

В.Т. Ковальчук, здобувач
П.М. Повідайко, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

РАДІОВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ЗАВАДОВОГО ДЖЕРЕЛА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ РАДІОСИСТЕМ

Запропоновано метод та алгоритми радіовизначення місцезнаходження завадового джерела радіовипромінювання для підвищення заводозахищеності інформаційних радіосистем на основі використання фазової селекції корисного та завадового сигналів. Розв'язання задачі здійснено при застосуванні антенних систем із суміщеними в одному фазовому центрі елементарними антенами (штирями та рамками).

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Завада взагалі – це стороннє збурення, що заважає прийманню та обробленню сигналу, а радіозавада зокрема – електромагнітне випромінювання будь-якого походження або індукція на приймання в системі радіозв'язку, яке перешкоджає нормальному прийманню/передаванню радіосигналів та призводить до погіршення якості, помилок або втрат інформації. В радіотехнічних системах (РТС) завада спричиняє відхилення прийнятого повідомлення (матеріальної форми подання інформації) від переданого [1–14].

Завадові джерела радіовипромінювання (ДРВ) можуть мати штучний ненавмисний характер (промислові системи, транспорт і зв'язок) або штучний навмисний (радіопротидія, радіоборотьба, радіохуліганство тощо). Якщо потужності завадового та корисного сигналів сумірні, то інформація може бути спотворена настільки, що її використання стане повністю неможливим.

Заводо захищеність – здатність радіосистеми (пристрою) протистояти дії завад певного типу. Радіовизначення місцезнаходження завадового джерела радіовипромінювання дає можливість усунення або власне його, або його завадової дії, що підвищує заводозахищеність інформаційної радіосистеми.

Місцезнаходження ДРВ однозначно характеризується чотирма координатами: трьома просторовими (віддаллю l , пеленгом α , кутом місця β) та однією часовою t . Дві з них (пеленг та кут місця) визначаються при пеленгуванні та є пеленгаційними кутами. Але, знаючи висоту відбиваючого шару іоносфери (за статистичними даними або за даними безпосередніх вимірювань іоносферних станцій), можна за пеленгом та кутом місця з допомогою номограм визначити місцезнаходження ДРВ в певний момент часу [8]. Також місцезнаходження ДРВ можна визначити за наявності двох радіопеленгаторів. Отже визначення місцезнаходження ДРВ зводиться до визначення пеленгаційних кутів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Завадовим ДРВ є тоді, коли робочі частоти його і корисного ДРВ співпадають або близькі настільки, що не можуть бути розділені пеленгатором. Однозначне пеленгування радіохвиль від таких ДРВ називається вибірним пеленгуванням.

Відомі методи вибірного пеленгування [1–24] можна поділити на такі, що використовують:

- ✓ часову селекцію (рознесення в часі);
- ✓ частотну селекцію (зсув по частоті);
- ✓ просторову селекцію (формування спеціальних діаграм направленості);
- ✓ модуляційну селекцію (відбір за часовими подобами);
- ✓ спектральну селекцію (відбір за спектральними подобами);
- ✓ поляризаційну селекцію (відбір за видом поляризації),
- ✓ інтерференційну селекцію (добавляння до суміші корисного та завадового сигналів суміші, в якій один з сигналів у протифазі до одного з сигналів у первинній суміші).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З наведеного переліку методів вибірного пеленгування та їх основних недоліків випливає, що серед цих методів немає однозначного лідера. Кожен з перерахованих методів має ті чи інші недоліки, пов'язані з додатковими часовими та апаратними затратами, і не дає можливості достовірного визначення кутових координат ДРВ в умовах значного завантаження діапазону радіочастот за наявності завад різних типів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Запропоновані методи вибірного пеленгування повинні поєднувати в собі переваги та усувати недоліки перерахованих методів.

Метою роботи є обґрунтування методу та алгоритмів вибірного радіопеленгування поверхневих і просторових радіохвиль з довільною поляризацією за їх поточними значеннями на основі використання фазової селекції, що є складовою частиною радіовизначення місцезнаходження завадового ДРВ для підвищення заводозахищеності інформаційних радіосистем.

Викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

1. Загальні дані

Розв’язання поставленої задачі здійснено при застосуванні антенних систем з суміщеними в одному фазовому центрі елементарними антенами (штирями та рамками).

