

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК.621.396.61

Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.Л. Костенко, В.Г. Карев, А.П. Кулик

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

РАСШИРЕНИЕ ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ МОНОИМПУЛЬСНОЙ РЛС АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ПОСАДКИ САМОЛЕТА С РЕАЛИЗАЦИЕЙ АМПЛИТУДНОЙ ОБРАБОТКИ И ДОПЛЕРОВСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОТРАЖЕНИЙ

В работе анализируется целесообразность расширения угловой зоны действия моноимпульсных РЛС автосопровождения посадки самолета с реализацией амплитудной обработки и оптимальной доплеровской фильтрации отраженных импульсов путем сложения радиоимпульсов соответствующих пар основных лепестков диаграммы направленности на прием в каждой плоскости. Уточнен алгоритм работы измерителей угловых координат по значениям амплитуд накопленных в доплеровских фильтрах соответствующей пары суммарных импульсов.

Ключевые слова: моноимпульсная радиолокационная станция, автосопровождение, равносигнальное направление, доплеровская фильтрация, диаграмма направленности.

Введение

Постановка проблемы. Существенным недостатком моноимпульсной РЛС (МРЛС) автосопровождения (АС) самолета на этапе посадки с реализацией амплитудной обработки и доплеровской фильтрации отражений является малые размеры зоны АС по сравнению с зоной обнаружения локатора. Поэтому расширение угловой зоны АС такого локатора является актуальной задачей.

Анализ последних публикаций. В статье [1] проанализирована возможность и условия реализации в МРЛС АС в зоне посадки амплитудного или суммарно-разностного способов обработки и доплеровской фильтрации отраженных импульсов в приемных трактах. В работе [2] предложены два варианта построения МРЛС АС с такой обработкой и фильтрацией. В статье [3] предложена схема построения и алгоритмы работы МРЛС АС с реализацией амплитудного способа обработки сигналов.

Цель статьи. Проанализировать возможность и целесообразность расширения зоны АС по углам МРЛС АС посадки самолета с реализацией амплитудной обработки и доплеровской фильтрации отраженной в адаптивных когерентных накопителях. Обосновать возможность использования измеренных координат дальности вне зоны АС по углам для ввода самолета в зону АС.

1. Принцип расширения угловой зоны

В работах [2, 3] рассматриваются МРЛС АС посадки самолетов, антенна которых представляет собой параболический отражатель и две пары рупорных облучателей, расположенных в каждой плоскости с угловым смещением относительно рав-

носигнального направления (РСН) в половину ширины одного лепестка ДН (рис. 1а). На рис. 1, б представлено сечение четырех основных лепестков ДН плоскостью, перпендикулярной к РСН.

В этом случае сектора совместного облучения углов места $\Delta\varepsilon_{\text{со}}(\beta)$ лепестками, смещенными по курсу, и облучения углов курса $\Delta\beta_{\text{со}}(\varepsilon)$ лепестками, смещенными по углу места, связаны с шириной лепестков $\varepsilon_{\text{л}}$ и $\beta_{\text{л}}$ (рис. 1б) соотношениями:

$$\Delta\varepsilon_{\text{со}}(\beta) = \sqrt{3}\varepsilon_{\text{л}}, \Delta\beta_{\text{со}}(\varepsilon) = \sqrt{3}\beta_{\text{л}}. \quad (1)$$

При этом в зоне обнаружения остаются четыре зоны (по два в каждой плоскости) облучения одним лепестком $\Delta_1(\beta)$, $\Delta_2(\beta)$, разнесенных в плоскости курса, и $\Delta_3(\varepsilon)$, $\Delta_4(\varepsilon)$, разнесенных в плоскости угла места. Угловые размеры этих зон связаны с размерами лепестков приближенным выражением:

$$\Delta_1(\beta) = \Delta_2(\beta) = \Delta_3(\varepsilon) = \Delta_4(\varepsilon) \approx \frac{\sqrt{3}}{2}(\beta_{\text{л}} \times \varepsilon_{\text{л}}). \quad (2)$$

