

УДК 621.39

Д.В. Карлов¹, М.М. Журавський²¹ Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків² Національний університет цивільного захисту України, Харків

СИНТЕЗ АЛГОРИТМУ ВІЯВЛЕННЯ ІОНОСФЕРНИХ ЗБУРЕНЬ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НЕКОГЕРЕНТНО РОЗСІЯНИХ ІОНОСФЕРОЮ СИГНАЛІВ РАДІОХВИЛЬ

У статті, на основі використання інформації про іоносфері, отриманої методом некогерентного розсіяння радіохвиль, завдання виявлення збурень в іоносфері формалізується у рамках статистичної теорії виявлення. З цією метою сформулюємо в рамках методу некогерентного розсіяння радіохвиль модель корисного сигналу і перешкоди. При цьому з використанням класичної процедури перевірки статистичних гіпотез в умовах часткової апріорної невизначеності проведемо синтез оптимального алгоритму виявлення обурення за критерієм мінімуму усередненого апостеріорного ризику. Отримаємо вираз для відношення правдоподібності і встановимо його залежність від функції дисперсії флуктуації по дальності потужності некогерентно розсіяного іоносферою сигналу.

Ключові слова: іоносфера, метод некогерентного розсіяння радіохвиль, модель корисного сигналу та перешкоди, часткова апріорна невизначеність, оптимальний алгоритм виявлення, критерій мінімуму усередненого апостеріорного ризику, відношення правдоподібності.

Вступ

Постановка проблеми. Найбільш інформативним методом, що дозволяє отримати дані про середовище поширення, є метод некогерентного розсіяння радіохвиль (НРР) [1, 3, 12, 13]. Однією з особливостей методу НРР є те, що в процесі зондування іоносфери сигнал у вигляді розсіяної радіохвилі реєструється, як правило, при досить низькому відношенні сигнал/шум і, до того ж, на фоні всіляких перешкод.

У цьому випадку захист від активних і пасивних перешкод здійснюється за рахунок введення статистичної обробки даних та використання спеціалізованих алгоритмів розрахунку параметрів середовища, що в підсумку дозволяє вийти на досить високий рівень достовірності досліджень різних іоносферних ефектів. Особливості використання методу НРР в радіолокаційних станціях (РЛС) дальнього виявлення раніше аналізувалися в [2, 10, 11, 12]. У [7, 8, 10] розглядалися також завдання використання даного мето-

ду для виявлення іоносферних збурень. Був запропонований спосіб виявлення збурень, заснований на аналізі зміни в часі потужності $p_s(t)$ сигналу, розсіяного електронами області F2 іоносфери. Головна умова застосування запропонованого в [10] способу виявлення збурень полягає в тому, що збурення повинно супроводжуватися досить швидкою зміною концентрації електронів одночасно у всій товщі області F2 іоносфери. Цю умову слід розглядати і як недолік, бо збурення можуть у ряді випадків охоплювати не всю товщу області F2 іоносфери, а лише її частину. **Метою даної статті** є синтез алгоритму виявлення збурень, який більш повно враховує можливий характер просторово-часових варіацій [4, 5, 6, 9, 10].

Основна частина

1. Постановка задачі.

Модель сигналу та перешкоди

Вважаємо, що методом некогерентного розсіювання радіохвиль на РЛС дальнього виявлення метрового діапазону хвиль вимірюється потужність p_s сигналу, розсіяного електронами іоносфери, як функція поточної дальності r . Вимірювання проводяться з дискретністю Δr , обраною таким чином, щоб сусідні відліки p_s були статистично незалежними. На етапі вимірювання потужності $p_s(t)$ некогерентно розсіяних сигналів проводиться усереднення відліків суміші розсіяного іоносферою сигналу з шумом за певне число (m) тактів зондування іоносфери. В результаті i -му значенням відліку p_{si} можливо зіставити вимірне значення x_i суміші сигналу з шумом. При цьому на інтервалі вимірювання ΔR приймає значення $i = 1, 2 \dots L$, де $L = \Delta R \Delta r - 1$. Оскільки величини x_i є випадковими і статистично незалежними, то закон їх розподілу, відповідно до «закона великих чисел» теорії ймовірності є нормальним:

$$F(x_i) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_i}} \exp\left\{-\frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{2\sigma_{x_i}^2}\right\}, \quad (1)$$