Повна антенна система з суміщеними фазовими центрами складається з суміщених в одному фазовому центрі трьох штирів та трьох рамок. Два штирі розміщені горизонтально взаємно перпендикулярно, а один – вертикально. Рамки – навпаки: дві вертикально взаємно перпендикулярно, а одна – горизонтально. При цьому орієнтація першого горизонтального штиря та першої вертикальної рамки – „Північ–Південь”, других – „Схід–Захід”.

На виходах вказаних штирів та рамок під дією радіохвилі виникають сигнали, що описуються системою рівнянь (1.1):

$$\left. \begin{aligned}
 u_{шпп} \{ \omega t \} &= h_0 (E_e \sin \beta \cos \alpha \cos(\omega t + \varphi_0) - E_z \sin \alpha \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\
 u_{шсз} \{ \omega t \} &= h_0 (E_e \sin \beta \sin \alpha \cos(\omega t + \varphi_0) + E_z \cos \alpha \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\
 u_{ш} \{ \omega t \} &= h_0 E_e \cos \beta \cos(\omega t + \varphi_0) \\
 u_{рпп} \{ \omega t \} &= 2h_0 (-E_e \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta) \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi) + \\
 &+ E_e (\cos \beta \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha) + \sin \beta \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta) \cos \alpha) \sin(\omega t + \varphi_0)) \\
 u_{рсз} \{ \omega t \} &= 2h_0 (E_e \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta) \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi) + \\
 &+ E_e (\cos \beta \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha) + \sin \beta \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta) \sin \alpha) \sin(\omega t + \varphi_0)) \\
 u_p \{ \omega t \} &= 2h_0 (E_e \sin \beta (\sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha) \sin \alpha - \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha) \cos \alpha) \sin(\omega t + \varphi_0) + \\
 &+ E_e (\sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha) \cos \alpha + \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha) \sin \alpha) \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi))
 \end{aligned} \right\}, \quad (1.1)$$

де $u_{шпп} \{ \omega t \}$, $u_{шсз} \{ \omega t \}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах горизонтальних штирів „Північ–Південь” та „Схід–Захід” відповідно;

$u_{рпп} \{ \omega t \}$, $u_{рсз} \{ \omega t \}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах вертикальних рамок „Північ–Південь” та „Схід–Захід” відповідно;

$u_{ш} \{ \omega t \}$, $u_p \{ \omega t \}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах вертикального штиря та горизонтальної рамки відповідно;

h_0 , d – діюча та фізична довжина антенного елемента (штиря) відповідно;

E_e , E_z – амплітудні значення вертикальної та горизонтальної складової електричної напруженості радіохвилі відповідно;

α , β – кути приходу радіохвилі в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

φ_0 , $\varphi_0 + \psi$ – початкові фази вертикальної та горизонтальної складової електричної напруженості радіохвилі відповідно;

λ – довжина радіохвилі;

$\{ \}$ – позначення функціональної залежності.

Якщо розміри антени d порівняно з довжиною радіохвилі λ такі, що $\pi d \ll \lambda$, то маємо (1.2):

$$\left. \begin{aligned}
 \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta) &\approx \frac{\pi d}{\lambda} \sin \beta \\
 \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha) &\approx \frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha \\
 \sin(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha) &\approx \frac{\pi d}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha
 \end{aligned} \right\}. \quad (1.2)$$

З урахуванням (1.2) система (1.1) спрощується до системи (1.3):

$$\left. \begin{aligned} u_{шПП} \{\omega t\} &= h_{\delta} (E_{\varepsilon} \sin \beta \cos \alpha \cos(\omega t + \varphi_0) - E_{\varepsilon} \sin \alpha \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\ u_{шСЗ} \{\omega t\} &= h_{\delta} (E_{\varepsilon} \sin \beta \sin \alpha \cos(\omega t + \varphi_0) + E_{\varepsilon} \cos \alpha \cos(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\ u_{ш} \{\omega t\} &= h_{\delta} E_{\varepsilon} \cos \beta \cos(\omega t + \varphi_0) \\ u_{рПП} \{\omega t\} &= h_{\rho} (E_{\varepsilon} \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_0) - E_{\varepsilon} \sin \beta \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\ u_{рСЗ} \{\omega t\} &= h_{\rho} (E_{\varepsilon} \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_0) + E_{\varepsilon} \sin \beta \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi)) \\ u_{\rho} \{\omega t\} &= h_{\rho} E_{\varepsilon} \cos \beta \sin(\omega t + \varphi_0 + \psi) \end{aligned} \right\}, \quad (1.3)$$

де $h_{\rho} = 2 \frac{\pi d}{\lambda} h_{\delta}$ – діюча довжина (висота) рамки.

