



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90697 (13) C2
(51) МПК
G01S 13/95 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ АНІЗОТРОПІЇ ІНДЕКСУ ЗАЛОМЛЕННЯ АТМОСФЕРИ ЗЕМЛІ

1

2

(21) а200706672

(22) 14.06.2007

(24) 25.05.2010

(46) 25.05.2010, Бюл. № 10, 2010 р.

(72) ДЕЛОВ ІВАН АКИНДІНОВИЧ, СЛІПЧЕНКО
МИКОЛА ІВАНОВИЧ, ЛЕОНІДОВ ОЛЕКСІЙ ВІК-
ТОРОВИЧ(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

(56) UA 76538 C2; 15.08.2006

UA 46521 A; 15.05.2002

UA 64467 C2; 15.03.2007

UA 46520 A; 15.05.2002

UA 46524 A; 15.05.2002

SU 671535 A; 23.11.1984

RU 2267139 C2; 27.12.2005

RU 2196345 C2; 10.01.2003

US 20060164063 A1; 27.07.2006

Долуханов М.П. Распространение радиоволн. -
изд. 3-е. - М.: Связь, 1965. - 230 с.Бондаренко М. Ф., Слипченко Н.И., Делов И.А.,
Леонидов А.В. Результаты анизотропии в призем-
ном слое Земли контактным способом // Приклад-
ная радиоэлектроника. - 2005. - Т. 4. - № 4. - Харь-
ков: ХНУРЕ. - С. 383-393

(57) Спосіб вимірювання анізотропії індексу заломлення атмосфери Землі, що включає в себе вимірювання тиску атмосфери (P), температури атмосфери (T°) і тиску водяних парів атмосфери (e), обчислення на підставі обмірюваних величин (P), (T°) і (e) індексу заломлення атмосфери (N) за формулою:

$$N = \frac{77,6}{T^\circ} \left(P + \frac{4810e}{T^\circ} \right), \quad (1)$$

де:

P - тиск атмосфери в м бар,

T° - температура повітря в градусах,

e - тиск водяних парів атмосфери в м бар,

який **відрізняється** тим, що при обчисленні індексу заломлення атмосфери (N) за формулою (1) вимірюють анізотропію температури атмосфери (T°) у вертикальній площині шляхом вимірювання анізотропії фази (φ) акустичного ехо-сигналу, отриманої при одночасному імпульсному акустичному зондуванні атмосфери у двох і більше різних

за кутом місця напрямках (β), причому анізотропію фази акустичного ехо-сигналу визначають на підставі отриманої залежності фази акустичного ехо-сигналу (φ) від кута місця (β), φ = f(β) як різницю значень (φ_В - φ_Г), де φ_Г - значення фази для горизонтального напрямку, знайдене при екстраполяції залежності φ = f(β) для кутів β = 0°, а φ_В - значення фази для вертикального напрямку, знайдене для кутів β = 90°, потім для знайдених значень φ_Г і φ_В за формулою (2) визначають різницю температур ΔT° = T_Г° - T_В°:

$$\varphi_G = \varphi_B = \frac{2\pi R}{T} \left(\frac{1}{20\sqrt{T_B^\circ}} - \frac{1}{20\sqrt{T_G^\circ}} \right), \quad (2)$$

де R - дальність до обсягу повітря, що відбиває,

T° - період коливань звуку,

φ_В - значення фази акустичного ехо-сигналу, отримане для вертикального напрямку,φ_Г - значення фази акустичного ехо-сигналу, отримане для горизонтального напрямку,T_Г° - температура атмосфери для горизонтального напрямку,T_В° - температура атмосфери для вертикального напрямку,

приймаючи при цьому значення (T_В°) рівне значенню обмірюваної в цей час на досліджуваних висотах середньої температури (T_{ср}°), потім знаходять значення температури для горизонтального напрямку як T_Г° = T_{ср}° + $\frac{\Delta T^\circ}{2}$ і вертикального як

$$T_B^\circ = T_{ср}^\circ - \frac{\Delta T^\circ}{2},$$

спосіб значень (T_В°) і (T_Г°) та обмірюваних на досліджуваних висотах значень атмосферного тиску

(13) C2

(11) 90697

(19) UA

(P) і тиску водяних парів (e) за формулою (1) розраховують значення індексу заломлення для

горизонтального (N_H) і вертикального (N_V) напрямку.

