

УДК 621.396.96

В.Л. Місайлов¹, М.М. Петрушенко², Ю.М. Рябуха³¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Військова частина А0102, Вінниця³Військова частина А2293, Харків

ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДІЄНТА ІНДЕКСУ ЗАЛОМЛЕННЯ ТРОПОСФЕРИ НА ВИЯВЛЕННЯ ТРОПОСФЕРНОГО ХВИЛЕВОДУ

Запропонований статистичний підхід до виявлення умов надрефракційного поширення радіохвиль. Знайдені імовірнісні характеристики виявлення тропосферних хвилеводів (ТХВ). Приведені графіки, що ілюструють залежність імовірності помилкової тривоги і правильного виявлення ТХВ від точності визначення вертикального градієнта індексу заломлення тропосфери. Показані джерела помилок вимірювання індексу заломлення тропосфери і досліджений їх вплив на вірогідність висновків про наявність або відсутність тропосферного хвилеводу.

Ключові слова: індекс заломлення тропосфери, тропосферний хвилевід, помилки вимірювання.

Вступ

Постановка проблеми. Як відомо [1, 2], дальність дії наземних радіотехнічних систем (РТС) визначається не тільки їх енергетичним потенціалом, але і умовами поширення радіохвиль. Одною з причин розбіжності розрахункової і реальної дальності дії РТС є відхилення рефракційних властивостей атмосфери від модельних (стандартних). Знижена рефракція (субрефракція) може приводити до зменшення дальності виявлення малих суден на 30 – 40% [3]. Умови надрефракційного поширення радіохвиль, що приводять до виникнення тропосферних хвилеводів (ТХВ), можуть збільшити дальність виявлення цілей у декілька разів [1, 4]. При цьому може відбуватися істотне спотворення зони дії РТС, наприклад, в зоні виявлення радіолокаційної станції (РЛС) з'являються "радіоями" [5]. Про виникнення ТХВ найчастіше свідчить поява на індикаторі кругового або секторного огляду РЛС засвідчень від підстильної поверхні і місцевих предметів, які не спостерігаються в звичайних умовах. Проте відсутність таких віддзеркалень ще не вказує на відсутність хвилеводу, оскільки він може бути підведеним і проходити вище за місцеві предмети, або потужність відбитого сигналу менше чутли-

вості приймача. Тоді виходить, що зона дії РТС змінилася, але зовні це ніяк не виявляється. Тому для правильної оцінки зони дії РТС необхідно мати інформацію про стан атмосфери, як середовища поширення радіохвиль.

Для оцінки заломлюючих властивостей атмосфери використовують вертикальні профілі коефіцієнта заломлення $n(h)$ [1, 2]. Для їх відновлення зазвичай використовують інформацію, отриману в результаті підйому рефрактометрів або запуску метеорологічних радіозондів [6]. Проте через інерційність використовуваної апаратури дані надходять у вигляді набору дискретних по висоті значень вимірних величин. Крім того будь-які датчики мають певну похибку, отже, значення коефіцієнта заломлення вимірюються з якоюсь помилкою. Тому перед використанням експериментально отриманих даних необхідно перевіряти їх вірогідність, і, перш ніж говорити про хвилеводний механізм поширення радіохвиль, необхідно виявити сам факт наявності ТХВ.

Аналіз літератури. Активні дослідження впливу надрефракції і хвилеводного поширення радіохвиль на роботу радіозасобів ведуться з сорокових років минулого сторіччя. Їх результатом стала розро-

блена для потреб Військово-морського флоту США система "прогнозування інтегральних ефектів рефракції" (IREPS) [7, 8].

Цей програмно-апаратний комплекс дозволяє розраховувати зони видимості корабельних РЛС і дальність дії засобів зв'язку за наявності тропосферних хвилеводів над акваторією морів і океанів.

У Радянському Союзі, а конкретніше в ІРЕ АН УРСР, також велися роботи в цьому напрямі [9].

Як початкові дані для розрахунку зон видимості РЛС в системі IREPS використовується вертикальний профіль коефіцієнта заломлення. Для його побудови використовують відомості про температуру, вологість і тиск повітря на різних висотах.

Вимірювання метеорологічних величин проводиться за допомогою вертольота або радіозонда двічі на добу, при цьому перевірка статистичної вірогідності отриманих результатів не проводиться [8].