Из иллюстраций (рис. 1, в) видно, что в случае обнаружения самолета каким-либо одним лепестком можно однозначно определять сторону углового смещения РСН для того, чтобы самолет оказался в секторах $\Delta\beta_{\text{со}}(\varepsilon)$, $\Delta\varepsilon_{\text{со}}(\beta)$ и был взят на АС. Очевидно, что такая возможность сохраняется в случае облучения самолета двумя лепестками, но смещенными в разных плоскостях. Зоны такого облучения на рис. 1, б представлены не заштрихованными площадями. В этом случае имеется возможность определять стороны поворота антенны в двух плоскостях. Очевидно, что в этих случаях необходимо сформировать соответствующие управляющие напряжения для дви-

гателей поворота антенн без вычисления координат. Такое использование факта обнаружения самолета можно предусмотреть в алгоритме работы измерителя координат. В этом случае облегчается работа оператора по вводу самолета в зону АС.

В зоне совместного облучения четырьмя лепестками $\Delta\varepsilon, \beta_{\text{со}}$ решается задача автоматического измерения координат самолета в двух плоскостях (задача АС). Как видно из рис. 1б ее размеры связаны с размерами лепестков приближенным выражением:

$$\Delta\varepsilon, \beta_{\text{со}} \approx \frac{\pi}{4} \varepsilon_{\text{л}} \times \beta_{\text{л}}. \quad (3)$$

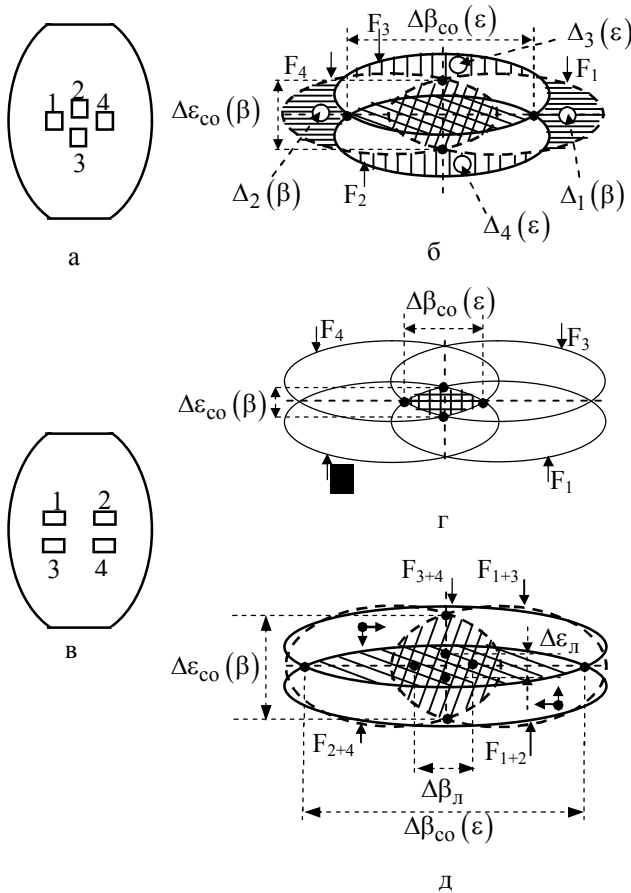


Рис. 1. К принципу расширения угловой зоны действия МРЛС АС

Желательно размеры зоны (3) увеличить в интересах надежности АС. Для ее увеличения можно реализовывать суммарно-разностный метод обработки сигналов [1]. Однако при этом усложняется его аппаратная реализация. В этой связи предлагается другой способ расширения зоны АС. Кроме этого предлагается увеличить размеры зон (1) и уменьшить размеры зон (2) в интересах надежности ввода самолета в зону АС. Принцип такого изменения размеров перечисленных зон иллюстрируется на рис. 1, г и на рис. 1, д. А именно для расширения угловых секторов совместного облучения лепестками ДН МРЛС предлагается другое размещение облучателей (рис. 1, в). Тогда изменятся положение лепестков ДН (рис. 1, г). В результате

суммирования соответствующих пар лепестков (рис. 1, д) достигается желаемый результат.