Винахід відноситься до радіолокаційної метеорології, а саме, до акустичних способів вимірювання параметрів атмосфери і може бути використаний під час складання радіокліматичних карт і в роботах з прогнозу зв'язку, навігації і радіолокації.

Відомий спосіб вимірювання анізотропії індексу заломлення атмосфери Землі [М.П. Долуханов. Распространение радиоволн, изд. 3-е. -М: Изд-во «Связь». 1965, - 230 с.] шляхом вимірювання величини повного тиску атмосфери (P), температури атмосфери (T°) і тиску водяних парів повітря (e), обчислення на підставі обмірюваних величин (P), (T°) і (e) індексу заломлення атмосфери (N) за формулою (1)

$$N = \frac{77,6}{T^\circ} \left(P + \frac{4810e}{T^\circ} \right), \quad (1)$$

де P - повний тиск атмосфери в м бар,

T° - температура повітря в градусах,

e - тиск водяних парів повітря в м бар.

Недоліком цього способу є те, що в ньому не враховується встановлений новий ефект в атмосфері Землі [Бондаренко М.Ф., Слипченко Н.И., Делов И.А., Леонидов А.В. Результаты измерений анизотропии температуры атмосферы в приземном слое Земли контактным способом/ «Прикладная радиоэлектроника». - 2005. Том 4. №4. - Харьков: ХНУРЭ. - С. 383 - 393] ефект анізотропії молекулярних процесів, відповідно до якого хаотична швидкість і довжина вільного пробігу молекул, а отже, температура і щільність атмосфери, анізотропні. Величини цих параметрів істотно залежать від кута місця і різні для вертикального та горизонтального напрямків. Причому, анізотропія їх істотно змінюються з висотою і погодними умовами.

Цей спосіб взято нами як прототип.

В основу винаходу способу вимірювання анізотропії індексу заломлення атмосфери Землі поставлена задача підвищити точність вимірювання індексу заломлення атмосфери з урахуванням встановленого нового ефекту в атмосфері Землі - ефекту анізотропії молекулярних процесів, і тим самим підвищити точність і вірогідність прогнозу радіохвиль для служб зв'язку, навігації і радіолокації за рахунок вимірювання анізотропії індексу заломлення атмосфери.

Ця задача вирішена таким чином.

У способі вимірювання анізотропії індексу заломлення атмосфери Землі, що включає в себе вимірювання тиску атмосфери (P), температури атмосфери (T°) і тиску водяних парів повітря (e), обчислення на підставі обмірюваних величин (P), (T°) і (e) індексу заломлення атмосфери (N) за формулою

$$N = \frac{77,6}{T^\circ} \left(P + \frac{4810e}{T^\circ} \right)$$

де P - повний тиск атмосфери в м бар,

T° - температура повітря в градусах,

e - тиск водяних парів повітря в м бар,

відповідно до винаходу при обчисленні індексу заломлення (N) за формулою (1) вимірюють анізотропію температури повітря (T°) у вертикальній площині шляхом вимірювання анізотропії фази (φ) акустичного ехо-сигналу, отриманої при одночасному імпульсному акустичному зондуванні атмосфери в двох і більш різних за кутом місця напрямках (β), причому анізотропію фази акустичного ехо-сигналу визначають на підставі отриманої залежності фази акустичного сигналу (φ) від кута місця (β), $\varphi = f(\beta)$ як різницю значень ($\varphi_B - \varphi_H$), де φ_H - значення фази, знайдене при екстраполяції залежності $\varphi = f(\beta)$ для кутів $\beta = 0$, а φ_B - значення фази, знайдене для кутів $\beta = 90^\circ$, потім для знайдених значень φ_H і φ_B за формулою (2) визначають різницю температур $\Delta T^\circ = T^\circ_H - T^\circ_B$:

$$\varphi_H - \varphi_B = \frac{2\pi R}{T} \left(\frac{1}{20\sqrt{T^\circ_B}} - \frac{1}{20\sqrt{T^\circ_H}} \right), \quad (2)$$