Метою статті є оцінка впливу точності визначення вертикального градієнта індексу заломлення на ухвалення рішення про наявність або відсутність тропосферного хвилеводу.

Імовірнісні характеристики виявлення тропосферного хвилеводу

Виникнення ТХВ для спостерігача є випадковою подією, тому шукатимемо його імовірнісні характеристики.

Наявність тропосферного хвилеводу зазвичай визначають за формою висотних (вертикальних) М-профілів [1], які відображають залежність величини модифікованого індексу заломлення М від висоти h.

$$M(h) = n(h) - 1 \cdot 10^6 + \frac{h}{a_3} \cdot 10^6, \quad (1)$$

де n(h) – залежність значення коефіцієнта заломлення n атмосферного повітря від висоти h, a₃ = 6370 – радіус Землі, або

$$M(h) = N(h) \cdot 10^6 + \frac{h}{a} \cdot 10^6, \quad (2)$$

де N(h) – залежність значення індексу заломлення N повітря від висоти h. Зазвичай N(h) знаходять по формулі [10]:

$$N(h) = \frac{77,6}{T(h)} \left(p(h) + \frac{4810e(h)}{T(h)} \right), \quad (3)$$

де T(h) – температура повітря, К°; p(h) – атмосферний тиск, мб; e(h) – тиск водяної пари, мб.

Приклад M(h)-профілів приведений на рис. 1.

Пряма 1 відповідає нормальній рефракції. На кривих 2 і 3 на ділянках, показаних стрілками, значення M(h) з висотою зменшується, що вказує на можливість виникнення тропосферних хвилеводів.

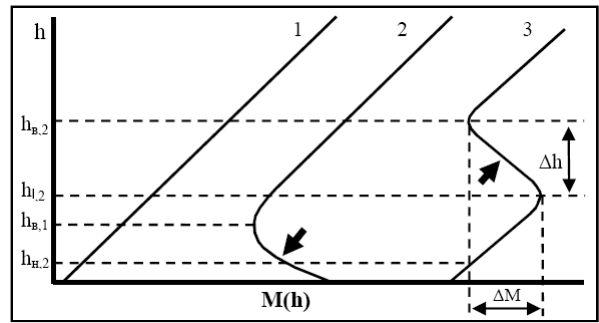


Рис. 1. Приклад висотних М-профілів

На рис. 2 приведені приклади N(h)-профілів, відповідні M(h)-кривим, показаним на рис. 1. На ділянках, відмічених стрілками, значення індексу заломлення убуває швидше ніж -0,157 N-одиниць на метр. Ці ділянки називають "захоплюючим шаром".

Тропосферний хвилевід, як правило, характеризують такими параметрами, як верхня і нижня межа, товщина (потужність) і величина М-інверсії (М-дефіцит).

Відповідно до [11, 12] верхньою межею вважається висота h_в, на якій dM/dh = 0, нижньою межею – висота h_н, на якій M(h_н) = M(h_в). Якщо h_н = 0 або такої h_н не існує (крива 2 на рис. 1), то мова йде про приводний (приземний) хвилевід. Якщо h_н > 0, то хвилевід називають підведеним (крива 3 на рис. 1). Товщиною М-інверсії Δh називають величину шару, в якому dM/dh < 0.

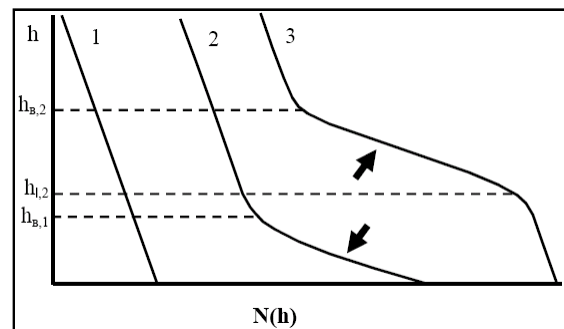


Рис. 2. Приклад висотних N-профілів

Величина М-інверсії визначається по формулі:

$$\Delta M = M(h_1) - M(h_b), \quad (4)$$

де h₁ = h_в - Δh.

Для чорноморського басейну зазвичай h₁ = 200–1500 м, Δh = 100–300 м, ΔM ≈ 10 ÷ 30 N-одиниць [12].

