

УДК.621.37

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, С.А. Макаров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРИНЦИПИ І УМОВИ ВИМІРЮВАННЯ КУТА МІСЦЯ ЦІЛІ В РЛС З ФАР ЗА СПІВВІДНОШЕННЯМ АМПЛІТУД СИГНАЛІВ СУСІДНІХ ПЕЛЮСТОК ПАРЦІАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ

В статті уточнені вирази для обчислення помилок дискретизації при вимірюванні кута місця цілі по азимутальній ширині пачок імпульсів сусідніх пелюсток парціальної діаграми спрямованості (ПДС) і обґрунтована доцільність пошуку шляхів зменшення цих помилок. Для підвищення точності такого вимірювання пропонується амплітудний метод вимірювання кута місця цілі (по співвідношенню амплітуд сигналів сусідніх пелюсток ПДС), який можна реалізувати в комплексі з методом вимірювання по азимутальній ширині пачок імпульсів.

Ключові слова: кут місця цілі (КМЦ), парціальна діаграма спрямованості, пелюстка ПДС, азимутальна ширина пачок (АШП) імпульсів, ефективна поверхня відбиття (ЕПВ) цілі, амплітудний метод (АМ), частота сигналу опромінення, фазована антенна решітка (ФАР).

Вступ

Постановка проблеми. У РЛС із ПДС для виміру КМЦ $\varepsilon_{\text{ц}}$ звичайно використовується інформація, закладена в АШП імпульсів сусідніх пелюсток. Однак для таких вимірів $\varepsilon_{\text{ц}}$ характерні помилки дискретизації, обумовлені дискретністю проходження імпульсів пачки. Такі помилки при когерентному накопичуванні відбитих імпульсів приймають істотні значення. Тому виникає необхідність пошуку шляхів уникнення або істотного зменшення цих помилок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] запропоновані вирази для розрахунку помилок виміру кута місця цілі по АШП імпульсів сусідніх пелюсток через дискретність проходження імпульсів. У статті [2] запропонований амплітудний метод виміру КМЦ, якому властиві свої методичні помилки. Тому в статті [3] для підвищення точності вимірів запропонований комбінований метод вимірювання $\varepsilon_{\text{ц}}$, що сполучує два методи по АШП і АМ. Однак таким методам теж властиві помилки, які обумовлені впливом відмінностей амплітуд ЕПВ цілі через відмінності частот опромінення на амплітуду й ширину пачок імпульсів сусідніх пелюсток. У роботі [4] наведені результати аналізу й розрахунку таких помилок, які на дальностях більше 100 км можуть бути порівняні з висотою польоту низьколетячих літальних апаратів, що не прийнятно для рішення завдань військової авіації.

Формулювання мети статті. У роботі уточнені вирази для обчислення помилок дискретизації виміру $\varepsilon_{\text{ц}}$ і обґрунтована доцільність пошуку шляхів зменшення цих помилок. У РЛС із ПДС, всі пелюстки якої формуються на одній частоті, з'являється можливість одержати досить точні розрахункові вирази для реалізації АМ. У даній статті обґрунтовуються умови й принципи реалізації такого методу.

Викладення основного матеріалу

Для оглядових РЛС із ПДС характерні помилки дискретизації вимірів $\varepsilon_{\text{ц}}$, обумовлені імпульсним режимом роботи РЛС. В роботі [1] були отримані спрощені вирази для таких помилок, які враховують лише найбільші доданки помилок. Вирази для цих помилок вимагають уточнення для випадку когерентного накопичування відбитих імпульсів [5] протягом T_0 декількох періодів повторення $T_{\text{п}}$ ($T_0 = nT_{\text{п}}$).