де R - дальність до об'єкту повітря, що відбиває,

T - період коливань звуку;

φ_B - фаза акустичного ехо-сигналу, отримана для вертикального напрямку,

φ_H - фаза акустичного ехо-сигналу, отримана для горизонтального напрямку,

T°_H - температура для горизонтального напрямку,

T°_B - температура для вертикального напрямку,

приймаючи при цьому значення (T°_B) рівним значенню обмірюваної в цей час на досліджуваних висотах середньої температури (T°_{cp}), потім знаходять значення температури для горизонтального напрямку як $T^\circ_H = T^\circ_{cp} + \frac{\Delta T^\circ}{2}$ і вертикального

як $T^\circ_B = T^\circ_{cp} - \frac{\Delta T^\circ}{2}$. Після цього для отриманих у

такий спосіб значень (T°_B) і (T°_H) та обмірюваних на досліджуваних висотах значень повного атмосферного тиску (P) і тиску водяних парів (e) за формулою (1) розраховують значення індексу заломлення для горизонтального (N_H) і вертикального (N_V) напрямку.

Розглянемо спосіб більш докладно.

На Фіг.1 подана функціональна схема пристрою для вимірювання фази акустичного ехо-сигналу в трьох напрямках (ця схема наведена в

патенті України №76538 від 15.08.2006 авторів Делова Івана Акіндиновича і Сліпченка Миколи Івановича). На Фіг.2 подана часова залежність фази акустичного ехо-сигналу, отримана за допомогою пристрою, поданого на Фіг.1 [Бондаренко М.Ф., Сліпченко Н.И., Делов И.А., Леонидов А.В. Результаты измерений анизотропии температуры атмосферы в приземном слое Земли контактным способом/прикладная радиоэлектроника». 2005. Том 4. № 4 - Харьков: ХНУРЭ. - С. 383 - 393].

Тут Δ - фаза, обмірювана для вертикального напрямку, + - фаза, обмірювана для кутів $\alpha=22^\circ$ у західному напрямку і • - фаза, обмірювана для кутів $\alpha=22^\circ$ у східному напрямку. Вимірювання проводилися 20.03.2004 р. при похмурій погоді після нічного дощу, при помірному вітрі і при температурі на рівні 1,5м $\sim 5^\circ\text{C}$. Висота зондування $\sim 85\text{м}$.

На Фіг.3 наведена часова залежність індексу заломлення (N) для вертикального напрямку (+) і горизонтального (•), отримана для даних Фіг.2 за допомогою пропонуваного способу вимірювання анізотропії індексу заломлення (N).

Ці результати були отримані в такий спосіб. З графіка Фіг.2 для кожної точки на осі часу знаходилася різниця обмірюваних одночасно значень фази (φ) для двох кутів α ($\alpha=0^\circ$ і $\alpha=22^\circ$ для західного напрямку, де $\angle\alpha$ - кут між вертикаллю і напрямком променя зондування) як $\Delta\varphi = \varphi_{22} - \varphi_0$. Приймаючи залежність $\Delta\varphi = f(\alpha)$ лінійною, потім за знайденим значенням $\Delta\varphi_{22}$ визначалася різниця фаз для вертикального напрямку (φ_v) і горизонтального (φ_r) як

$$\Delta\varphi_{v-r} = \varphi_v - \varphi_r = \Delta\varphi_{22} \cdot \frac{90^\circ}{22^\circ}.$$

Потім за знайденою анізотропією фази (φ) визначалася за формулою (2) анізотропія температури $\Delta T_{r-v} = T_r - T_v$, приймаючи у формулі (2) значення $T_v = T_{cp}$, (де T_{cp} - середнє значення температури, обмірюваної на досліджуваній висоті в період вимірювань). Після цього визначалося значення температури для вертикального і горизонтального напрямку як

$$T_v = T_{cp} - \frac{\Delta T^\circ}{2} \text{ і } T_r = T_{cp} + \frac{\Delta T^\circ}{2}. \text{ Потім були розраховані значення } N \text{ для вертикального і горизонтального напрямку за формулою (1), прийнявши значення } P=1013,2\text{м бар, а тиск водяних парів був прийнятий рівним } e=20\text{м бар.}$$

Як випливає з Фіг.3, отримані таким чином індекси заломлення (N) для вертикального (N_v) і горизонтального (N_r) напрямків значно відрізняються.