де \bar{x}_i і $\sigma_{x_i}^2$ – середнє значення і дисперсія величини x_i відповідно. Як показано в ряді робіт (наприклад, [2, 13, 14]) з теорії та практики методу некогерентного розсіювання радіохвиль, середнє значення \bar{x}_i суміші сигналу з шумом дорівнює потужності p_{si} некогерентно розсіяного (НР) сигналу.

Таким чином, величина x_i є оцінкою потужності НР сигналу, прийнятого з i -ї ділянки відстані, \bar{x}_i – її істинним значенням, а $\sigma_{x_i}^2$ – дисперсією оцінки потужності p_{si} . Формалізуємо завдання виявлення іоносферних збурень методом НРР в рамках статистичної теорії виявлення [15, 16].

2. Модель перешкоди

Виявлення іоносферних збурень проводиться на фоні природної іоносфери. Отже, перешкодою в

розглянутій задачі будуть статистично незалежні значення x_i ($i = 1, 2 \dots L$), отримані в умовах природної (незбуреної) іоносфери, закон розподілу якої визначається співвідношенням (1), а залежність \bar{x}_i від i визначається залежністю концентрації електронів від дальності. Відповідно до [17], для природної іоносфери в межах ділянки виміру ΔR величину \bar{x}_i можна представити у вигляді

$$\bar{x}_i = \alpha_0 - \alpha_1(i - i_0) + \alpha_2(i - i_0)^2, \quad (2)$$

де i_0 – середина інтервалу вимірювання; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – параметри, що визначають розподіл середнього значення електронної концентрації по дальності. Враховуючи статистичну незалежність відліків \bar{x}_i , щільність ймовірності перешкодової реалізації $P_n(x/\alpha)$ визначимо співвідношенням

$$P_n\left(\frac{x}{\alpha}\right) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} \sqrt{\det R_x}} \exp\left\{-\frac{(x - \bar{x})^T R_x^{-1} (x - \bar{x})}{2}\right\}, \quad (3)$$

де α – вектор невідомих параметрів $\langle \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 \rangle$, $(x - \bar{x})$ – вектор-стовпець розмірністю $L * 1$, R_x^{-1} – матриця, зворотна кореляційної матриці R_x перешкоди,

$$(x - \bar{x}) = \begin{pmatrix} (x_1 - \bar{x}_1) \\ (x_2 - \bar{x}_2) \\ \dots \\ (x_L - \bar{x}_L) \end{pmatrix}, \quad R_x = \begin{pmatrix} \sigma_{x_1}^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_{x_2}^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_{x_L}^2 \end{pmatrix}$$

3. Модель суміші сигналу з перешкодою

Варіації потужності розсіяних сигналів, зумовлені наявністю іоносферних збурень, позначимо S_i . У цьому випадку, щільність ймовірності i -того вимірювання потужності розсіяного сигналу за умови наявності збурення визначається співвідношенням:

$$P_{cn}\left(\frac{x_i}{S_i}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{x_i S_i}} \exp\left\{-\frac{(x_i - \bar{x}_i - S_i)^2}{2\sigma_{x_i S_i}^2}\right\}$$

де S_i – варіація (зменшення або збільшення) потужності розсіяного сигналу на дальності r_i , обумовлена іоносферним збуренням, $\sigma_{x_i S_i}^2$ – дисперсія оцінки потужності розсіяного сигналу при наявності збурення.