На основі запропонованих методик у роботах [1] і [3] стосовно до рівновеликої пари пелюсток ПДС можна одержати наступні формули для розрахунку таких помилок (математичного очікування (1) і дисперсії (2)):

$$m_{\varepsilon_{\text{ц}}} = -\frac{3k_{\text{л}}^2 T_0 V_a}{2\Delta\varepsilon_{\text{м}}} (\beta_{\text{п}2} - \beta_{\text{п}1}); \quad (1)$$

$$\sigma_{\varepsilon_{\text{ц}}}^2 = 0,75 \frac{k_{\text{л}}^4 T_0^2 V_a^2}{\Delta\varepsilon_{\text{м}}^2} (\beta_{\text{п}2}^2 + \beta_{\text{п}1}^2 + 6\beta_{\text{п}2}\beta_{\text{п}1} + 76,8T_0^2 V_a^2), \quad (2)$$

де $k_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{л}} / \beta_{\text{л}}$; $\varepsilon_{\text{л}}, \beta_{\text{л}}$ – ширина пелюсток за кутом місця та азимуту; m – взаємний зсув по ε сусідніх пелюсток ПДС; $\beta_{\text{п}1}$; $\beta_{\text{п}2}$ – вимірювані значення АШП імпульсів цілі верхнім і нижнім пелюстками пари; V_a – швидкість обертання антени РЛС.

З виразів (1) і (2) видно, що в рівносигнальному напрямку (РСН) пари пелюсток ПДС математичне очікування помилки $m_{\varepsilon_{\text{ц}}}$ дорівнює нулю, а дисперсія $\sigma_{\varepsilon_{\text{ц}}}^2$ приймає максимальне значення. Однак по мірі відхилення цілі від РСН значення цих помилок змінюються й залежать від розмірів АШП. Уточнимо цю залежність.

Значення розмірів пачок $\beta_{\text{п}1}, \beta_{\text{п}2}$ в середньому менше інтервалів спостереження β_1, β_2 на кутовий дискрет $\Delta = 6T_0 V_a$ імпульсів пачок:

$$\beta_{п1} = \beta_1 6T_0 V_a, \quad \beta_{п2} = \beta_2 6T_0 V_a. \quad (3)$$

В роботі [4] отримані вирази, що описують залежності азимутальної ширини пелюстки спостереження β_H від відносного порога обмеження $u_{п}$ пристрою виявлення імпульсів пачки. Skorистаємося цим виразом:

$$k_{п}(u_{п}) = \frac{\beta_H(u_{п})}{\beta_H(0)} \approx (\cos(\frac{\pi}{2} u_{п}))^{0,5} \times \exp(-1,253 \ln u_{п}) + 0,554, \quad \text{при } u_{п} > 0; \quad (4)$$

$$k_{п}(u_{п}) = \frac{\beta_H(u_{п})}{\beta_H(0)} \approx 1, \quad \text{при } u_{п} = 1, \quad (5)$$

де $\beta_H(0) = 2\beta_{л}$ – ширина пелюстки на нульовому рівні обмеження.

Однак значення інтервалів спостереження β_1, β_2 залежать крім $u_{п}$ і від КМЦ $\epsilon_{ц}$. Для опису залежностей $\beta_{п1}, \beta_{п2}$ від $u_{п}$ і $\epsilon_{ц}$ можна скористатися рівняннями еліпсів горизонтальних перетинів сусідніх пелюсток ПДС і врахувати вирази (3), (4). Підставляючи отримані вирази в (1) і (2) можна розрахункові вираження залежностей математичного очікування й середньоквадратичного значення $\sigma_{ед}$ помилок від $k_{п}$ і $\Delta\epsilon_{пн}$ звести до форми:

$$m_{ед} = -6k_{п} T_0 V_a \times \left[\left(1 - (\Delta\epsilon_{цн} - 1)^2 / (4k_{п}^2) \right)^{0,5} - \left(1 - \Delta\epsilon_{цн}^2 / (4k_{п}^2) \right)^{0,5} \right]; \quad (6)$$