Суть способу.

За допомогою акустичного локатора, що працює в імпульсному моностаціональному режимі, проводять вимірювання фази акустичних ехо-сигналів у двох або більше різних за кутом місця напрямках (β). Зміни кута зондування (β) відбуваються по черзі через короткі проміжки часу (2–3 хвилини) шляхом зміни напрямку діаграми спрямованості

приймально-передавальної антени. Вимірювання фази акустичного сигналу проводиться за допомогою імпульсного фазометра протягом заданого інтервалу часу.

У нашому конкретному випадку, поданому на Фіг.3, вимірювання фази ехо-сигналу проводилися 20.03.2004 протягом часу з 10^{35} до 15^{25} .

Вимірювання проводилися при трьох кутах α (де α - кут між вертикаллю і напрямком зондування) у вертикальному і двох протилежних за азимутом напрямках і при куті $\alpha=22^\circ$. Реєстрація фази проводилася при однаковій дальності R_H , фіксація якої здійснювалася шляхом стробування приймача через однакові часові інтервали після випромінювання акустичного імпульсу. У нашому прикладі на Фіг.2 дальність складала $\sim 85\text{м}$.

На підставі отриманої в такий спосіб часової залежності фази акустичного ехо-сигналу для трьох напрямків визначалася потім анізотропія фази акустичного ехо-сигналу для кожної точки поданого графіка. Оскільки фаза сигналу для двох протилежних за азимутом напрямках виявилася близькою, для оцінки анізотропії фази використовувався вертикальний напрямок і один під кутом $\alpha=22^\circ$ від вертикального в заданому напрямку.

Оцінка анізотропії проводилася в такий спосіб.

З графіка Фіг.2 для кожної точки на осі часу знаходилася різниця обмірюваних одночасно значень фази (φ) для двох кутів α ($\alpha=0^\circ$ і $\alpha=22^\circ$) як

$$\Delta\varphi = \varphi_{22} - \varphi_0. \text{ Приймаючи залежність } \Delta\varphi = f(\alpha) \text{ лінійною, потім за знайденим значенням } \Delta\varphi \text{ визначалася різниця фаз для вертикального напрямку } (\varphi_v) \text{ і горизонтального } (\varphi_r) \text{ як}$$

$$\varphi_{v-r} = \varphi_v - \varphi_r = \Delta\varphi_{22} \cdot \frac{90^\circ}{22^\circ}. \text{ Таким чином, подані на Фіг.3 розходження фаз для вертикального зондування і під кутом } \alpha=22^\circ \text{ потрібно збільшити у}$$

$n = \frac{90}{22}$ разів. У цьому випадку одержимо розходження фаз для вертикального і горизонтального напрямку, тобто отримаємо анізотропію $\varphi \Delta\varphi_a = \varphi_v - \varphi_r$.

Потім, для отриманої в такий спосіб анізотропії φ , тобто для знайденого розходження фаз між фазою для вертикального напрямку і горизонтального, користуючись формулою (2), розраховувалися відповідні їм розходження температур (ΔT°), приймаючи значення T° рівне T_{cp} , де T_{cp} - середнє значення температури, обмірюване на досліджуваній висоті в період вимірювань. Після цього знаходилися значення температури для горизонтального напрямку T_r як

$$T_r = T_{cp} + \frac{\Delta T^\circ}{2} \text{ і вертикального } T_v = T_{cp} - \frac{\Delta T^\circ}{2}.$$

Після цього для отриманих у такий спосіб T_v і T_r , та обмірюваних значень повного тиску атмосфери (P) і тиску водяних парів (e) за формулою (1) розраховувалися значення індексу заломлення (N) для вертикального (N_v) і горизонтального (N_r) на-

прямків. У даному випадку величина P приймалася рівною 1013,2м бар, а величина e - 20м бар.