Згідно даним, приведеним в [1, 12], хвилевід випаровування існує практично завжди, а висота його верхньої межі не перевищує декількох десятків метрів. Для підведених і приводних хвилеводів відмічено, що їх вертикальні розміри, висоти верхньої і нижньої меж мають великий розкид щодо середніх

значень. Для виявлення ТХВ такого типу необхідно проводити вимірювання індексу заломлення у всьому інтервалі висот їх можливого існування. Виконання таких вимірювань з високою точністю та малою дискретністю на великому просторовому інтервалі дуже важке. Тому оцінимо вплив точності визначення вертикального градієнта індексу заломлення на вірогідність виводів про наявність або відсутність тропосферного хвилеводу.

Як відомо [1, 2], при нормальній рефракції радіохвиль градієнт індексу заломлення $\partial N / \partial z = Gr^{норм}$ ($Gr^{норм} = -0,04 \text{ м}^{-1}$), а для виникнення тропосферного хвилеводу необхідно, щоб $\partial N / \partial z < Gr^{крит}$ ($Gr^{крит} = -0,157 \text{ м}^{-1}$). Тому в якості критерію наявності або відсутності ТХВ приймемо значення градієнта індексу заломлення.

Зробимо наступні попередні припущення:

– хай весь діапазон висот H , на яких проводяться вимірювання індексу заломлення, розділений на m , у загальному випадку нерівних інтервалів. Величина кожного інтервалу дорівнює $\Delta z_i = z_{i+1} - z_i$, причому

$$\sum_{i=0}^m \Delta z_i = H, \quad (5)$$

де i – номер інтервалу;

– по результатах, наприклад підйому зонда, проведеного один раз, набуті значення індексу заломлення N_i на кожному i -тому висотному рівні. Всього таких значень $m+1$. Величина N_0 відповідає початковому значенню індексу заломлення у поверхні Землі. Різниця значень індексу заломлення ΔN на сусідніх i -тому i і $i+1$ -му рівнях дорівнює

$$\Delta N_{i,i+1} = N_{i+1} - N_i. \quad (6)$$

Градієнт індексу заломлення на i -тому інтервалі знаходимо як

$$Gr_i = \frac{N_{i+1} - N_i}{z_{i+1} - z_i} = \frac{\Delta N_{i,i+1}}{\Delta z_i}. \quad (7)$$

– хай помилки вимірювання індексу заломлення σ_{N_i} і висоти підйому зонда σ_{z_i} не залежать від висоти проведення вимірювань ($\sigma_{N_i} = \sigma_N$, $\sigma_{z_i} = \sigma_z$) і розподілені по нормальному закону з нульовим математичним очікуванням. Тоді завдання виявлення факту виникнення тропосферного хвилеводу зводиться до завдання перевірки статистичних гіпотез [13].

Висуємо нульову гіпотезу H_0 , яка полягає в тому, що $Gr_i = Gr^{норм}$. Альтернативною є гіпотеза H_1 , яка полягає в тому, що $Gr_i \leq Gr^{крит}$ і тропосферний хвилевід існує.

При перевірці гіпотези про наявність тропосферного хвилеводу можливі наступні ситуації:

1. Прийняття гіпотези, що перевіряється, коли насправді вона вірна. За аналогією із [14] назватимемо таку ситуацію правильним виявленням, а імовірність ухвалення такого рішення будемо позначати D .

2. Неприйняття гіпотези, що перевіряється, коли насправді вона вірна. Таку помилку називають помилкою першого роду. Імовірність її здійснення позначають через α ($\alpha = 1 - D$) і називають рівнем значущості критерію.

3. Прийняття гіпотези, що перевіряється, коли насправді вона невірна. Таку помилку називають помилкою другого роду або помилковою тривогою [14]. Імовірність її здійснення позначають β .

4. Неприйняття гіпотези, що перевіряється, коли насправді вона невірна. Імовірність ухвалення такого рішення називають потужністю критерію і позначають $1 - \beta$.

Гіпотеза H_0 приймається або відкидається на підставі статистики y , яку знаходять як [15]

$$y = \frac{Gr_i - Gr_i^{норм}}{\sigma}, \quad (8)$$

де σ – помилка знаходження градієнта індексу заломлення (її величина буде розглянута пізніше).