Из иллюстраций на рис. 1, г видно, что в этом случае увеличивается зона облучения хотя бы одним из четырех лепестков, но существенно уменьшается зона совместного облучения парами лепестков. Можно доказать, что сектора совместного облучения связаны с шириной лепестков $\varepsilon_{\text{л}}$ и $\beta_{\text{л}}$ соотношениями:

$$\Delta\varepsilon_{\text{со}}(\beta) = (\sqrt{3}-1)\varepsilon_{\text{л}}, \Delta\beta_{\text{со}}(\varepsilon) = (\sqrt{3}-1)\beta_{\text{л}}.$$

Однако путем суммирования соответствующих пар лепестков (рис. 1, д) эти сектора увеличиваются в 1,5 раза по сравнению с (1), а размеры секторов (2) близки к нулю. Это связано с расширением в 1,5 раза суммарных лепестков по отношению к одному исходному лепестку.

2. Алгоритм расширения зоны АС самолета по угловым координатам

Уточним алгоритм работы измерителей угловых координат по сигналам, принятым суммарными лепестками. Для этого получим выражения, описывающие зависимость измеряемых углов $\beta_{\text{с}}, \varepsilon_{\text{с}}$ от амплитуд импульсов соответствующих лепестков. Для вывода таких зависимостей опишем каждый исходный лепесток ДН в одной плоскости выражением [1]:

$$F(\theta_{\text{с}} \pm \theta_{\text{о}}) = \frac{\sin(\pi(1/\theta_{\text{л}})(\theta_{\text{с}} \pm \theta_{\text{о}}))}{\pi(1/\theta_{\text{л}})(\theta_{\text{с}} \pm \theta_{\text{о}})} \quad (4)$$

где $\theta_{\text{л}}(\beta_{\text{л}}, \varepsilon_{\text{л}})$ – ширина основных лепестков;

$\theta_{\text{о}}(\beta_{\text{о}}, \varepsilon_{\text{о}})$ – угол отклонения оси симметрии основного лепестка от РСН.

При выполнении условия $\theta_{\text{о}} = \theta_{\text{л}}/2$ последнее выражение преобразовывается к виду:

$$F\left(\theta_{\text{с}} \pm \frac{\theta_{\text{л}}}{2}\right) = \frac{\pm \cos(\pi\theta_{\text{с}}/\theta_{\text{л}})}{(\pi/\theta_{\text{л}}) \cdot (\theta_{\text{с}} \pm 0,5)}. \quad (5)$$

Для измерения двух углов $\beta_{\text{с}}, \varepsilon_{\text{с}}$ самолета по значениям амплитуд импульсов соответствующих лепестков ДН каждый приемный лепесток опишем выражением, представляющим собой произведение двух соответствующих выражений (5). В нашем случае (рис. 1, г) основные лепестки ДН будут описываться выражениями:

$$\begin{aligned} F_1(\varepsilon_{\text{с}}, \beta_{\text{с}}) &= \frac{\cos(\pi\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})}{\pi(0,5-\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})} \cdot \frac{\cos(\pi\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}{\pi(0,5+\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}, \\ F_2(\varepsilon_{\text{с}}, \beta_{\text{с}}) &= \frac{\cos(\pi\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})}{\pi(0,5+\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})} \cdot \frac{\cos(\pi\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}{\pi(0,5+\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}, \\ F_3(\varepsilon_{\text{с}}, \beta_{\text{с}}) &= \frac{\cos(\pi\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})}{\pi(0,5-\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})} \cdot \frac{\cos(\pi\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}{\pi(0,5-\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}, \\ F_4(\varepsilon_{\text{с}}, \beta_{\text{с}}) &= \frac{\cos(\pi\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})}{\pi(0,5+\beta_{\text{с}}/\beta_{\text{л}})} \cdot \frac{\cos(\pi\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}{\pi(0,5-\varepsilon_{\text{с}}/\varepsilon_{\text{л}})}. \end{aligned} \quad (6)$$

