УДК 621.317.361

В.Т. Ковальчук, пошукувач,
П.М. Повідайко, к.т.н, доц.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

МЕТОДИЧНА ПОХИБКА АМПЛІТУДНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ РАДІОХВИЛЬ НЕВЕРТИКАЛЬНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

Виконаний розрахунок методичної похибки визначення пеленга і кута падіння радіохвиль невертикальної поляризації для амплітудного методу визначення кутових параметрів.

В попередніх роботах авторів наведені окремі результати оцінки методичної похибки визначення пеленга і методичної похибки визначення кута падіння радіохвиль невертикальної поляризації [1, 2].

Мета даної роботи – розробка узагальненого підходу до оцінки методичної похибки визначення пеленга і кута падіння радіохвиль невертикальної поляризації при застосуванні амплітудного методу визначення їх кутових параметрів.

Прийняті пеленгатором радіохвилі можуть мати або лінійну (в тому числі вертикальну і горизонтальну), або еліптичну (в тому числі кругову) поляризацію. До ліпійно-поляризованих радіохвиль належать ті, у яких різниця між фазами вертикальної і горизонтальної складових дорівнює 0° (або 180°), а до еліптично поляризованих – всі інші. При цьому, під вертикально-поляризованими розуміються хвилі, горизонтальна складова електричної напруженості в яких або відсутня, або мізерно мала у порівнянні з вертикальною складовою, а під горизонтально-поляризованими – протилежні. У радіохвиль з круговою поляризацією вертикальна і горизонтальна складові однакові, а різниця між їхніми фазами дорівнює 90° (або 270°).

Задача розглядається для амплітудного методу пеленгування, що реалізується радіопеленгатором, антенна система якого складається із сполучених в одному фазовому центрі двох направлених вертикальних взаємно перпендикулярних магнітних диполів (рамок) і одного ненаправленого вертикального електричного диполя (штиря) [3]. Орієнтація направленої першої рамки "Північ – Південь", другої – "Схід – Захід". Геометричні розміри диполів d у порівнянні з довжиною радіохвиль λ такі, що $\pi d \leq\leq \lambda$.

На виходах вищевказаних рамок і штиря під дією вертикально-поляризованих радіохвиль від джерела радіовипромінювання (ДРВ), що пеленгується, виникають сигнали, які описуються системою рівнянь:

$$\begin{aligned} U_{pПП}\{\omega t\} &= K_p E_в \cos\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_в) \\ U_{pСЗ}\{\omega t\} &= K_p E_в \sin\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_в) \\ U_{Ш}\{\omega t\} &= K_{Ш} E_в \cos\beta \cdot \cos(\omega t + \varphi_в), \end{aligned} \tag{1}$$

де $U_{pПП}\{\omega t\}, U_{pСЗ}\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах вертикальних рамок "Північ – Південь" та "Схід – Захід" відповідно;

$U_{Ш}\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виході вертикального штиря;

$K_p, K_{Ш}$ – коефіцієнти передачі сигналів, що приймаються рамками і штирем;

$E_в, \varphi_в$ – відповідно амплітудне значення і початкова фаза напруженості електричного поля радіохвилі, що приймається;

α, β – кути приходу радіохвилі в горизонтальній і вертикальній площинах відповідно.

Розв'язок системи (1) відносно α і β дає результат:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{A_{pСЗ}\operatorname{sign}(\varphi_{pСЗ} - \phi_ш)}{A_{pПП}\operatorname{sign}(\varphi_{pПП} - \varphi_ш)}\right); \tag{2}$$

$$\beta = \arccos\left|\left(A_ш\left(K_p / K_ш\right)\right)/\left(\left(A_{pПП}\right)^2 + \left(A_{pСЗ}\right)^2\right)^{1/2}\right|, \tag{3}$$

де $A_{pПП}$, $A_{pСЗ}$ – амплітудні значення сигналів на виходах направлених вертикальних рамок "Північ – Південь" та "Схід – Захід" відповідно;

$A_ш$ – амплітудне значення сигналу на виході вертикального штиря,

$(\varphi_{pПП} - \varphi_ш)$ і $(\varphi_{pСЗ} - \varphi_ш)$ – різниці фаз сигналів на виході вертикального штиря і на виходах вертикальних рамок "Північ – Південь" та "Схід – Захід" відповідно;

$\text{sign}(U)$ – функція знаку розміру U, причому $\text{sign}(U) = +1$, якщо $U > 0$; $\text{sign}(U) = -1$, якщо $U < 0$ і $\text{sign}(U) = 0$, якщо $U = 0$.