$$\sigma_{ед} = 2\sqrt{6}k_{л}k_{п}T_0V_a \left(1 - (\Delta\epsilon_{цн}^2 - \Delta\epsilon_{цн} + 0,5) / (4k_{п}^2) \right) + 3 \left(1 - \frac{\Delta\epsilon_{цн}^2 - \Delta\epsilon_{цн} + 0,5}{2k_{п}^2} + \frac{\Delta\epsilon_{цн}^2 (\Delta\epsilon_{цн} - 1)^2}{16k_{п}^2} \right)^{0,5} + 2,4(k_{л}T_0V_a / (k_{п}\Delta\epsilon_{м}))^2)^{0,5}. \quad (7)$$

Оцінимо значення помилок дискретизації $m_{ед}$ і $\sigma_{ед}$ відповідно до виразів (5) і (6) для наступних даних [5]: $T_0 = 5,5$ мс, $V_a = 6$ об/хв., $\epsilon_{л} = 3^\circ$, $\beta_{л} = 4^\circ$ ($k_{л} = 0,75$), $\Delta\epsilon_{м} = 1,5^\circ$. Значення $m_{ед}$ і $\sigma_{ед}$ для цих даних і значень $u_{п} = 0,1; 0,3; 0,5$ і $0,7$ наведені в табл. 1.

Середньоквадратичні помилки $\sigma_{ед}$ є найбільшими в напрямку РСН і збільшуються зі зменшенням $u_{п}$ (зі збільшенням $k_{п}$), тобто зі зменшенням дальності до цілі. Максимальні й мінімальні значення помилок дискретизації становлять 19% і 13% кутового зсуву сусідніх пелюсток при $u_{п} = 0,1$ і зменшуються до 8% і 5% при $u_{п} = 0,7$. Наведені дані свідчать про необхідність пошуку шляхів зменшен-

ня таких помилок. Треба враховувати, що зменшення помилки дискретизації $\sigma_{ед}$ з ростом $u_{п}$ обумовлено відповідним зменшенням кутового сектора спільного опромінення цілі парою пелюсток, у якому ці помилки мають місце.

Таблиця 1

Значення помилок дискретизації $m_{ед}$ і $\Delta\epsilon_{пн}$

	0,1 / 0,817		0,3 / 0,637		0,5 / 0,518		0,7 / 0,405	
	$m_{ед}$	$\sigma_{ед}$	$m_{ед}$	$\sigma_{ед}$	$m_{ед}$	$\sigma_{ед}$	$m_{ед}$	$\sigma_{ед}$
0,5	0	0,189	0	0,142	0	0,110	0	0,077
0,5±0,1	0,0048	0,188	0,0064	0,141	0,1183	0,109	0,012	0,075
0,5±0,2	0,0096	0,187	0,129	0,139	0,0169	0,106	0,026	0,069
0,5±0,3	0,0144	0,185	0,0198	0,136	0,0266	0,100	0,049	0,048
0,5±0,4	0,0198	0,181	0,0288	0,131	0,0385	0,091		
0,5±0,5	0,0254	0,177	0,036	0,123	0,0568	0,072		
0,5±0,6	0,0314	0,171	0,0466	0,113				
0,5±0,7	0,0381	0,164	0,0617	0,096				
0,5±1	0,101	0,128						

У РЛС із ФАР, у якій всі пелюстки ПДС формуються на одній частоті, з'являється можливість реалізувати АМ виміру $\epsilon_{ц}$. Даний метод зводиться до вимірів співвідношень амплітуд імпульсів пачок для кожної пари сусідніх пелюсток ПДС. Охарактеризуємо його сутність.