Аналіз системи (1.3) показує: 1) в горизонтальній площині (відносно пеленга α) вертикальний штир та горизонтальна рамка є ненаправленими, а два горизонтальні штирі та дві вертикальні рамки – направленими; 2) у вертикальній площині (відносно кута місця β) ненаправленими є тільки горизонтальні штирі, причому тільки для горизонтальних складових електричної напруженості радіохвилі. При цьому система (1.3) має однозначний розв’язок відносно пеленгацій них кутів α та β .

За наявності заводового ДРВ система (1.3) перетворюється в систему (1.4):

$$\left. \begin{aligned} u_{шПП} \{\omega t\} &= h_{\delta} ((E_{\varepsilon\kappa} \sin \beta_{\kappa} \cos \alpha_{\kappa} \cos(\omega t + \varphi_{0\kappa}) - E_{\varepsilon\kappa} \sin \alpha_{\kappa} \cos(\omega t + \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa})) + \\ &+ (E_{\varepsilon\beta} \sin \beta_{\beta} \cos \alpha_{\beta} \cos(\omega t + \varphi_{0\beta}) - E_{\varepsilon\beta} \sin \alpha_{\beta} \cos(\omega t + \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta})) \\ u_{шСЗ} \{\omega t\} &= h_{\delta} ((E_{\varepsilon\kappa} \sin \beta_{\kappa} \sin \alpha_{\kappa} \cos(\omega t + \varphi_{0\kappa}) + E_{\varepsilon\kappa} \cos \alpha_{\kappa} \cos(\omega t + \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa})) + \\ &+ (E_{\varepsilon\beta} \sin \beta_{\beta} \sin \alpha_{\beta} \cos(\omega t + \varphi_{0\beta}) + E_{\varepsilon\beta} \cos \alpha_{\beta} \cos(\omega t + \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta})) \\ u_{ш} \{\omega t\} &= h_{\delta} (E_{\varepsilon\kappa} \cos \beta_{\kappa} \cos(\omega t + \varphi_{0\kappa}) + E_{\varepsilon\beta} \cos \beta_{\beta} \cos(\omega t + \varphi_{0\beta})) \\ u_{рПП} \{\omega t\} &= h_{\rho} ((E_{\varepsilon\kappa} \cos \alpha_{\kappa} \sin(\omega t + \varphi_{0\kappa}) - E_{\varepsilon\kappa} \sin \beta_{\kappa} \sin \alpha_{\kappa} \sin(\omega t + \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa})) + \\ &+ (E_{\varepsilon\beta} \cos \alpha_{\beta} \sin(\omega t + \varphi_{0\beta}) - E_{\varepsilon\beta} \sin \beta_{\beta} \sin \alpha_{\beta} \sin(\omega t + \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta})) \\ u_{рСЗ} \{\omega t\} &= h_{\rho} ((E_{\varepsilon\kappa} \sin \alpha_{\kappa} \sin(\omega t + \varphi_{0\kappa}) + E_{\varepsilon\kappa} \sin \beta_{\kappa} \cos \alpha_{\kappa} \sin(\omega t + \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa})) + \\ &+ (E_{\varepsilon\beta} \sin \alpha_{\beta} \sin(\omega t + \varphi_{0\beta}) + E_{\varepsilon\beta} \sin \beta_{\beta} \cos \alpha_{\beta} \sin(\omega t + \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta})) \\ u_{\rho} \{\omega t\} &= h_{\rho} (E_{\varepsilon\kappa} \cos \beta_{\kappa} \sin(\omega t + \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa}) + E_{\varepsilon\beta} \cos \beta_{\beta} \sin(\omega t + \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta})) \end{aligned} \right\}, \quad (1.4)$$

де $E_{\varepsilon\kappa}, E_{\varepsilon\beta}$ – амплітудні значення вертикальної та горизонтальної складових електричної напруженості корисного радіосигналу відповідно;

$\alpha_{\kappa}, \beta_{\kappa}$ – кути приходу корисного радіосигналу в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

$\varphi_{0\kappa}, \varphi_{0\kappa} + \psi_{\kappa}$ – початкові фази вертикальної та горизонтальної складових електричної напруженості корисного радіосигналу відповідно;

$E_{\varepsilon\beta}, E_{\varepsilon\beta}$ – амплітудні значення вертикальної та горизонтальної складових електричної напруженості заводового радіосигналу відповідно;

$\alpha_{\beta}, \beta_{\beta}$ – кути приходу заводового радіосигналу в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

$\varphi_{0\beta}, \varphi_{0\beta} + \psi_{\beta}$ – початкові фази вертикальної та горизонтальної складових електричної напруженості заводового радіосигналу відповідно.