Щільність імовірності статистики y при справедливості нульової гіпотези H_0 знаходимо як

$$p_{H_0}(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{Gr_i - Gr_i^{норм}}{\sigma} \right)^2}. \quad (9)$$

Щільність імовірності статистики y при справедливості конкуруючої гіпотези H_1 рівна

$$p_{H_1}(y) = p_{H_0}(y - y_1), \quad (10)$$

де $y_1 = \frac{Gr_i - Gr_i^{крит}}{\sigma}$.

Імовірність β помилкового прийняття H_1 знаходимо як

$$\beta = \int_{-\infty}^{y_{гран}} p_{H_0}(y) dy \quad (11)$$

або

$$\beta = \int_{-\infty}^0 p_{H_0}(y) dy - \int_{y_{гран}}^0 p_{H_0}(y) dy = \int_{-\infty}^0 p_{H_0}(y) dy + \int_0^{y_{гран}} p_{H_0}(y) dy = 0,5 + \Phi(y_{гран}), \quad (12)$$

де $y_{гран} = \frac{Gr^{гран} - Gr^{норм}}{\sigma}$,

$$\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-t^2/2} dt.$$

Імовірність помилкової тривоги знаходимо по формулі

$$\beta = 0,5 + \Phi\left(\frac{Gr^{гран} - Gr^{норм}}{\sigma}\right) \quad (13)$$

або

$$\beta = 0,5 + \Phi\left(\frac{Gr^{гран} + 0,04}{\sigma}\right). \quad (14)$$

На рис. 4 показана залежність імовірності помилкової тривоги від значення порогу $Gr^{гран}$ при $\sigma = 0,1$.

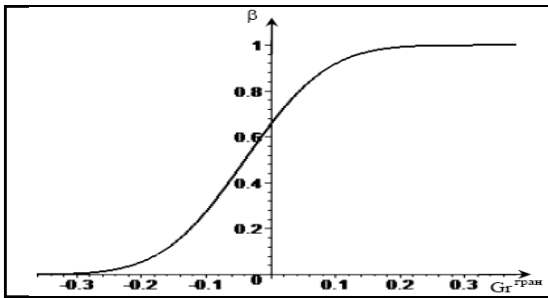


Рис. 4. Залежність імовірності помилкової тривоги β від значення порогу $Gr^{гран}$ при $\sigma = 0,1$.

З (14) і рис. 4 можна побачити, що імовірність помилкової тривоги β при фіксованій σ визначається величиною порогу $Gr^{гран}$.

Для фахівців в області радіолокації рис. 4 виглядає декілька дивно – підвищення порогу веде до збільшення імовірності помилкової тривоги. Тут слід підкреслити, що в якості критерію наявності тропосферного хвилеводу прийнято значення градієнта індексу заломлення $\partial N / \partial z$, який в межах тропосфери є від’ємною величиною.

Крім того, з міркувань зручності практичного застосування, на графіках по осі абсцис відкладені абсолютні значення $\partial N / \partial z$. Це, можливо, декілька зменшує загальність викладу отриманих результатів, проте дозволяє за експериментальними даними легко знаходити імовірнісні характеристики, що цікавлять.

Імовірність α помилкового відкидання гіпотези H_1 про наявність ТХВ знаходимо як

$$\alpha = \int_{U_{гран}}^{\infty} p_{H_1}(y) dy, \dots \dots \dots (15)$$

причому,

$$\begin{aligned} \alpha &= \int_{U_{гран}}^{\infty} p_{H_1}(y) dy = \int_{U_{гран} - U_1}^{\infty} p_{H_0}(y) dy = \\ &= \int_0^{\infty} p_{H_0}(y) dy + \int_{U_{гран} - U_1}^0 p_{H_0}(y) dy = \\ &= 0,5 - \Phi(y_{гран} - y_1). \end{aligned} \quad (16)$$

Імовірність правильного виявлення тропосферного хвилеводу дорівнює

$$D = 1 - \alpha = 0,5 + \Phi(y_{гран} - y_1). \quad (17)$$

Розкриваючи значення в дужках, отримуємо

$$D = 0,5 + \Phi\left(\frac{Gr^{гран} - Gr^{норм} + Gr^{крит} - Gr_1}{\sigma}\right) \quad (18)$$

$$\text{або} \quad D = 0,5 + \Phi\left(\frac{Gr^{гран} - Gr_1 - 0,117}{\sigma}\right). \quad (19)$$

На рис. 5 показана залежність імовірності правильного виявлення D від виміряного значення градієнта індексу заломлення Gr_1 для різної імовірності помилкової тривоги β при $\sigma = 0,1$.