Результати виконаної в такий спосіб оцінки величин N_b і N_r наведені на Фіг.3.

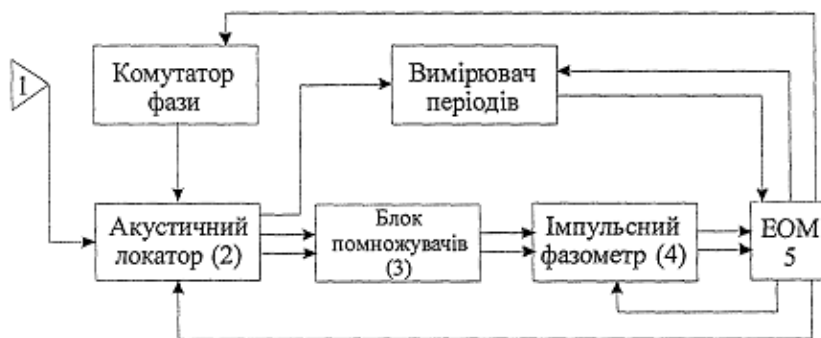
Розглянемо пристрій для реалізації запропонованого способу, функціональна схема якого подана на Фіг.1. Він містить акустичну антену -1, акустичний локатор - 2, вхід якого приєднаний до акустичної антени 1, а вихід - до входу блока помножувачів - 3, вихід якого підключений до входу імпульсного фазометра - 4, вихід якого приєднаний до ЕОМ - 5, виходи якої приєднані до входів акустичного локатора 2, імпульсного фазометра 4, причому помножувач частоти 3 має перемикач, за допомогою якого коефіцієнт множення n може дискретно змінюватися від $n=n_{\min}$ до $n=n_{\max}$ (у нашому реалізованому пристрої n змінюється від 1 до 32), вимірник частоти або періодів прийнятих ехо-сигналів - 6, вхід якого приєднаний до виходу акустичного локатора 2, а вихід - до входу ЕОМ, комутатор фази випромінюваних акустичних хвиль - 7, вхід якого приєднаний до виходу ЕОМ, а вихід - до акустичного локатора 2.

Розглянемо роботу пристрою.

За командою з ЕОМ 5 акустичний локатор 2 через акустичну антену 1 випромінює пакет гармонійних акустичних хвиль в атмосферу з початковою фазою φ_{H1} , заданий комутатором фази 7. Після чого акустична антена 1 переключається на прийом, і ведеться прийом акустичних ехо-сигналів, розсіяних атмосферними неодноріднос-

тями. В акустичному локаторі 2 прийняті звукові коливання перетворюються в електричні коливання, а потім надходять у блок помножувачів 3, де вони збільшуються у задану кількість разів (n). Одночасно до блока помножувачів 3 з акустичного локатора 2 надходять електричні коливання, з яких формуються в акустичному локаторі 2 випромінювані звукові коливання, і збільшуються у таку саму кількість разів (n), що і прийняті коливання. З блока помножувачів 3 коливання надходять у фазометр 4. У фазометрі 4 вимірюється різниця початкових фаз між прийнятими коливаннями і випромінюваними. Після чого з фазометра 4 обмірювані в такий спосіб дані надходять на ЕОМ 5, де за заданим алгоритмом обчислюються всі необхідні дані. Більш докладний опис роботи пристрою подано в [Делов І.А., Сліпченко М.І. Спосіб дистанційного вимірювання відносних змін температури повітря за допомогою акустичного зондування атмосфери. Патент України №46521 А від 15.05.2002р.].

Як впливає з вищесказаного і Фіг.3, пропонуваний спосіб дозволяє підвищити точність і вірогідність вимірюваного індексу заломлення атмосфери з урахуванням нового ефекту, встановленого в атмосфері землі, шляхом вимірювання анізотропії фази акустичного ехо-сигналу. Це, в свою чергу, дозволяє підвищити точність і вірогідність прогнозу радіохвиль для служб зв'язку, навігації і радіолокації.



Фіг. 1

