А.И., Фомичев К.И.* Моноимпульсная радиолокация. - М.: Сов. Радио, 1970. - 392 с.

2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Перевод со

второго американского издания. /Под общей редакцией И.Г. Арамановича - М.: Наука, 1974. - 831 с.

3. *Петров Ю.В., Сотникова Н.В., Вишенцев М.В.* Влияние крена самолета на пеленгационную характеристику суммарно-разностного канала бортовой РЛС. // Сборник трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ, 2005, Вып.3. С.14-18.