Під дією невертикально поляризованих радіохвиль від ДРВ, що пеленгується, на виходах вищевказаних рамок і штиря виникають сигнали, які описуються такою системою рівнянь:

$$\begin{aligned} U_{pПП}\{\omega t\} &= K_p(E_в \cos\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_в) + E_г \sin\beta \cdot \sin\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_г)) \\ U_{pСЗ}\{\omega t\} &= K_p(E_в \sin\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_в) + E_г \sin\beta \cdot \sin\alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_г)) \\ U_Ш\{\omega t\} &= K_Ш E_в \cos\beta \cdot \cos(\omega t + \varphi_в), \end{aligned} \quad (4)$$

де $E_в$, $\varphi_в$ - відповідно амплітудне значення і початкова фаза електричної напруженості вертикальної складової прийнятих радіохвиль;

$E_г$, $\varphi_г$ – амплітудне значення і початкова фаза електричної напруженості горизонтальної складової прийнятих радіохвиль.

З урахуванням (4) можна визначити методичну похибку визначення пеленга в створових напрямках ($\alpha = 0°, 90°, 180°, 270°$) і кута місця радіохвиль невертикальної поляризації:

$$\Delta_\alpha = \text{arctg}(\text{tg}\, Y_E \cdot \sin\beta) \cdot \text{sign}(\cos\Psi); \quad (5)$$

$$\Delta_\beta = \text{arctg}(\text{tg}\, Y_E / \cos\beta) - \beta, \quad (6)$$

де $Y_E = \text{arctg}\left(\frac{E_г}{E_в}\right)$;

$\Psi = \varphi_г - \varphi_в$.

При цьому, для кожного значення Y_E існує своє екстремальне значення $\beta_{екстр}$, при якому значення похибки Δ_β стає максимальним $\Delta_{\beta\max}$. Величини $\beta_{екстр}$ і $\Delta_{\beta\max}$ визначаються такими виразами відповідно:

$$\beta_{екстр} = (\pi/2) - \text{arctg}(\sec(Y_E))^{1/2}; \quad (7)$$

$$\Delta_{\beta\max} = 2\,\text{arctg}(\sec(Y_E))^{1/2} - (\pi/2). \quad (8)$$

Результати розрахунку методичної похибки згідно з виразами (5) і (6) зведені в табл. 1, табл. 2 і відображені на рис. 1 – рис. 5.

Таблиця 1

Результати розрахунку методичної похибки пеленгування

Y_E	Δ_α при $\text{sign}(\cos\Psi) = 1$						
	$\beta = 1^0$	$\beta = 2^0$	$\beta = 5^0$ ------	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 45^0$	$\beta = 90^0$
0 ($E_г = 0$)	0	0	0	0	0	0	0
10	0,18	0,35	0,88	1,75	2,61	7,11	10
20	0,36	0,73	1,82	3,62	5,38	14,43	20
30	0,58	1,15	2,88	5,73	8,5	22,21	30
40	0,84	1,68	4,18	8,29	12,25	30,68	40
50	1,19	2,38	5,93	11,69	17,14	40,12	50
60	1,73	3,46	8,58	16,74	24,15	50,77	60
70	2,75	5,48	13,47	25,51	35,42	62,76	70
80	5,65	11,2	26,3	44,56	55,73	72	80
90 ($E_в = 0$)	90	90	90	90	90	90	90

Δ_α, *град*

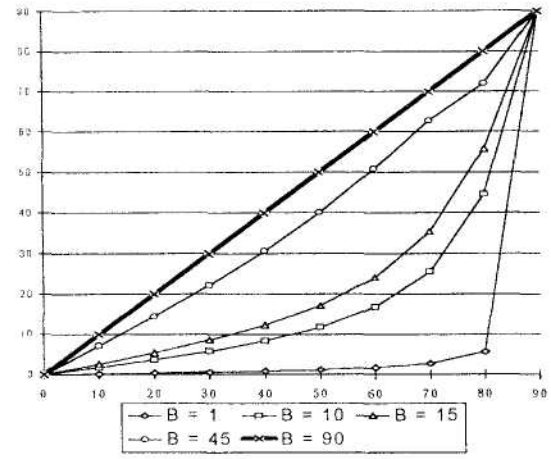

Рис. 1. Графік залежності методичної похибки пеленгування від значення Y_E

Δ_α, *град*

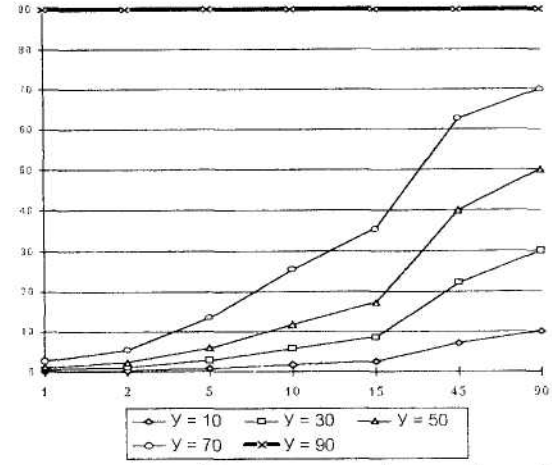

Рис. 2. Графік залежності методичної похибки пеленгування від значення β *для різних* Y_E