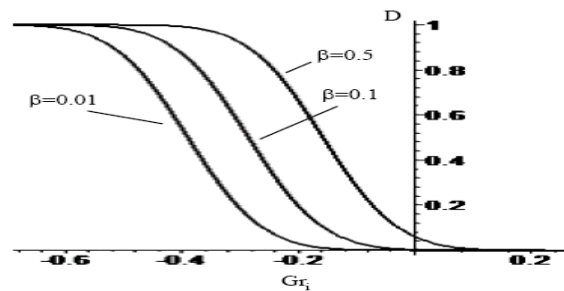


Рис. 5. Залежність імовірності правильного виявлення D від виміряного значення градієнта індексу заломлення Gr_1 для різної імовірності помилкової тривоги β при $\sigma = 0,1$

З рис. 5 видно, що при великих від’ємних градієнтах індексу рефракції (тобто для ТХВ з великим М-дефіцитом) вірогідність виводів про існування тропосферного хвилеводу вища.

У вирази (14) і (19) входить помилка знаходження градієнта індексу заломлення σ , значення якої задавалося довільно. На рис. 6 і 7 приведені графіки, що ілюструють залежність імовірності помилкової тривоги і правильного виявлення від σ .

З рисунків видно, що якщо виміряний градієнт індексу заломлення рівний значенню, закладеному в гіпотезу H_0 або H_1 , то відповідно $\beta = 0,5$ або $D = 0,5$ і не залежить від σ .

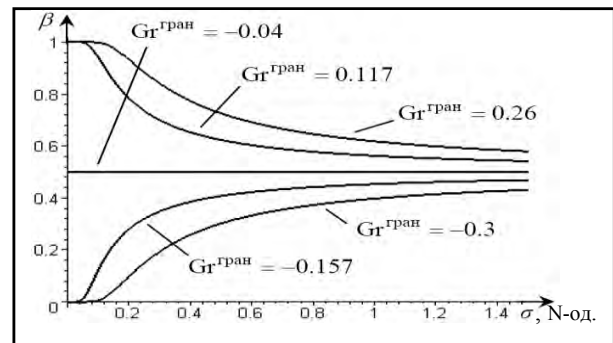


Рис. 6. Залежність імовірності помилкової тривоги β від σ при різних значеннях порогу $Gr^{гран}$

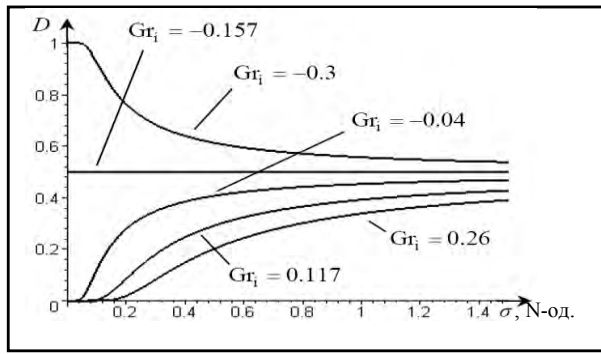


Рис. 7. Залежність імовірності правильного виявлення D від σ для різних вимірених значень градієнта індексу заломлення G_{r_i} при імовірності помилкової тривоги $\beta = 0,5$

Так само з рис. 6 і 7 витікає, що при $\sigma \rightarrow \infty$ $\beta \rightarrow 0,5$ і $D \rightarrow 0,5$, тобто збільшення помилки обчислення градієнта індексу рефракції підвищує ступінь невизначеності при ухваленні рішення про наявність або відсутність тропосферного хвилеводу. У разі великих помилок (рис. 7) навіть при $G_{r_i} > -0,04$ (що відповідає нормальній рефракції) можливо ухвалення неправильного рішення про те, що хвилевід є. У [12] вказано, що для Чорного моря звичайними є значення градієнта індексу рефракції порядку $0,3 \text{ м}^{-1}$ ($G_{r_i} \approx -0,3$). У такому разі (рис. 7), для забезпечення $D \geq 0,9$, при $\beta \leq 0,5$, σ не повинна перевищувати $0,1$ N-одиниці. Таким чином, при великих значеннях σ для підвищення імовірності правильного виявлення ТХВ необхідно використовувати якісь додаткові (супутні) ознаки його виникнення. Наприклад, це може бути прогноз погодних умов, сприятливих для формування тропосферних хвилеводів [4] або статистичні дані про частоту появи ТХВ в певних районах Земної кулі [16].