На рис. 1, д приведены сечения суммарных приемных лепестков $F_{1+2}, F_{1+3}, F_{3+4}$ и F_{2+4} . Выражения, описывающие эти лепестки, вытекают из (6):

$$\begin{aligned}
 F_{1+2}(\varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{\cos(\pi\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}}) \cos(\pi\beta_c / \beta_{\text{Л}})}{\pi^2 (0,5 + \varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})(0,25 - (\beta_c / \beta_{\text{Л}})^2)}; \\
 F_{3+4}(\varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{\cos(\pi\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}}) \cos(\pi\beta_c / \beta_{\text{Л}})}{\pi^2 (0,5 - \varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})(0,25 - (\beta_c / \beta_{\text{Л}})^2)}; \\
 F_{1+3}(\varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{\cos(\pi\beta_c / \beta_{\text{Л}}) \cos(\pi\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})}{\pi^2 (0,5 - \beta_c / \beta_{\text{Л}})(0,25 - (\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})^2)}; \\
 F_{2+4}(\varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{\cos(\pi\beta_c / \beta_{\text{Л}}) \cos(\pi\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})}{\pi^2 (0,5 + \beta_c / \beta_{\text{Л}})(0,25 - (\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})^2)}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Одновременное излучение четырьмя лепестками антенны одного и того же радиосигнала означает, что в пространстве на излучение будет формироваться суммарный лепесток $F_{\Sigma}(\varepsilon_c, \beta_c)$, описываемый выражением:

$$F_{\Sigma}(\varepsilon_c, \beta_c) = \frac{\cos(\pi\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})}{\pi^2 (0,25 - (\varepsilon_c / \varepsilon_{\text{Л}})^2)} \cdot \frac{\cos(\pi\beta_c / \beta_{\text{Л}})}{(0,25 - (\beta_c / \beta_{\text{Л}})^2)}. \tag{8}$$

Для получения выражений, описывающих связь параметров сигнала и антенны, представим для фокуса зеркала антенны отраженный радиосигнал от самолета в форме $e(t) = E_m \exp(i\omega t)$. Тогда, принятые сигналы четырьмя лепестками антенны ((6), рис. 1, г) можно описывать выражениями:

$$e_j(t, \varepsilon_c, \beta_c) = E_m F_j(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega t), \tag{9}$$

где $j = 1, 2, 3, 4$.

На рис. 2 приведена схема образования суммарных сигналов приема. Из схемы видно, что формирование суммарных лепестков (7) сводится к соответствующему суммированию отраженных радиосигналов, принятых после отражения зеркалом антенны облучателями 1, 2, 3, 4. Для этого радиосигналы (9) поступают на “свои” делители мощности на два $1/2$ и после делителей на соответствующие сумматоры Σ .

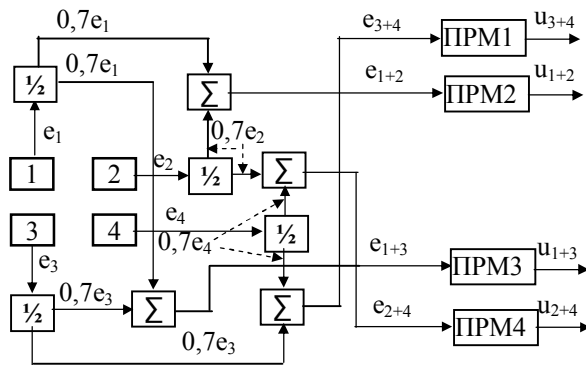


Рис. 2. Схема образования суммарных сигналов.

В соответствии со схемой (рис. 2) сигналы, снимаемые с сумматоров, будут описываться как:

$$\begin{aligned}
 e_{3+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= (1/\sqrt{2}) \cdot E_m F_{3+4}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega t), \\
 e_{1+2}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= (1/\sqrt{2}) \cdot E_m F_{1+2}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega t), \\
 e_{1+3}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= (1/\sqrt{2}) \cdot E_m F_{1+3}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega t), \\
 e_{2+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= (1/\sqrt{2}) \cdot E_m F_{2+4}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega t).
 \end{aligned} \tag{10}$$

Принцип амплитудного способа извлечения информации об угловых координатах самолета сводится к оценке соотношения разности и суммы амплитуд, накопленных в фильтрах адаптивных когерентных накопителей [3] импульсов, принятых соответствующей парой суммарных лепестков ДН и обработанных приемниками. В нашем случае (рис. 1, д) координату ε_c нужно вычислять по значениям амплитуд импульсов лепестков F_{1+2} и F_{3+4} , а координату β_c – импульсов лепестков F_{1+3} и F_{2+4} .