Оскільки відліки x_i незалежні, спільну щільність ймовірності реалізації суміші сигналу з перешкодою представимо співвідношенням

$$P_{cn}\left(\frac{x}{S}\right) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} \sqrt{\det R_{xS}}} \times \exp\left\{-\frac{(x - \bar{x} - S)^T W_{xS} (x - \bar{x} - S)}{2}\right\}, \quad (4)$$

W_{XS} – матриця, зворотна кореляційної,

$$R_{XS} = \begin{pmatrix} \sigma_{xS_1}^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_{xS_2}^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_{xS_L}^2 \end{pmatrix},$$

$$(x - \bar{x} - S) = \begin{pmatrix} (x_1 - \bar{x}_1 - S_1) \\ (x_2 - \bar{x}_2 - S_2) \\ \dots \\ (x_L - \bar{x}_L - S_L) \end{pmatrix}$$

Для подальших розрахунків необхідно конкретизувати залежність від дальності (від i) величини S . Оскільки час появи збурень невідомий, а варіація потужності розсіяного сигналу в загальному випадку може бути як позитивною, так і негативною, доцільно вважати, що залежність $S(r)$ є випадковою функцією з щільністю ймовірності $P(S_i)$ випадкових величин S_i , заданих співвідношенням

$$P(S) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} \sqrt{\det R_S}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} S^T W_S S \right\}, \quad (5)$$

де R_i – кореляційна матриця варіації S ; W_S – матриця, зворотна кореляційній R_i .

Використовуючи (4) і (5), знаходимо спільну щільність ймовірності реалізації суміші сигналу з перешкодою

$$P_{cn}(X) = \int \left((2\pi)^L \sqrt{\det R_{XS} \det R_{XS}} \right)^{-1} \times e^{-\frac{1}{2} (x - \bar{x} - S)^T W_{XS} (x - \bar{x} - S) - \frac{1}{2} S^T W_S S} ds. \quad (6)$$

Елементи кореляційної матриці R_{XS} в загальному випадку залежать від випадкової функції $S(r)$. Ми ж будемо розглядати найбільш несприятливу ситуацію, коли відношення потужності сигналу, розсіяного електронами як незбуреної, так і збуреної іоносфери, до потужності шуму приймача менше одиниці. У цьому випадку, дисперсії $\sigma_{x_i}^2$ і $\sigma_{xS_i}^2$ не залежать від потужності перешкоди та визначаються лише потужністю шуму приймача ($P_{ш}$) і інтервалом усереднення (W). З урахуванням зроблених припущень після нескладних, але громіздких перетворень, співвідношення 6 перетвориться до виду

$$P_{cn}(X) = \frac{1}{(2\pi)^{L/2} \sqrt{\det(R_X + R_S)}} e^{-\frac{1}{2} (x - \bar{x})^T (R_X + R_S)^{-1} (x - \bar{x})}$$

4. Синтез алгоритму виявлення іоносферного збурення

Розглянута задача, звелася до задачі виявлення флуктуації некорельованого стаціонарного гаусового сигналу невідомої інтенсивності на фоні некорельованої гаусової перешкоди з відомою дисперсією і невідомим, що змінюються по дальності серед-

нім значенням. Нестационарність перешкоди по середньому і відрізняє дану задачу від розглянутих раніше [15].

Синтез алгоритму виявлення іоносферного збурення будемо проводити, використовуючи класичну процедуру перевірки статистичних гіпотез в умовах часткової апіорної невизначеності [15]. Дотримуючись [15], ми повинні за результатами вимірювань, тобто за сукупністю значень x_i ($i = 1, 2 \dots L$), прийняти рішення: до якого з двох заданих класів розподілів і щільності ймовірностей $p_n(x)$ або $p_{cn}(x)$ відноситься закон розподілу, що описує спостережувану реалізацію. Оптимальне вирішальне правило, складене за критерієм мінімуму усередненого апостеріорного ризику [18], при цьому зводиться, по-перше, до знаходження оцінки максимальної правдоподібності невідомих параметрів для гіпотези "перешкода" і гіпотези "сигнал з перешкодою" (параметри $\langle \alpha_0, \alpha_1, \sigma_s^2 \rangle$), по-друге, до формування відношення правдоподібності λ (або $\ln \lambda$)

$$\lambda = \frac{P_{cn}(x / \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\sigma}_s^2)}{P_n(x / \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2)}, \quad (7)$$

де $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ – оцінки максимальної правдоподібності невідомих параметрів, отриманих для гіпотези «перешкода»; $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\sigma}_s^2$ – оцінки максимальної правдоподібності невідомих параметрів, отриманих для гіпотези «сигнал з перешкодою».