Аналіз системи рівнянь (1.4) показує, що в загальному випадку немає однозначного розв’язку відносно пар кутів $\alpha_{\kappa}, \beta_{\kappa}$ та $\alpha_{\beta}, \beta_{\beta}$. Але якщо віднайти моменти часу, коли поточні значення одного з сигналів (корисного або заводового) нульові, то виникає можливість однозначного визначення пеленгаційних кутів іншого (заводового або корисного) сигналу [25].

Надалі розглянемо окремо радіохвилі з вертикальною ($E_{\varepsilon} > 0, E_{\varepsilon\beta} > 0, E_{\varepsilon} = E_{\varepsilon\beta} = 0$) та горизонтальною ($E_{\varepsilon} > 0, E_{\varepsilon\beta} > 0, E_{\varepsilon} = E_{\varepsilon\beta} = 0$) поляризаціями для випадків, коли радіохвилі поверхневі ($\beta = \beta_{\beta} = 0$) та просторові ($\beta > 0, \beta_{\beta} > 0$).

2. Визначення пеленгацій них кутів двох ДРВ вертикальної поляризації.

2.1. Випадок поверхневих радіохвиль вертикальної поляризації.

У цьому випадку система (1.4) спрощується до системи (2.1):

$$\left. \begin{aligned} u_{uIII} \{\omega t\} &= 0 \\ u_{uC3} \{\omega t\} &= 0 \\ u_u \{\omega t\} &= h_o (E_{ek} \cos(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \cos(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_{pIII} \{\omega t\} &= h_p ((E_{ek} \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \cos \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_{pC3} \{\omega t\} &= h_p ((E_{ek} \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \sin \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_p \{\omega t\} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

З системи (2.1) випливає:

1) горизонтальні штирі та горизонтальна рамка можуть не використовуватись;
 2) якщо $\omega t + \varphi_{0k} = k\pi$ або $\omega t + \varphi_{03} = k\pi$ (де $k = 1, 2, 3, \dots$), то поточні значення корисного та завадового сигналів відповідно приймають нульові значення на виходах вертикального штиря (із затримкою фази після нього на $\frac{\pi}{2}$) та вертикальних рамок,

3) попереднє настає тоді, коли виконується умова:

$$\sqrt{u_{pIII}^2 \{\omega t\} + u_{pC3}^2 \{\omega t\}} = \frac{h_p}{h_o} u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\},$$

4) у моменти виконання вищенаведеної умови пеленгаційні кути обчислюються за виразами (2.2):

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arctg \frac{u_{pC3} \{\omega t\} \text{sign}(u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\})}{u_{pIII} \{\omega t\} \text{sign}(u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\})} \\ \beta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де $\text{sign}\{\}$ – сигнум-функція.

Результатом пеленгування є дві пари пеленгаційних кутів α_k, β_k та α_3, β_3 .

2.2. Випадок просторових радіохвиль вертикальної поляризації

В цьому випадку система (1.4) спрощується до системи (2.3):

$$\left. \begin{aligned} u_{uIII} \{\omega t\} &= h_o (E_{ek} \sin \beta_k \cos \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \sin \beta_3 \cos \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_{uC3} \{\omega t\} &= h_o (E_{ek} \sin \beta_k \sin \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \sin \beta_3 \sin \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_u \{\omega t\} &= h_o (E_{ek} \cos \beta_k \cos(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \cos \beta_3 \cos(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_{pIII} \{\omega t\} &= h_p (E_{ek} \cos \alpha_k \sin(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \cos \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_{pC3} \{\omega t\} &= h_p (E_{ek} \sin \alpha_k \sin(\omega t + \varphi_{0k}) + E_{e3} \sin \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03})) \\ u_p \{\omega t\} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

З системи (2.3) випливає:

1) горизонтальна рамка може не використовуватись;
 2) якщо $\omega t + \varphi_{0k} = k\pi$ або $\omega t + \varphi_{03} = k\pi$ (де $k = 1, 2, 3, \dots$), то поточні значення корисного та завадового сигналів відповідно приймають нульові значення на виходах штирів (із затримкою фази після них на $\frac{\pi}{2}$) та рамок;