Будем исходить из того, что путем поддержания идентичности амплитудных характеристик приемных каналов ПРМ1, ПРМ2 и ПРМ3, ПРМ4 каждой пары суммарных лепестков антенны удастся на их радиовыходах (на промежуточной частоте $\omega_{\text{пр}}$) сохранить одинаковое амплитудное значение сигналов (10) $u_{3+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c)$,

$u_{1+2}(t, \varepsilon_c, \beta_c)$, $u_{1+3}(t, \varepsilon_c, \beta_c)$, $u_{2+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c)$:

$$\begin{aligned}
 u_{3+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{k_1}{\sqrt{2}} E_m F_{3+4}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega_{\text{пр}} t), \\
 u_{1+2}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{k_1}{\sqrt{2}} E_m F_{1+2}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega_{\text{пр}} t), \\
 u_{1+3}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{k_2}{\sqrt{2}} E_m F_{1+3}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega_{\text{пр}} t), \\
 u_{2+4}(t, \varepsilon_c, \beta_c) &= \frac{k_2}{\sqrt{2}} E_m F_{2+4}(\varepsilon_c, \beta_c) \exp(i\omega_{\text{пр}} t).
 \end{aligned} \tag{11}$$

где k_1, k_2 – коэффициенты усиления соответствующей пары приемных каналов. Тогда в соотношении разности и суммы амплитуд каждой пары сигналов на радиовыходах приемных каналов

$$\begin{aligned}
 \frac{U_{3+4} - U_{1+2}}{U_{3+4} + U_{1+2}} &= \frac{|F_{3+4}(\varepsilon_c, \beta_c)| - |F_{1+2}(\varepsilon_c, \beta_c)|}{|F_{3+4}(\varepsilon_c, \beta_c)| + |F_{1+2}(\varepsilon_c, \beta_c)|}, \\
 \frac{U_{1+3} - U_{2+4}}{U_{1+3} + U_{2+4}} &= \frac{|F_{1+3}(\varepsilon_c, \beta_c)| - |F_{2+4}(\varepsilon_c, \beta_c)|}{|F_{1+3}(\varepsilon_c, \beta_c)| + |F_{2+4}(\varepsilon_c, \beta_c)|}
 \end{aligned} \tag{12}$$

будет заложена информация об углах ε_c, β_c . На рис. 3., а – графики функций F_{3+4} и F_{1+2} для $\beta_c = 0$, из которых видно, что в пределах сектора углов

$$\Delta\varepsilon_{\text{ac}} = (-\varepsilon_{\text{Л}}/2 \leftrightarrow +\varepsilon_{\text{Л}}/2) = \varepsilon_{\text{Л}} \tag{13}$$

значения модулей функций F_{3+4} и F_{1+2} совпадают со значениями функций. То есть для углов ε_c в секторе (13) выражение (12) можно представить без модулей функций F_{3+4} и F_{1+2} . Очевидно, для аналогичного сектора $\Delta\beta_{\text{ac}}$ по азимуту в выражениях (12) также можно убрать модули для функций F_{1+3} и F_{2+4} .

Тогда, подставив соответствующие выражения (7) в соотношения (12) получим расчетные выражения измеренных углов отклонения $\varepsilon_{\text{и}}, \beta_{\text{и}}$ самолета от РСН по значениям амплитуд импульсов в секторах $\Delta\varepsilon_{\text{ac}}$ и $\Delta\beta_{\text{ac}}$:

$$\varepsilon_{\text{и}} = 0,5\varepsilon_{\text{Л}} \frac{U_{3+4} - U_{1+2}}{U_{3+4} + U_{1+2}}, \beta_{\text{и}} = 0,5\beta_{\text{Л}} \frac{U_{1+3} - U_{2+4}}{U_{1+3} + U_{2+4}}. \tag{14}$$

Полученные выражения (14) алгоритма измерения углов отклонения самолета от РСН по значениям амплитуд накопленных импульсов соответствующих

суммарных лепестков (рис. 1, д) полностью аналогичны алгоритму – по значениям амплитуд импульсов соответствующей пары лепестков (рис. 1, б), смещенных лишь в одной плоскости [1]. Однако в нашем случае нужно уточнить этот алгоритм.