Для опису залежності вимірюваного значення $\epsilon_{ц}$ від співвідношення u_1/u_2 амплітуд сигналів двох пелюсток (1-нижньої, 2-верхньої), опишемо нормовану амплітуду сигналу $u_i(\epsilon_{ц}, \beta_{ц})$ будь-якої пелюстки виразом:

$$u_i(\epsilon_{ц}, \beta_{ц}) = k_{прмі} F(\beta_{ц} - \beta_a) F(\epsilon_{ц} - \epsilon_i); \quad (8)$$

$$F(\beta_{ц} - \beta_a) = \sin\left(\pi \frac{\beta_{ц} - \beta_a}{\beta_{л}}\right) / \left(\pi \frac{\beta_{ц} - \beta_a}{\beta_{л}}\right);$$

$$F(\epsilon_{ц} - \epsilon_i) = \sin\left(\pi \frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_i}{\epsilon_{пл1}}\right) / \left(\pi \frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_i}{\epsilon_{пл1}}\right), \quad (9)$$

де $k_{прмі}$ – коефіцієнт перетворення амплітуди відбитого сигналу приймальним каналом і-ої пелюстки; $F(\beta_{ц} - \beta_a), F(\epsilon_{ц} - \epsilon_i)$ – нормовані діаграми спрямованості за азимутом і кутом місця; $\beta_{ц}, \epsilon_{ц}$ – кутові координати цілі; $\beta_{пл}, \beta_a$ – ширина пелюсток ПДС і положення антени за азимутом; $\epsilon_{пл1}$ – ширина пелюстки за кутом місця; ϵ_i – кут місця вісі симетрії пелюстки.

Прийнявши значення коефіцієнтів $k_{прмі}$ однаковими відповідно до виразів (8) і (9) для співвідношення u_1/u_2 одержимо залежність:

$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_1}{\epsilon_{ц} - \epsilon_2} \right) \left(\frac{\epsilon_{пл2}}{\epsilon_{пл1}} \right) \sin\left(\pi \frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_2}{\epsilon_{пл2}}\right) / \sin\left(\pi \frac{\epsilon_{ц} - \epsilon_1}{\epsilon_{пл1}}\right). \quad (10)$$

Рис. 1 ілюструє залежність (10) для основних пелюсток пари. Видно, що функція $F(\epsilon_{ц} - \epsilon_1)$ у виразі (9) для $\Delta\epsilon_{ц} > \epsilon_{пл1} (\Delta\epsilon_{п} = \epsilon_{п} - \epsilon_1)$ приймає зна-

чення першої бічної пелюстки і умови реалізації методу порушуються. Це необхідно враховувати при реалізації методу.

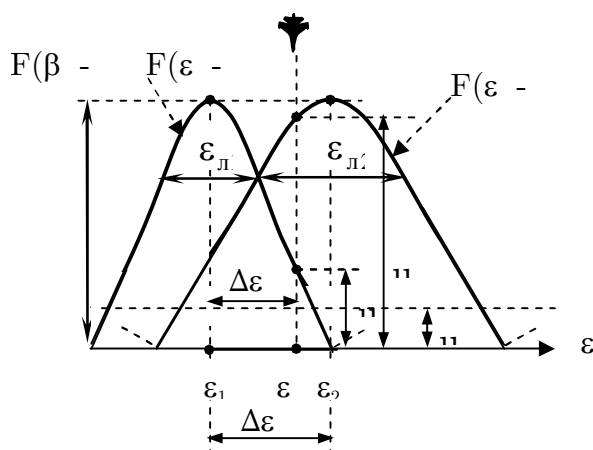


Рис. 1. Ілюстрація методу вимірювання ε_ц

Очевидно, що в загальному випадку співвідношення $k_ε$ розмірів сусідніх пелюсток, а також співвідношення $k_Δ$ їхнього кутового зсуву $Δε_m$ і розміру нижньої пелюстки ПДС $ε_{пл1}$ пов'язані наступними співвідношеннями:

$$k_ε = ε_{пл2} / ε_{пл1}, \quad Δε_m = ε_2 - ε_1, \quad k_Δ = Δε_m / ε_{л1} \quad (11)$$