Джерела помилок при вимірюванні індексу заломлення тропосфери

Розглянемо, від чого залежить величина σ . Градієнт індексу заломлення знаходимо по (7), отже, величина помилки вимірювання знаходиться як [17]

$$\sigma = \left(\left(\frac{\partial G_{r_i}}{\partial \Delta N_{i,i+1}} \sigma_{\Delta N_{i,i+1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial G_{r_i}}{\partial \Delta z_i} \sigma_{\Delta z_i} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (20)$$

де $\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}$ – середньоквадратична помилка різниці значень індексу заломлення вимірених на i -тому і $i+1$ -му висотному рівні

$\sigma_{\Delta z_i}$ – середньоквадратична помилка різниці вимірених висот для цих рівнів. Якщо вимірювання величин, що цікавлять нас, проводиться неодноразово, то

$$\sigma = \left(\left(\frac{\partial G_{r_i}}{\partial \Delta N_{i,i+1}} \frac{\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}}{\sqrt{k_i}} \right)^2 + \left(\frac{\partial G_{r_i}}{\partial \Delta z_i} \frac{\sigma_{\Delta z_i}}{\sqrt{l_i}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (21)$$

де k_i і l_i – кількість вимірювань величин $\Delta N_{i,i+1}$ і Δz_i відповідно

Зазвичай вважають, що $k_i = l_i = 1$ тому

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}}{\Delta z_i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta N_{i,i+1} \sigma_{\Delta z_i}}{\Delta z_i^2} \right)^2}. \quad (22)$$

Якщо в (22) можна нехтувати другим доданком під коренем, то

$$\sigma = \frac{\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}}{\Delta z_i}. \quad (23)$$

У (23) $\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}$ є результуючою похибкою вимірювання, тобто геометричною сумою систематичної $\sigma_N^{\text{сист}}$ і випадкової $\tilde{\sigma}_N$ помилок [17]. У свою чергу, систематична похибка складається з методичної $\sigma_N^{\text{метод}}$, інструментальної $\sigma_N^{\text{ін}}$ і суб'єктивної $\sigma_N^{\text{суб}}$. Значенням суб'єктивної помилки нехтуватимемо. В силу (6) $\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}$ вільна від постійних методичних помилок [17] і визначатиметься інструментальними і випадковими помилками вимірювань $\sigma_N^{\text{ін}}$ і $\tilde{\sigma}_N$:

$$\sigma_{\Delta N_{i,i+1}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\sigma_N^{\text{ін}^2} + \tilde{\sigma}_N^2}, \quad (24)$$

звідки

$$\sigma = \sqrt{2} \frac{\sqrt{\sigma_N^{\text{ін}^2} + \tilde{\sigma}_N^2}}{\Delta z_i}. \quad (25)$$

Таким чином, величина σ залежить не тільки від помилок вимірювання індексу рефракції, але і від просторового інтервалу, на якому виконані ці вимірювання.

Висновки

Вірогідність виводів про наявність або відсутність тропосферного хвилеводу залежать від значення результуючої помилки вимірювання індексу заломлення $\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}$ і величини просторового інтервалу Δz_i на якому виконані ці вимірювання.

При однакових помилках $\sigma_{\Delta N_{i,i+1}}$ і при постійному рівні помилкової тривоги ТХВ з великим М-дефіцитом будуть виявлені з більшою імовірністю.

Для поліпшення показників якості виявлення ТХВ з малим М-дефіцитом необхідно зменшувати похибки вимірювання індексу заломлення, застосовуючи високоточні методи і прилади або збільшуючи число вимірів (при цьому помилка буде зменшена в \sqrt{k} раз, де k – кількість вимірів). Так само

можливе використання додаткових ознак (супутніх явищ, сприяючих умов) виникнення тропосферних хвилеводів.