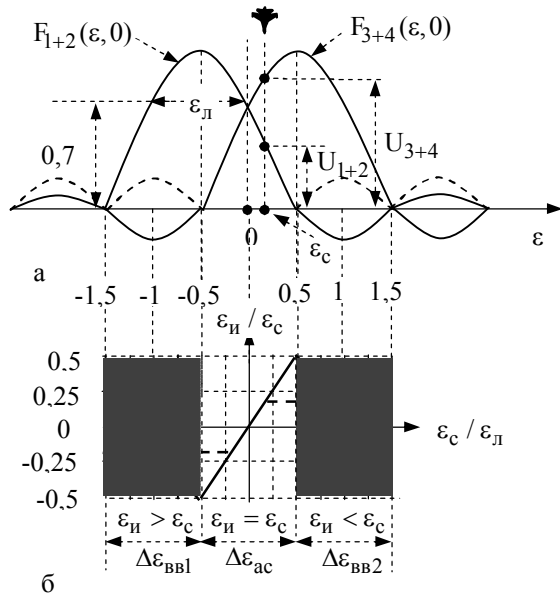


Рис. 3. Иллюстрации к алгоритму (11)

3. Энергетические потери отраженных импульсов

Первоначально уясним энергетические потери отраженных импульсов из-за расширения секторов совместного облучения (1). Очевидно, что такое расширение приведет к уменьшению дальности действия локатора и для ее восстановления нужно увеличивать мощность излучения при одинаковых других технических характеристиках локатора.

Оценку такого уменьшения дальности действия локатора выполним путем сравнения для двух случаев (рис. 1, б и 1, д) мощностей сигналов на входах приемников. В этих целях, во-первых, вычислим отношение плотностей потока мощностей в районе самолета. Для этого воспользуемся выражением (7) для суммарной ДН антенны. Во-вторых, для получения выражения суммарного лепестка $F_{c1}(\epsilon_c, \beta_c)$ в первом случае (рис. 1, б) нужно получить выражения для каждого из четырех лепестков ДН с учетом их углового смещения относительно РСН и их просуммировать. Для этого нужно воспользоваться выражениями (4) для описания каждого лепестка в плоскости смещения и выражениями (5) для его описания в другой плоскости для случая $\theta_0 = 0$ ($\epsilon_0 = 0$ или $\beta_0 = 0$). После суммирования четырех выражений получим:

$$F_{c1} = \frac{\sin\left(\pi \frac{\epsilon_c}{\epsilon_L}\right) \cos\left(\pi \frac{\beta_c}{\beta_L}\right) + \sin\left(\pi \frac{\beta_c}{\beta_L}\right) \cos\left(\pi \frac{\epsilon_c}{\epsilon_L}\right)}{\pi^2 \frac{\epsilon_c}{\epsilon_L} \left(0,25 - \left(\frac{\beta_c}{\beta_L}\right)^2\right) + \pi^2 \frac{\beta_c}{\beta_L} \left(0,25 - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_L}\right)^2\right)}. \quad (15)$$

Для оценки коэффициента уменьшения плотности потока мощности облучения самолета $K_{обл}$ можно принять в (8) и (15) $\epsilon_c / \epsilon_L = 0$ и $\beta_c / \beta_L = 0$ и найти квадрат их отношения. Тогда получим:

$$K_{обл} = \left(\frac{F_{\Sigma}(0,0)}{F_{c1}(0,0)}\right)^2 = \frac{4}{\pi^2} \approx 0,4.$$

Как следует из схемы образования суммарных лепестков (рис. 2) и выражений (9) коэффициент уменьшения мощности принимаемого сигнала из-за делителей мощности по отношению к мощности на входах облучателей имеет значение: $K_{прм} = 0,5$. Поэтому суммарный коэффициент уменьшения мощности принимаемого сигнала K_{Σ} будет иметь значение:

$$K_{\Sigma} = K_{обл} K_{прм} \approx 0,2.$$

Таким образом, расширения в 1,5 раза секторов совместного облучения МРЛС АС в плоскостях, перпендикулярных к плоскостям измеряемых координат, обусловило уменьшение мощности принимаемого сигнала в 5 раз, что соответствует уменьшению дальности АС в 1,5 раза. Поэтому для сохранения заданной дальности АС нужно в 5 раз увеличивать мощность передатчика локатора.