З урахуванням (11) вираз (10) може бути перетворений до вигляду:

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{Δε_{цн}}{Δε_{цн} - 1} k_ε \sin\left(\pi \frac{k_Δ}{k_ε} (Δε_{цн} - 1)\right) / \sin(\pi k_Δ Δε_{цн});$$

$$Δε_{цн} = Δε_{ц} / Δε_m. \quad (12)$$

Таким чином, ідеальними умовами для реалізації АМ є: $k_ε = 1$ і $k_Δ = 1$. Можна припустити, що ці умови легко реалізувати для нижніх пелюсток ПДС, які формуються ФАР.

При $k_ε > 1$ і $k_Δ \neq 1$ не вдається одержати точного виразу для функції $Δε_{цн}(u_2/u_1)$. Тому наближені вирази таких функцій можна одержати методом підбору зворотної функції для залежності (12). Окремі дискретні результати розрахунку залежності (12) наведені в табл. 2 для значень $k=1; 1,1; 1,25$ і $Δk = 0,75; 1; 1,25$.

З розрахункових значень функції (11) виходить, що прийнятними для реалізації даного методу є умови: $k_Δ / k_ε \leq 1$. При цьому розрахункові вирази функції $Δε_{цн}(u_2/u_1)$ можна представити у вигляді

$$Δε_{цн}\left(\frac{u_2}{u_1}, k_ε, k_Δ\right) \approx \frac{u_2/u_1}{(u_2/u_1) + k_ε} - \frac{k_ε}{k_Δ} + 1 + 1 + \Phi\left(\frac{u_2}{u_1}, k_ε, k_Δ\right), \quad (14)$$

де $\Phi(u_2/u_1, k_ε, k_Δ)$ – функція наближення.

Таблиця 2
Значення функції $(u_2/u_1) \cdot (Δε_{цн})$

	k=1		k_ε=1		k_ε=1,25		
	k_ε=1	k_ε=1,1	k_ε=1,25	k=0,75	k=1,25	k=0,75	k=1,25
-0,2			0,044	0,113		0,354	
-0,1		0	0,135	0,203		0,426	
0	0	0,109	0,234	0,3		0,504	0
0,2	0,25	0,354	0,481	0,524	0	0,686	0,313
0,3	0,429	0,531	0,65	0,658	0,178	0,8	0,47
0,4	0,667	0,763	0,874	0,814	0,471	0,932	0,793
0,5	1	1,089	1,189	1	1	1,25	1,353
0,6	1,5	1,578	1,665	1,229	2,121	1,3	2,522
0,7	2,333	2,398	2,468	1,52	5,633	1,563	6,166
0,8	4	4,047	4,098	1,909	3,6	1,935	
0,9	9	9,026	9,054	2,464		2,472	

Аналіз залежності розрахункових значень функції (13) від значень $k_ε$ і $k_Δ$ показав, що для умов $k_Δ = 1$ і $k_ε > 1$, а також для $k_ε = 1$ і $k_Δ \neq 1$ можна підібрати такі вирази функцій наближення відповідно:

$$\Phi(u_2/u_1, k_ε, k_Δ) \approx 1,15(k_ε - 1) \times (1 - \exp(-2,035 \exp(1,08 \ln(u_2/u_1)))); \quad (16)$$

$$\Phi(u_2/u_1, k_ε, k_Δ) \approx 1,73(1/k_Δ - 1) \times (1 - \exp(-0,887 \exp(1,235 \ln(u_2/u_1)))). \quad (17)$$

