



УКРАЇНА

(19) UA (11) 97612 (13) C2
(51) МПК
G01S 13/95 (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ РАДІОАКУСТИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

1

2

(21) a201107002

(22) 03.06.2011

(24) 27.02.2012

(46) 27.02.2012, Бюл.№ 4, 2012 р.

(72) КАРТАШОВ ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ,
БАБКІН СТАНІСЛАВ ІВАНОВИЧ, ПАЩЕНКО СЕРГІЙ
ВАСИЛЬОВИЧ, КУЛЯ ДМИТРО МИКОЛАЙО-
ВИЧ(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

(56) UA 89344 C2, 11.01.2010.

UA 89342 C2, 11.01.2010.

UA 46520 A, 15.05.2002.

UA 46521 A, 15.05.2002.

SU 1130809, 23.12.1984.

SU 1076848, 28.02.1984.

US 5122805, 16.06.1992.

(57) Спосіб радіоакустичного зондування атмос-
фери для реєстрації вертикального профілю тем-
ператури, який полягає у тому, що випромінюють
вертикально угору акустичний імпульс з синусої-
дальним заповненням, опромінюють акустичний
імпульс електромагнітними коливаннями з довжи-
ною хвилі, удвоє більшою довжини хвилі синусої-дального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, розсіяні акустичним імпульсом, послідовно перемножують вихідний сигнал радіоприймача з кожного рівня траси зондування з кожним з 1,2,...N сигналів генератора опорних сигналів, опорні сигнали для кореляційного прийому формують у відповідності до функції розсіювання для кожного рівня траси зондування, параметр розстроювання умови Брега q використовують для розрахунку температури повітря для кожної точки вертикального профілю температури, який відрізняється тим, що формують сигнали корекції відповідно до функції $E(q) = \int F^2(r, q) dr$, віднімають з вихідного сигналу кожного каналу корелятора сигнал корекції, порівнюють поміж собою амплітуди вихідних сигналів пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування та визначають максимальний із них і по максимальному значенню амплітуди вихідного сигналу пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування визначають параметр q.

Винахід належить до радіолокаційної метеорології, а саме до радіоакустичних способів вимірювання параметрів атмосфери, і може бути використаний при проведенні передпроектних робіт і на будівництві об'єктів вітроенергетики, при складанні короткострокових прогнозів погоди, при метеорологічному забезпеченні екологічного моніторингу атмосфери та безпеки зльоту і посадки літальних апаратів різного призначення, при складанні радіокліматичних карт і таке інше.

Відомий спосіб радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М.: Наука, 1985.-195 с.) базується на випромінненні у атмосферу вертикально угору акустичного імпульсу з прямокутною обвідною, який є своєрідним зондом і одночасно ціллю для доплерівської радіолокаційної станції. Швидкість розповсюдження такого імпульсу у ат-

мосфері залежить від її фізичних величин, здебільшого від температури повітря. Вимірюючи доплерівський зсув частоти, відбитих від акустичного імпульсу електромагнітних сигналів, розраховують значення температури повітря. Значення доплерівського зсуву частоти сигналів, відбитих від акустичного імпульсу, що розповсюджується в атмосфері, зв'язане зі швидкістю його руху виразом

$$f_d = 2c_a / \lambda_e,$$

де c_a - швидкість акустичного імпульсу, м/с; λ_e - довжина хвилі електромагнітного випроміннення, м. Температуру повітря (y °C) розраховують згідно з виразом

$$t = \left(\frac{f_d \cdot \lambda_e}{2a} \right)^2 - 273,15K, \quad (1)$$

(13) C2

(11) 97612

(19) UA

де f_d - доплерівський зсув частоти, Гц; a - коефіцієнт, який мало залежить від вологості повітря, м/с $(^\circ\text{C})^2$.