По-третє, по порівнянню відносини правдоподібності λ з порогом λ_0 . Якщо $\lambda \geq \lambda_0$, то приймається рішення про наявність збурення («сигнал є»), якщо $\lambda < \lambda_0$, то «сигнал відсутній».

Оцінка максимальної правдоподібності параметрів $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ проводиться шляхом вирішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)}{\partial \alpha_0} = 0, \\ \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)}{\partial \alpha_1} = 0, \\ \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)}{\partial \alpha_2} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

а параметрів $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\sigma}_s^2$ – системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \sigma_s^2)}{\partial \alpha_0} = 0, \\ \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \sigma_s^2)}{\partial \alpha_1} = 0, \\ \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \sigma_s^2)}{\partial \alpha_2} = 0, \\ \frac{\partial P_n(x / \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \sigma_s^2)}{\partial \sigma_s^2} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Підставивши в (7) знайдені в результаті рішення системи рівнянь (8) і (9) оцінки, $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$, $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\sigma}_s^2$ отримаємо розрахункове співвідношення для відношення правдоподібності:

$$\lambda = \left(1 + \frac{\hat{\sigma}_s^2}{\sigma_x^2} \right)^{L/2} \exp \left\{ \frac{L}{2} \frac{\hat{\sigma}_s^2}{\sigma_x^2} \right\}, \quad (10)$$

$$\text{де } \hat{\sigma}_s^2 = \frac{\sum_{i=1}^L (x_i - \tilde{x}_2)^2}{L} - \sigma_x^2, \quad (11)$$

$$\hat{x}_1 = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1(i - i_0) + \hat{\alpha}_2(i - i_0)^2, \quad \sigma_{x_i}^2 = P_{ш} W^{-1}$$

При цьому, оскільки, алгоритм отримання оцінок невідомих параметрів $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ є одним і тим же як для гіпотези «перешкода», так і для гіпотези «сигнал-перешкода», то в (12) припускаємо

$$\hat{\alpha}_0 = \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1 = \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2 = \hat{\alpha}_2.$$

Розрахункове співвідношення для λ_0 отримаємо за методикою, викладеною в [15], і вважаючи, що гіпотези перешкоди «перешкоди» та «сигнал з перешкодою» різновірогідні, а також враховуючи, що «перешкода» і «сигнал» статистично незалежні, отримаємо

$$\lambda_0 = \frac{1}{P_{IS}(\sigma_s^2)} \sqrt{\frac{\det D_1}{2\pi \det D_2}}, \quad (12)$$

де $P_{IS}(\sigma_s^2)$ - апіорна щільність ймовірності σ_s^2 ;

$$D_1 = C_1 \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \\ \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_5 & \alpha_6 \\ \alpha_3 & \alpha_5 & \alpha_7 & \alpha_8 \\ \alpha_4 & \alpha_6 & \alpha_8 & \alpha_9 \end{vmatrix}, \quad D_2 = C_2 \begin{vmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_5 \\ \alpha_3 & \alpha_5 & \alpha_7 \end{vmatrix}$$

$$\alpha_1 = L, \quad \alpha_2 = \sum_{i=1}^L (i - i_0), \quad \alpha_3 = \sum_{i=1}^L (i - i_0)^2,$$

$$\alpha_4 = C_1 \sum_{i=1}^L (x_i - \hat{x}_1), \quad \alpha_5 = \sum_{i=1}^L (i - i_0)^3,$$

$$\alpha_6 = C_1 \sum_{i=1}^L (x_i - \hat{x}_1)(i - i_0), \quad \alpha_7 = \sum_{i=1}^L (i - i_0)^4,$$

$$\alpha_8 = C_1 \sum_{i=1}^L (x_i - \hat{x}_1)(i - i_0)^2, \quad \alpha_9 = 0, 5 C_1 L,$$

$$C_1 = (\sigma_x^2 + \tilde{\sigma}_s^2), \quad C_2 = \sigma_x^{-2}$$

Таким чином, алгоритм виявлення іоносферного збурення зводиться до наступного.