3) попереднє настає тоді, коли виконується умова:

$$\sqrt{u_{pIII}^2 \{\omega t\} + u_{pC3}^2 \{\omega t\}} = \frac{h_p}{h_o} \sqrt{u_{uIII}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} + u_{uC3}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} + u_u^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\}};$$

4) у моменти виконання вищенаведеної умови пеленгаційні кути обчислюються за виразами (2.4):

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arctg \frac{u_{pC3} \{\omega t\} \text{sign}(u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\})}{u_{pIII} \{\omega t\} \text{sign}(u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\})} \\ \beta &= \arccos \frac{\frac{h_p}{h_o} u_u \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\}}{\sqrt{u_{pIII}^2 \{\omega t\} + u_{pC3}^2 \{\omega t\}}} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Результатом пеленгування також є дві пари пеленгаційних кутів α_k, β_k та α_3, β_3 .

3. Визначення пеленгаційних кутів двох ДРВ горизонтальної поляризації.

3.1. Випадок поверхневих радіохвиль горизонтальної поляризації.

У цьому випадку система (1.4) спрощується до системи (3.1):

$$\left. \begin{aligned} u_{шIII} \{\omega t\} &= -h_0 (E_{zk} \sin \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \sin \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_{шC3} \{\omega t\} &= h_0 (E_{zk} \cos \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \cos \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_{ш} \{\omega t\} &= 0 \\ u_{рIII} \{\omega t\} &= 0 \\ u_{рC3} \{\omega t\} &= 0 \\ u_p \{\omega t\} &= h_p (E_{zk} \sin(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \sin(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

З системи (3.1) випливає:

- 1) вертикальний штир та вертикальні рамки можуть не використовуватись;
- 2) якщо $\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k = k\pi$ або $\omega t + \varphi_{03} + \psi_3 = k\pi$ (де $k = 1, 2, 3, \dots$), то поточні значення корисного та завадового сигналів відповідно приймають нульові значення на виходах горизонтальних штирів (із затримкою фази після них на $\frac{\pi}{2}$) та горизонтальної рамки;

3) попереднє настає тоді, коли виконується умова:

$$\sqrt{u_{шIII}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} + u_{шC3}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\}} = \frac{h_0}{h_p} u_p \{\omega t\};$$

4) у моменти виконання вищенаведеної умови пеленгаційні кути обчислюються за виразами (3.2):

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arctg \frac{-u_{шIII} \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} \text{sign}(u_p \{\omega t\})}{u_{шC3} \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} \text{sign}(u_p \{\omega t\})} \\ \beta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Результатом пеленгування також є дві пари пеленгаційних кутів α_k , β_k та α_3 , β_3 .

3.2. Випадок просторових радіохвиль горизонтальної поляризації.

У цьому випадку система (1.4) спрощується до системи (3.3):

$$\left. \begin{aligned} u_{шIII} \{\omega t\} &= -h_0 (E_{zk} \sin \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \sin \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_{шC3} \{\omega t\} &= h_0 (E_{zk} \cos \alpha_k \cos(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \cos \alpha_3 \cos(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_{ш} \{\omega t\} &= 0 \\ u_{рIII} \{\omega t\} &= -h_p (E_{zk} \sin \beta_k \sin \alpha_k \sin(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \sin \beta_3 \sin \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_{рC3} \{\omega t\} &= h_p (E_{zk} \sin \beta_k \cos \alpha_k \sin(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \sin \beta_3 \cos \alpha_3 \sin(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \\ u_p \{\omega t\} &= h_p (E_{zk} \cos \beta_k \sin(\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k) + E_{z3} \cos \beta_3 \sin(\omega t + \varphi_{03} + \psi_3)) \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

З системи (3.3) випливає:

- 1) горизонтальна рамка може не використовуватись;
- 2) якщо $\omega t + \varphi_{0k} + \psi_k = k\pi$ або $\omega t + \varphi_{03} + \psi_3 = k\pi$ (де $k = 1, 2, 3, \dots$), то поточні значення корисного та завадового сигналів відповідно приймають нульові значення на виходах штирів (із затримкою фази після них на $\frac{\pi}{2}$) та рамок;

3) попереднє настає тоді, коли виконується умова:

$$\sqrt{u_{шIII}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} + u_{шC3}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\}} = \frac{h_0}{h_p} \sqrt{u_{рIII}^2 \{\omega t\} + u_{рC3}^2 \{\omega t\} + u_p^2 \{\omega t\}};$$