Таблиця 2

Результати розрахунку методичної похибки оцінки кута місця

Y_E	Λ_β							$\beta = \beta_{екстр}$	$\Delta_{\beta\,max}$
	$\beta = 1^0$	$\beta = 2^0$	$\beta = 5^0$	$\beta = 10^0$	$\beta = 15^0$	$\beta = 45^0$	$\beta = 90^0$		
0 ($E_г$=0ц	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,00	0,0
10	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	44,78	0,4
20	0,1	0,1	0,3	0,6	0,9	1,8	0,0	44,11	1,8
30	0,2	0,3	0,8	1,5	2,2	4,1	0,0	42,94	4,1
40	0,3	0,6	1,5	3,0	4,3	7,5	0,0	41,19	7,6
50	0,6	1,1	2,8	5,3	7,6	12,3	0,0	38,72	12,6
60	1,0	2,0	4,9	9,4	13,2	18,4	0,0	35,26	19,5
70	1,9	3,8	9,3	17,3	23,1	26,1	0,0	30,32	29,4
80	4,7	9,4	21,7	35,4	42,1	35,1	0,0	22,62	44,8
90 ($E_в$=0)	89,0	88,0	85,0	80,00	75,0	45,0	0,0	0,00	90,0

Λ_β, *град*

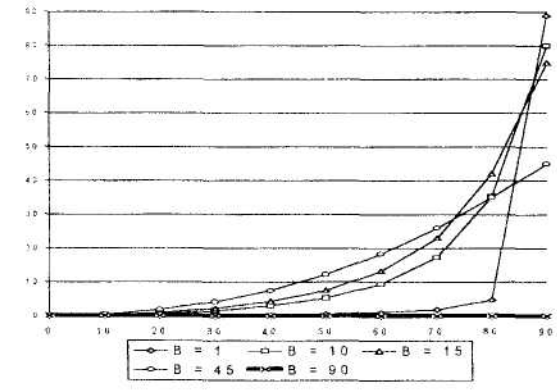

Рис. 3. Графік залежності методичної похибки кута місця від значення Y_E

Δ_β, *град*

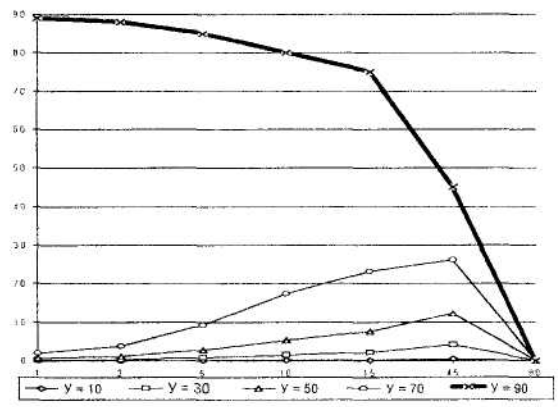

Рис. 4. Графік залежності методичної похибки оцінки кута місця від значення β

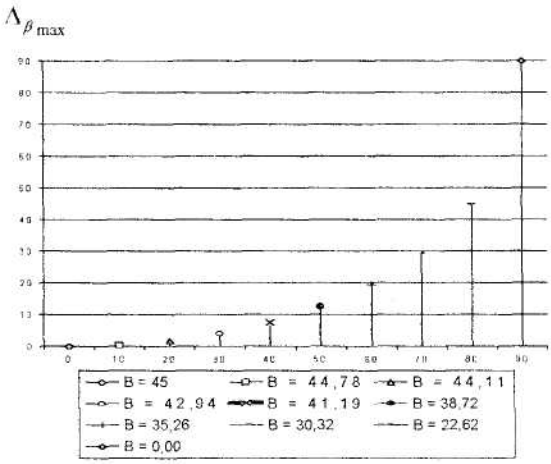

Рис. 5. Графік залежності максимальної методичної похибки оцінки кута місця від значення Y_E при $\beta = \beta_{екстр}$

Отримані результати можуть бути використані для оцінки можливості застосування різних схем пеленгаторів, які реалізують амплітудний метод визначення кутових параметрів радіохвиль невертикальної поляризації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Ковальчук В.Т., Повідайко П.М.* Методична похибка амплітудного методу пеленгування радіохвиль невертикальної поляризації // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 15 / Технічні науки. – С. 138–140.

2. *Ковальчук В.Т., Повідайко П.М.* Методична похибка виміру кута падіння радіохвиль невертикальної поляризації амплітудними радіопеленгаторами // Збірник наукових праць VIII науково-технічної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – Хмельницький: ТУП, 2001. – С. 92–98.

3. *Ковальчук В.Т., Повідайко П.М.* Вибірне пеленгування поверхневих і просторових радіохвиль з вертикальною та горизонтальною поляризаціями за їх поточними значеннями на основі фазової селекції // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 13 / Технічні науки. – С. 159–161.

КОВАЛЬЧУК Валерій Тадеушович – пошукувач кафедри АУТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– дослідження в галузі цифрової обробки сигналів.

ПОВІДАЙКО Петро Михайлович – кандидат технічних наук, професор кафедри АУТС, декан факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– дослідження в галузі цифрової обробки сигналів.

Подано 17.11.2001