При цьому помилки розрахунку $ε_{ц}$ становлять величину, меншу 2% від $Δε_{ц}$. Однак для умов $k_ε > 1$ і $k_Δ \neq 1$ не вдається підібрати прийнятний загальний вираз функції наближення. У цьому випадку для кожного сполучення значень $k_ε > 1$ і $k_Δ \neq 1$ потрібно підбирати окремий вираз такої функції. Так, наприклад для $k_ε = 1,25$, $k_Δ = 0,75$ і меж зміни аргументу $u_2/u_1 = 0,2 \div 5$ прийнятним (методична помилка не більше 1%) виразом функції наближення може бути:

$$\Phi\left(\frac{u_2}{u_1}\right) \approx \begin{cases} 1 - \exp(-17,011 \exp(0,125 \ln(u_2/u_1))) + \\ + 2,882 \frac{u_2}{u_1} - 20,48 \exp(0,5 \ln(u_2/u_1)) + \\ + 33,484 \exp(0,25 \ln(u_2/u_1)). \end{cases} \quad (18)$$

У цьому випадку, при $u_2/u_1 < 0,2$ або $u_2/u_1 > 5$ необхідно передбачити виключення результатів розрахунку координати $Δε_{ца}$ по співвідношенню u_2/u_1 даної пари пелюсток ПДС. Дійсно, у цих випадках при $u_2/u_1 < 0,2$ ціль одночасно спостерігається нижньою парою, а при $u_2/u_1 > 5$ верхньою парою пелюс-

токі є можливість оцінити значення $\Delta \varepsilon_{\text{цн}}$ по співвідношенню u_2/u_1 цих пар без істотних помилок.

Сімейство графіків функцій (13) і (14) з урахуванням виразів (15), (16) і (17) наведено на рис. 2 для значень $k_{\Delta} = 1$ і $k_{\varepsilon} = 1,25$ (графіки 1 і 2); для $k_{\varepsilon} = 1$ і $k_{\Delta} = 0,75$ (графік 3); для $k_{\varepsilon} = 1,25$ і $k_{\Delta} = 0,75$ (графік 4).

Вирази (13) - (17) і (12) характеризують запропонований принцип виміру $\varepsilon_{\text{цн}}$ по співвідношенню амплітуд сигналів сусідніх пелюсток, який може бути покладений в основу роботи обчислювача.

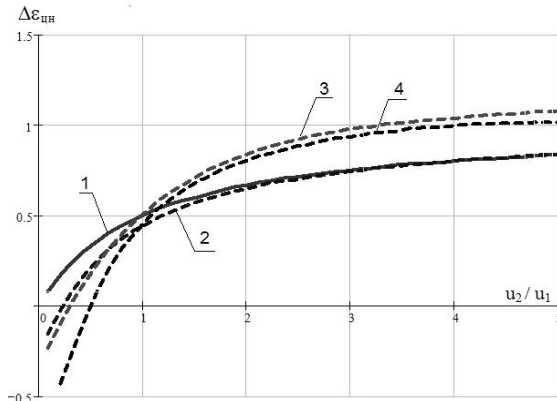


Рис. 2 Графіки функції $\Delta \varepsilon_{\text{цн}}(u_2/u_1, k_{\varepsilon}, k_{\Delta})$.

Висновки

1. Ідеальними умовами для реалізації АМ є: $k_{\varepsilon} = 1$ і $k_{\Delta} = 1$. У цьому випадку помилки обчислень пов'язані лише із впливом шуму приймальних трактів на точність обчислень.

2. Прийнятними для реалізації АМ є умови: $k_{\Delta}/k_{\varepsilon} \leq 1$. При цьому розрахунковий вираз для координати $\Delta \varepsilon_{\text{цн}}(u_2/u_1)$ містить функції наближення, які обумовлюють наявність методичних помилок ($\leq 2\%$).

3. Для умов $k_{\varepsilon} > 1$ і $k_{\Delta} \neq 1$ не вдається підібрати прийнятний загальний вираз функції наближенні.