Для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря забезпечують виконання умови Брега, яка має вигляд

$$\lambda_e - 2\lambda_a = 0, \quad (2)$$

де λ_a - довжина хвилі акустичного імпульсу посередині траси зондування (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М: Наука, 1985. - С. 151). Для реєстрації вертикального профілю температури повітря вимірюють доплерівський зсув частоти електромагнітних сигналів, відбитих від акустичного імпульсу, який послідовно знаходиться на всіх рівнях траси зондування, і розраховують значення температури повітря на кожному рівні.

Недоліком цього способу є недостатня точність вимірювання температури повітря у тих точках траси, де не виконується умова Брега через природне існування вертикального градієнту температури у атмосфері (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М.: Наука, 1985. - С. 11).

Найближчим за технічною суттю до заявленого є спосіб радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря (Патент України № 89344, МПК G01S/13/95. Опубл. 11.01.2010. Бюл. № 1). У способі радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря, який полягає у тому, що випромінюють вертикально угору акустичний імпульс з синусоїдальним заповненням, опромінюють акустичний імпульс електромагнітними коливаннями з довжиною хвилі, удвоє більшою довжини хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, розсіяні акустичним імпульсом, послідовно перемножують вихідний сигнал радіоприймача з кожного рівня траси зондування з сигналом кожного з 1,2,...N генераторів опорних, порівнюють поміж собою амплітуди вихідних сигналів корелятора з кожного рівня траси зондування та визначають максимальний із них, опорні сигнали для кореляційного прийому формують у відповідності до функції розсіювання для кожного рівня траси зондування, по максимальному значенню амплітуди вихідного сигналу корелятора з кожного рівня траси зондування визначають значення параметра розстроювання умови Брега $q = \lambda_e = 2\lambda_a$ для кожного рівня траси зондування, який використовують для розрахунку температури повітря для кожної точки вертикального профілю температури повітря.

У такому випадку температура повітря розраховується за формулою:

$$T, ^\circ\text{C} = \left[\frac{2\pi f_a}{20 \left(\frac{2\pi f}{C_s} - q \right)} \right]^2 - 273,15\text{K}, \quad (3)$$

яка отримана з використанням формули (7) з роботи (Карташов В.М., Волох А.В., Родионова В.В. Тела неопределенности зондирующих сигналов систем радиоакустического зондирования атмосферы. - Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сборник. 2007. Вып. 150. С. 94-99.)

Недоліком цього способу є недостатня точність вимірювання температури повітря через існування залежності вихідного сигналу корелятора від вихідних сигналів генераторів опорних сигналів, які формуються відповідно до функції розсіювання, яка, в свою чергу, обумовлюється квазірезонансним розсіюванням електромагнітних хвиль від акустичного пакета, так званою умовою Брега (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М.: Наука, 1985. - С. 11).

В основу винаходу способу радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря поставлена задача забезпечення підвищення точності реєстрації профілю температури шляхом зниження впливу амплітуди вихідного сигналу генератора опорних сигналів для кожного рівня траси зондування на точність визначення значення параметра розстроювання умови Брега q .

Ця задача вирішена таким чином. У способі радіоакустичного зондування атмосфери для дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря, яка полягає у тому, що випромінюють вертикально угору акустичний імпульс з синусоїдальним заповненням, опромінюють акустичний імпульс електромагнітними коливаннями з довжиною хвилі, удвоє більшою довжини хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, розсіяні акустичним імпульсом, послідовно перемножують вихідний сигнал радіоприймача з кожного рівня траси зондування з кожним з 1,2,...N сигналів генератора опорних сигналів, опорні сигнали для кореляційного прийому формують у відповідності до функції розсіювання для кожного рівня траси зондування, значення параметра q використовують для розрахунку температури повітря для кожної точки вертикального профілю температури, згідно з винаходом, формують сигнали корекції відповідно до функції $E(q) = \int F^2(r, q) dr$, віднімають з вихідного сигналу кожного каналу корелятора сигнал корекції, порівнюють поміж собою амплітуди вихідних сигналів пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування та визначають максимальний із них, по максимальному значенню амплітуди вихідного сигналу пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування визначають параметр q .

На фіг. 1 подано структурну схему пристрою для реалізації пропонованого способу.