4. Алгоритм автоматического ввода самолета в зону АС

Уточним алгоритмы (14) измерения координат. Для этого преобразуем отношение разности и суммы амплитуд накопленных импульсов

$$R_{\epsilon} = \frac{U_{3+4} - U_{1+2}}{U_{3+4} + U_{1+2}}, R_{\beta} = \frac{U_{1+3} - U_{2+4}}{U_{1+3} + U_{2+4}}, \quad (16)$$

по которым однозначно определяются измеренные координаты $\epsilon_{и}$, $\beta_{и}$ на примере координаты ϵ_c . Для этого в первое выражение (14) подставим первое соотношение (12) и преобразуем последнее на основании первой пары выражений (7). В итоге получим:

$$\frac{\epsilon_{и}}{\epsilon_L} = 0,5 \frac{|0,5 + \epsilon_c / \epsilon_L| - |0,5 - \epsilon_c / \epsilon_L|}{|0,5 + \epsilon_c / \epsilon_L| + |0,5 - \epsilon_c / \epsilon_L|}. \quad (17)$$

На рис. 3, б графически иллюстрируется такая зависимость в секторе углов $\Delta\epsilon_{вв} = (-1,5 \div 1,5)\epsilon_L$. Из графиков и расчетов по формуле (17) следует, что в принципе в зоне АС ($\Delta\epsilon_{ac} = \epsilon_L$), равной ширине лепестка, обеспечивается однозначность измеряемой $\epsilon_{и}$ и истинной ϵ_c координат самолета. Если же самолет оказался в зоне действия одного основного лепестка и первого “боковика” второго лепестка (зоны на рис. 3, б окрашены светлым фоном) и по этому боковика обнаруживается и обрабатывается отраженный импульс, то будет осуществляться измерение заниженных по модулю (ложных) значений координат: $\epsilon_{и} > \epsilon_c$ или $\epsilon_{и} < \epsilon_c$. В работе [1] для исключения ложного измерения координат предлагается вводить в алгоритме измерителя дополнительную проверку значений отношений R_{ϵ} и R_{β} (16) и если $R_{\epsilon} > 0,63$ или $R_{\beta} > 0,63$, координаты

$\varepsilon_{\text{н}}$ или $\beta_{\text{н}}$ не вычисляются. Эти ограничения уменьшают зону АС в 1,5 раза. Желательно таких ограничений не вводить. В этой связи предлагается другой способ исключения таких ошибок.

Из иллюстраций и из очевидного принципа автоматического управления положением РСН (поворот РСН в сторону самолета) следует, ввод самолета в зону АС при достаточной мощности сигнала, может осуществляться в секторах ввода в АС

$$\Delta\varepsilon_{\text{ВВ1}} = (-1,5 \dots -0,5)\varepsilon_{\text{Л}}, \Delta\varepsilon_{\text{ВВ2}} = (0,5 \dots 1,5)\varepsilon_{\text{Л}}. \quad (18)$$

Тогда в секторе $\Delta\varepsilon_{\text{ас}}$ для вычислений по алгоритму (14) обеспечивается условие $\varepsilon_{\text{н}} = \varepsilon_{\text{с}}$. Однако в секторах (18) значения $\varepsilon_{\text{н}}$ совпадают с частью значений $\varepsilon_{\text{н}}$ в секторе $\Delta\varepsilon_{\text{ас}}$ (рис. 3б). Для различения таких значений измеренных координат в каждой плоскости (истинное или ложное) предлагается в измерителе осуществлять между двумя измерениями $j, j-1$ дополнительную проверку знака отношения $Q(j)$ приращения ΔR величины R_{ε} или R_{β} (16) к текущему значению $R_{\varepsilon}(j)$ или $R_{\beta}(j)$

$$Q(j) = (R(j) - R(j-1)) / R(j) \quad (19)$$

и если это отношение соответствует определенному допуску, то вычисляется координата $\varepsilon_{\text{н}}$ по алгоритму (14), в противном случае результаты вычислений R лишь используются для поворота РСН в сторону самолета. На рис. 4 в форме графика на оси $\varepsilon_{\text{с}}$ приведены расчеты отношения (19).