ПРИНЦИПЫ И УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕСТА ЦЕЛИ В РЛС С ФАР ПО СООТНОШЕНИЮ АМПЛИТУД СИГНАЛОВ СОСЕДНИХ ЛЕПЕСТКОВ ПАРЦИАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, С.А. Макаров

В работе уточнены выражения для вычисления ошибок дискретизации при измерении угла места цели по азимутальной ширине пачек импульсов соседних лепестков парциальной диаграммы направленности (ПДН) и обоснована целесообразность поиска путей уменьшения этих ошибок. Для повышения точности такого измерения предлагается амплитудный метод измерения угла места цели (по соотношению амплитуд сигналов соседних лепестков ПДН), который можно реализовывать в комплексе с методом измерения по азимутальной ширине пачек импульсов.

Ключевые слова: угол места цели (УМЦ), парциальная диаграмма направленности, лепесток ПДН, азимутальная ширина пачек (АШП) импульсов, эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели, амплитудный метод (АМ), частота сигнала облучения, фазированная антенная решетка (ФАР).

PRINCIPLES AND CONDITIONS FOR MEASURING ELEVATION TARGET IN A RADAR STATION PHASED ARRAY SIGNALS ON THE RELATIONSHIP NEIGHBOR PETALS PARTIAL PATTERN OF

N.D. Rysakov, I.V. Titov, S.A. Makarov

We refined expression to compute the sampling error in measuring elevation targets azimuthal width of the adjacent petals burst partial pattern and the expediency of finding ways to reduce these errors. To improve the accuracy of this measurement is proposed a method for measuring the amplitude elevation target (the ratio of the amplitudes of the signals of adjacent petals of the partial radiation pattern), which can be implemented in conjunction with the measurement method for the azimuthal width of the burst.

Keywords: elevation of the target, the partial radiation pattern, petal of the partial radiation pattern, the azimuthal width of the packs pulses, the effective reflecting surface targets, the amplitude method, frequency of the signal radiation, phased array antenna.

У цьому випадку для кожного сполучення значень $k_{\varepsilon} > 1$ і $k_{\Delta} \neq 1$ потрібно підбирати окремий вираз функції наближення.

4. Наявність в АМ методичних помилок виміру свідчить про необхідність реалізації в РЛС комбінованого методу (по співвідношенню амплітуд і ширині пачок імпульсів).

Список літератури

1. Дукин Г.Ю. Анализ потенциальной точности определения высоты цели в обзорных радиолокационных станциях методом парциальных диаграмм / Г.Ю. Дукин, Н.Д. Рысаков, В.И. Хохлюк // Радиотехника и информатика: научн.-техн. ж. ХНУРЕ. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – Вып. 2(23). – С. 15-18.

2. Рысаков Н.Д. Об условиях реализации амплитудного метода измерения угла места цели в обзорной РЛС с парциальной диаграммой направленности / Н.Д. Рысаков, В.И. Василишин, А.Ф. Какасонов // Радиотехника: всеукр. межвед. научно-технический сборник ХНУРЕ. – Х.: ХНУРЕ, 2008. – Вып. 152. – С. 44-48.

3. Рысаков Н.Д. Алгоритм комбинированного амплитудного метода измерения угла места цели в обзорной РЛС с парциальной диаграммой направленности / Н.Д. Рысаков, В.И. Василишин, А.Ф. Какасонов // Радиотехника: всеукр. межвед. научн.-техн. сб. ХНУРЕ. – Х.: ХНУРЕ, 2008. – Вып. 153. – С. 28-32.

4. Точность измерения угла места цели в РЛС по азимутальным интервалам наблюдения соседних лепестков парциальной диаграммой направленности, формируемых на разных частотах / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.Г. Карев, А.П. Кулик // Системы управления, навигации та зв'язку. – К., 2010. – № 3(15). – С. 65-70.

5. Озброєння та військова техніка РТВ. Побудова РЛС 19Ж6: навч. посібн. Ч. 1 / [Гриб Д.А., Голованов В.П., Клименко В.Й. та ін.] – Х.: ХУПС, 2007. – 300 с.

Надійшла до редколегії 11.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Барішев, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.