Список літератури

1. Распространение ультракоротких радиоволн: Пер. с англ. / Под ред. Б.А. Шиллерова. – М.: Сов. радио, 1954. – 564 с.
2. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн / Ф.Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972. – 463 с.
3. Потери в атмосфере [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rls-tools.ru/text/1006>.
4. Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П. Красюк, В.Л. Коблов, В.Н. Красюк – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с.
5. Patterson W.L. Advanced Refractive Effects Prediction System (AREPS) [Электронный ресурс]: Version 2.0 User's Manual / Wayne L. Patterson. – San Diego, 2000. – Режим доступа: <http://www.sprawar.navy.mil/sti/publications/pubs/td/3101/td3101.pdf>.
6. Казаков Л.Я. Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере / Л.Я. Казаков, А.Н. Ломакин. – М.: Наука, 1976. – 165 с.
7. Хитни Г.В. Распространение радиоволн в тропосфере: Обзор / Г.В. Хитни, Ю.Х. Рихтер, Р.А. Папперт, К.Д. Андерсон, Дж.Б. Баумгартнер // ТИИЭР. – 1985. – Т.73. – №2. – С. 106-128.
8. Сухонин Е.В. Оперативное прогнозирование рабочих характеристик маловысотных РЛС на основе данных по коэффициентам преломления атмосферы // Е.В. Сухонин. Радиотехника сверхвысоких частот, ЭИ, 1990. – № 44. – С. 1-5.
9. Белоброва М.В. Пакет программ для оценки условий распространения радиоволн УКВ диапазона в пограничном слое атмосферы над морем / М.В. Белоброва, А.В. Кукушкин, М.Б. Левин, Я.А. Фастовский – Препр. / АН УССР, РИ, №37. – Х., 1989. – 42 с.
10. Бин Б.Р. Радиометеорология: Пер. с англ. [Текст] / Б.Р. Бин, Е.Дж. Даттон, под ред. А.А. Семенова. –Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 368 с.
11. Кукушкин А.В. Влияние приводной М-инверсии на распространение радиоволн в тропосферном волноводе / А.В. Кукушкин, В.Г. Синицын // Изв. вузов. Радиофизика. – 1979. – Т. 22. – № 7. – С. 802-808.
12. Михайлов Н.Ф. Радиометеорологические исследования над морем [Текст] / Н.Ф. Михайлов, А.В. Рыжков, Г.Г. Шукин. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 207 с.
13. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями: Перев. с англ. / А. Хальд; Под ред. Ю.В. Линника. – М.: издательство иностранной литературы, 1956. – 664 с.
14. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
15. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 831 с.
16. Дарст С. Радиоклиматология / С. Дарст // Распространение сантиметровых радиоволн в тропосфере. – М.: изд. ин. лит. – 1950. – С. 352-373.
17. Евтихиев Н.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. пособие для вузов. / Н.Н. Евтихиев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугуров; Под общ. ред. Н.Н. Евтихиева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

Надійшла до редколегії 9.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ИНДЕКСА ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ НА ОБНАРУЖЕНИЕ ТРОПОСФЕРНОГО ВОЛНОВОДА

В.Л. Мисайлов, Н.Н. Петрушенко, Ю.Н. Рябуха

Предложен статистический подход к обнаружению условий надхрефракционного распространения радиоволн. Найдены вероятностные характеристики обнаружения тропосферных волноводов (ТВВ). Приведены графики, которые иллюстрируют зависимость вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения ТВВ от точности определения вертикального градиента индекса преломления тропосферы. Показаны источники ошибок измерения индекса преломления тропосферы и исследовано их влияние на достоверность выводов о наличии или отсутствии тропосферного волновода.

Ключевые слова: индекс преломления тропосферы, тропосферный волновод, ошибки измерения.

THE INFLUENCE OF DETERMINATION EXACTNESS OF VERTICAL GRADIENT OF TROPOSPHERE INDEX REFRACTION ON FINDING OUT A TROPOSPHERE WAVEGUIDE

V.L. Misaylov, N.N. Petrushenko, Yu.N. Ryabukha

The statistical approach to finding out the terms of over-refraction distribution of radio waves is offered. Probabilistic characteristics of finding out troposphere waveguides (TWG) are found. The graphs which illustrate dependence of probability of false alarm and correct discovery of TWG from determination exactness of vertical gradient of troposphere index refraction are resulted. The sources of measuring errors of troposphere index refraction are shown and their influence on authenticity of conclusions about presence or absence of troposphere waveguide was investigated.

Keywords: troposphere index refraction, troposphere waveguide, measuring errors.