По-перше, до визначення залежності середнього значення перешкоди (\bar{x}_i) від дальності за результатами вимірювання потужності розсіяних сигналів (за сукупністю значень x_i). Ця процедура зводиться до знаходження $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$ за сукупністю значень x_i шляхом вирішення системи рівнянь (8).

По-друге, до знаходження «потужності іоносферного збурення», що зводиться до відшукування $\hat{\sigma}_s^2$

за співвідношенням (11). При цьому враховується, що $\hat{\alpha}_0 = \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1 = \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2 = \hat{\alpha}_2$ і дисперсія завади σ_s^2 є відомою.

По-третє, до знаходження за формулою (10) відношення правдоподібності λ , а за формулою (12) – величини порогу λ_0 . Апіорну щільність ймовірності $p_{is}(\sigma_s^2)$ "потужності іоносферного збурення" вважають рівномірної на інтервалі σ_s , який вибирають виходячи з того, що амплітуда негативного обурення не може бути більше максимального значення концентрації електронів природної іоносфери.

По-четверте, до порівняння вимірюваного значення λ з пороговим λ_0 і у випадку $\lambda \geq \lambda_0$ ухваленню рішення про наявність збурення, в іншому випадку ($\lambda < \lambda_0$) - про його відсутність.

Оскільки, відповідно до (10) відношення правдоподібності є монотонною функцією дисперсії флуктуації по дальності потужності некогерентно розсіяного сигналу, отже, порівняння відносини правдоподібності з порогом може бути замінено порівнянням з порогом величини.

Висновки

Враховуючи, що потужності сигналів, некогерентно розсіяних іоносферою пропорційні параметрам іоносфери, узагальнюючи отриманий результат, можливо зробити висновок про те, що для ухвалення рішення про наявність збурення необхідно порівняти з порогом дисперсію вимірюваного параметру.

Список літератури

1. Пазюра С.А. Физические процессы в ионосферной плазме, сопутствующие сильнейшим геокосмическим бурям / С.А. Пазюра: дис. канд. наук.- 2009. Харьков. Институт ионосферы – 158 с.
2. Карлов В.Д. Метод некогерентного рассеяния радиоволн / В.Д. Карлов, Г.Н. Ткачев. – Х. ВИРТА ПВО. 1984. – 60 с.
3. В.А. Пуляев, Д.А. Дзюбанов, И.Ф. Долман Определение параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн: монография. – Х.: Учебник НТУ ХПИ, 2010. – 240 с.
4. До питання про вимір швидкості переміщення іоносферних збурень методом некогерентного розсіяння радіохвиль з використанням спектрального способу / В.Д. Карлов, М.М. Журавський Д.В. Карлов, А.М. Чорний // Системи озброєння і військова техніка. Науковий журнал / МОУ, ХУПС імені Івана Кожедуба. – Харків, 2010. - № 2(22). – С. 119-121.
5. К вопросу об измерении скорости перемещения ионосферных возмущений методом некогерентного рассеяния радиоволн с применением корреляционного способа / В.Д. Карлов, М.Н. Журавский Д.В. Карлов, О.В. Ефимова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил / МОУ, ХУПС імені Івана Кожедуба. – Харків, 2010. -Вип.3(25). С. 54-57.
6. Алгоритм виявлення штучних іоносферних збурень при реалізації методу некогерентно розсіяних радіохвиль / В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, Д.В. Карлов,

М.М. Журавський // 7-ма наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011, 13-14 квітня.

7. Пристрій виявлення штучних іоносферних збурень за допомогою сигналів, некогерентно розсіяних іоносферою / В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, Д.В. Карлов, М.М. Журавський // 7-ма наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2011, 13-14 квітня.

8. Використання методу некогерентного розсіяння радіохвиль для виміру швидкості переміщення іоносферних збурень / Карлов В.Д., Петрушенко М.М., Карлов Д.В., Журавський М.М. // 18-та науково-практична конференція «Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення», Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова Національного авіаційного університету, 2011, 15 квітня, частина I.