4) в моменти виконання вищенаведеної умови пеленгаційні кути обчислюються за виразами (3.4):

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arctg \frac{u_{\text{шп}} \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} \text{sign}(u_p \{ \omega t \})}{u_{\text{шсз}} \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} \text{sign}(u_p \{ \omega t \})} \\ \beta &= \arccos \frac{\frac{h_o}{h_p} u_p \{ \omega t \}}{\sqrt{u_{\text{шп}}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\} + u_{\text{шсз}}^2 \left\{ \omega t - \frac{\pi}{2} \right\}}} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

І в цьому випадку, як і у всіх попередніх, результатом пеленгування є дві пари пеленгаційних кутів α_k , β_k та α_3 , β_3 .

Висновки з даного дослідження. Запропоновані алгоритми вибірного пеленгування дозволяють вирішити проблему радіовизначення заводових ДРВ, що, в свою чергу, підвищує заводозахисність інформаційних радіосистем. Задача розв'язана на основі застосування фазової селекції для поверхневих і просторових радіохвиль з вертикальною та горизонтальною поляризаціями. При цьому на ефективність пеленгування не впливають такі фактори, як збіг часових інтервалів корисного та заводового випромінювання, їх робочих частот, напрямків приходу (пеленгаційних кутів) та часових і спектральних образів. Перепоною є тільки збіг їх фаз.

Перспективою подальших розвідок у даному напрямку є підвищення заводозахисності радіопеленгації за наявності інших чинників спотворення сигналів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. Часть 2: Антенны. – М.: Радио и связь, 1983. – 294 с.
2. Вартанесян В.А. Гойхман Э.Ш., Рогаткин М. И. Радиопеленгация. – М.: Воениздат, 1960. – 248 с.
3. Вартанесян В.А. Гойхман Э.Ш., Рогаткин М. И. Радиоэлектронная разведка. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1991. – 256 с.
4. Долуханов М.П. Распространение радиоволн: Учебник для вузов. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
5. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. Радио, 1964.
6. Кулес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. – М.: Сов. радио, 1964. – 640 с.
7. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.
8. Мезин В.К. Радиопеленгация. – Изд.-во ВАС, 1975.
9. Милкин В.И. Методика оценочного определения местоположения источников излучений импульсных радиосистем при многолучевом распространении радиоволн // Материалы научно-технической конференции МГТУ. – М.: МГТУ, 2000.
10. Пашей А.И. Радиоэлектронная борьба. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
11. Пестряков В.Б., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
12. Царьков Н.М. Многоканальные радиолокационные измерители. – М.: Сов. радио, 1980.
13. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. радио, 1972. – 464 с.
14. Электрическое подавление помех по принципу интерференции: Св. пер. с нем. В. Беседина. – <http://www.cqham.ru/int8.htm>.
15. А.с. СССР, МКИ G01S 3/00, заявка №2442701/18-09 от 17.01.72.
16. А.с. СССР № 572131, МКИ4 G01S 3/10, заявка № 2322485/09 от 10.02.76.
17. А.с. СССР № 258753 от 03.08.87, МКИ4 G01S 3/00, заявка № 3140185 от 16.04.86.
18. А.с. СССР № 673127, МКИ G01S 3/00, заявка № 2500711/18-09 от 27.06.77.
19. А.с. СССР № 705867, МКИ G01S 3/00, заявка № 2516779/18-09 от 11.08.77.
20. А.с. СССР № 1480577, МКИ G01S 3/00, заявка № 4166794/24-09 от 29.12.86.
21. Патент США № 3 781 886, МКИ G01S 9/02, заявка от 1973.
22. Патент США № 3 849 779, МКИ G01S 9/08, заявка от 1974.
23. Патент ФРГ № 2925723, МКИ G01S 3/30, заявка от 1980.
24. Патент ФРГ № 2113857, МКИ G01S 3/30, заявка от 1981.
25. 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 / Технічні науки. – 2000. – № 13. – С. 92–98.

КОВАЛЬЧУК Валерій Тадеушович – здобувач кафедри автоматизації управління технічними системами Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– дослідження в галузі радіотехніки та цифрової обробки сигналів.

Тел.: 8-067-410-33-78.

E-mail: vtk@saniko.com.ua

ПОВІДАЙКО Петро Михайлович – кандидат технічних наук, доцент Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– дослідження в галузі радіотехніки та цифрової обробки сигналів.

Тел.: 8-067-789-44-12.

E-mail: ppm@ztu.edu.ua

Подано 03.04.2007