Из графиков видно, что в зоне АС значение функции $Q(j)$ имеет отрицательное значение, а в зонах ввода в АС – положительное. Такую разницу значений $Q(j)$ и можно использовать для уточнения углового положения самолета относительно РСН: Если $Q < 0$, то по алгоритму (14) вычисляется соответствующая координата; если же $Q > 0$, то вычисленное значение R преобразуется лишь в управляющий сигнал поворотом РСН в сторону самолета.

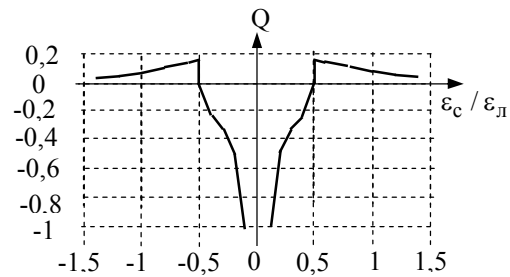


Рис. 4. График функции $Q(j)$.

Выводы

В работе обоснована возможность и предложен алгоритм расширения зоны автосопровождения самолета по угловым координатам в МРЛС с амплитудной обработкой сигналов и предложен алгоритм автоматического ввода самолета в зону автосопровождения самолетов, находящихся в зоне облучения хотя бы одного лепестка четырех лепестковой ДН антенны.

Список литературы

1. Анализ возможности реализации в составе радиолокационного посадочного комплекса моноимпульсного канала автосопровождения самолета на заключительном этапе посадки / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.В. Титов, С.А. Макаров // Системы управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. ДП «Центрального НДІ навігації та управління» – Вип. 4(20). - К., 2011. - С. 57 - 61.
2. Особенности построения радиолокационного посадочного комплекса для автоматизированного управления посадкой самолета / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.В. Титов, А.П. Кулик // Наука і техніка ПС ЗСУ: наук. журн. – 2011. - №2(6). - С. 115 - 120.
3. Принципы построения моноимпульсной РЛС автосопровождения самолета на этапе посадки с реализацией амплитудного способа пеленгации, амплитудной обработки и доплеровской фильтрации отражений / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.В. Титов, С.А. Макаров // Наука і техніка ПС ЗСУ: наук. журн. – 2012. - №2(8). - С. 87 - 91.

Поступила в редколлегию 3.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Ермаков, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.

РОЗШИРЕННЯ ЗОНИ ДІЇ МОНОІМПУЛЬСНОЇ РЛС АВТОСУПРОВОДУ ПОСАДКИ ЛІТАКА З РЕАЛІЗАЦІЄЮ АМПЛІТУДНОЇ ОБРОБКИ І ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ВІДБИТТІВ

М.Д. Рысаков, В.В. Куценко, І.Л. Костенко, В.Г. Карев, О.П. Кулик

У роботі аналізується доцільність розширення кутової зони дії моноімпульсних РЛС автосупроводу посадки літака з реалізацією амплітудної обробки і оптимальної доплерівської фільтрації відбитих імпульсів шляхом додавання радіоімпульсів відповідних пар основних пелюсток діаграми спрямованості на прийом в кожній площині. Уточнено алгоритм роботи вимірювачів кутових координат, за значеннями амплітуд накопичених у доплерівських фільтрах відповідної пари сумарних імпульсів.

Ключові слова: моноімпульсна радіолокаційна станція, автосупроводження, рівносигнальний напрямок, доплерівська фільтрація, діаграма спрямованості.

EXPANSION OF A SERVICE AREA MONOPULSING RADAR STATION AUTOSUPPORTS OF PLANE LANDING WITH IMPLEMENTATION OF PEAK MACHINING AND THE DOPPLER FILTERING OF REFLECTIONS

N.D. Rysakov, V.V. Kutsenko, I.L. Kostenko, V.G. Karev, A.P. Kulik

The expediency of expansion of an angular service area monopulsing radar station autosupports of plane landing with implementation of peak machining and optimum Doppler filterings of echo pulses by addition of wireless pulses of matching pairs major lobes of the diagram of directivity on reception in each plane is in-process analysed. The algorithm of work of metres of angular co-ordinates, on values of amplitudes saved up in Doppler filters of the matching pair total pulses is specified.

Keywords: monopulsing radar station, autosupport, is signal a direction, Doppler a filtering, the directivity diagramme.