9. Карлов В.Д., Карлов Д.В., Бесова О.В., Журавський М.М. До питання про вимір швидкості дрейфу іоносферної плазми методом некогерентного розсіяння радіохвиль / Карлов В.Д., Карлов Д.В., Бесова О.В., Журавський М.М. // 11-та науково-технічна конференція «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах», Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, м. Феодосія, 2011, 8-9 вересня.

10. Карлов В.Д. До питання про можливість використання РЛС дальнього виявлення для виявлення геофізичних збурень природного і штучного походження / В.Д. Карлов, Д.В. Карлов, М.М. Журавський // 6-та наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2010, 14-15 квітня. – С. 245.

11. Карлов В.Д. Перспективи використання та модернізації південного центру радіотехнічного спостере-

ження / Карлов В.Д., Корняков С.О., Карлов Д.В. // Тези доповідей 9 науково-технічної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах» - Феодосія, 2009. – С. 131-132.

12. К вопросу об оценке эффективности определения факта запуска космического объекта по изменению параметров ионосферы, контролируемой методом некогерентного рассеяния радиоволн / В.Д. Карлов, А.Б. Котов, М.Н. Журавский Д.В. Карлов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України / МОУ, ХУПС імені Івана Кожедуба. – Харків, 2010. – №.2(4). – С. 155-157.

13. Рогожкин Е.В. Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния / Рогожкин Е.В., Пуляев В.А., Лысенко В.Н. – Харьков: НТУ ХПИ, 2008. – 254 с.

14. Таран В.Ч. Наблюдения ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн. Ионосферные исследования. – М.: Сов. радио, 1979.

15. Репин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.

16. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

17. Эмпирические модели среднеширотной ионосферы / М.Н. Фаткулин, Т.И. Зеленова, В.К. Козлов и др. – М.: Наука, 1981.

18. Модулирующие помехи и прием радиосигналов. Под ред. И.Я. Кремера. – М.: Сов. радио, 1972. – 324 с.

Надійшла до редколегії 12.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННЫХ ИОНОСФЕРОЙ РАДИОВОЛН

Д.В. Карлов, М.М. Журавський

В статье, на основе использования информации об ионосфере, полученной методом некогерентного рассеяния радиоволн, задача обнаружения возмущений в ионосфере формализуется в рамках статистической теории обнаружения. С этой целью сформулируем в рамках метода некогерентного рассеяния радиоволн модель полезного сигнала и помехи. При этом с использованием классической процедуры проверки статистических гипотез в условиях частичной априорной неопределенности проведем синтез оптимального алгоритма обнаружения возмущения по критерию минимума усредненного апостериорного риска. Получим выражение для отношения правдоподобия и установим его зависимость от функции дисперсии флуктуации по дальности мощности некогерентно рассеянного ионосферой сигнала.

Ключевые слова: ионосфера, метод некогерентного рассеяния радиоволн, модель полезного сигнала и помехи, частичная априорная неопределенность, оптимальный алгоритм обнаружения, критерии минимума усредненного апостериорного риска, отношения правдоподобия.

SYNTHESIS OF DETECTION ALGORITHM OF IONOSPHERIC DISTURBANCES USING RADIO WAVES' SIGNALS INCOHERENTLY SCATTERED BY IONOSPHERE

D.V. Karlov, M.N. Zhuravsky

In the paper, on the basis of using information about ionosphere, obtained by means of radio waves incoherent scattering, the problem of detecting disturbances in the ionosphere is formalized within the statistical theory of detection. For this purpose we formulate within the method of radio waves incoherent scattering the model of desired signal and interference. At the same time, using classical verification procedure of statistical hypothesis under partial prior uncertainty, we synthesize the optimal algorithm for detecting disturbances by the minimum criterion of averaged posterior risk. We obtain an expression for the likelihood ratio and relate its dependence on the function of fluctuation dispersion in power range of the signal incoherently scattered by ionosphere.

Keywords: ionosphere, the method of radio waves incoherent scattering, the model of desired signal and interference, partial prior uncertainty, optimal detection algorithm, the minimum criterion of averaged posterior risk, likelihood ratio.