Розглянемо більш докладно пропонований спосіб.

Як відомо, (наприклад, Теоретические основы радиолокации. Под ред. В.Е. Дулевича - М.: Советское радио, 1978. - С. 70), оптимальна апаратура оброблення приймального пристрою радіолокаційної станції формує сигнал, який має дві складо-

ві: перша - відповідає за енергію сигналу, що приймається; друга - відповідає за міру кореляції опорної напруги та сигналу, що приймається. При радіоакустичному зондуванні атмосфери залежність потужності сигналу, що приймається, від умови Брега описується виразом виду $E(q) = \int F^2(r, q) dr$ (Карташов В.М., Волох А.В., Родионова В.В. Тела неопределенности зондирующих сигналов систем радиоакустического зондирования атмосферы. - Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сборник. 2007. Вып. 150. С. 94-99), внаслідок чого перша складова сигналу, що приймається з заданого рівня траси зондування, може змінюватись від того, якою мірою на цьому рівні виконується умова Брега. Згідно з установлюваною методикою багатоканальної кореляційної обробки радіолокаційних сигналів взагалі, при радіоакустичному зондуванні на один вхід багатоканального корелятора подається сигнал, який приймається з вибраного рівня траси зондування, і одночасно на 1,2,...N других каналів подаються сигнали генератора опорних сигналів, енергія яких змінюється згідно функції $E(q) = \int F^2(r, q) dr$. Оскільки у загальному випадку енергія цих сигналів є подібною до резонансної кривої, то вихідні напруги сигналів корелятора, або вхідні напруги компаратора будуть залежними не тільки від взаємної кореляції опорної напруги та сигналу, що приймається (що є вирішальним для прийняття позитивного рішення оптимального виявлення), а і від амплітуд вихідних сигналів генератора опорних сигналів, які мають відповідати функції розсіювання. У такому разі компаратор може помилково зафіксувати максимальний сигнал з виходу корелятора, як у прототипі, що призведе до виникнення похибки визначення q , та, відповідно, до похибки вимірювання температури на даному рівні траси зондування. Для запобігання виникненню похибки такого роду виключають вплив амплітуди вихідного сигналу генератора опорних сигналів на амплітуду вихідних сигналів корелятора з кожного рівня траси зондування, корегуючи вихідний сигнал кожного каналу корелятора сигналом, сформованим відповідно до функції $E(q) = \int F^2(r, q) dr$.

Таким чином, при радіоакустичному зондуванні атмосфери може бути досягнуто підвищена точність реєстрації вертикального профілю температури повітря при випромінненні лише одного акустичного імпульсу шляхом зниження впливу амплітуди вихідного сигналу корелятора для кожного рівня траси зондування на точність визначення значення параметра розстроювання умови Брега q .

Реалізація запропонованого способу здійснюється таким чином.

Реєстрацію вертикального профілю температури повітря проводять за допомогою системи радіоакустичного зондування. При цьому вертикально угору випромінюють акустичний імпульс, який опромінюють електромагнітними коливаннями. Параметри акустичного імпульсу - частоту синусоїдального заповнення, тривалість та період повто-

рення формують за допомогою звукової карти персонального комп'ютера. Значення цих параметрів вибирають таким чином, щоб умова Брега виконувалась на першій точці траси зондування. Для цього термометром вимірюють приземну температуру повітря на рівні верхнього зрізу акустичної антени, далі розраховують швидкість звуку за формулою $c_a \approx 20\sqrt{T}$ і довжину акустичної хвилі (див. вираз (2), необхідної для виконання умови Брега на цьому рівні для заданої довжини хвилі електромагнітного коливання системи радіоакустичного зондування, а розраховану довжину акустичної хвилі використовують для розрахунку найвищої звукової частоти синусоїдального заповнення акустичного імпульсу за формулою $f_a = c_a / \lambda_a$. Розсіяні від акустичного імпульсу електромагнітні коливання приймають, підсилюють, надалі послідовно перемножують у кореляторі з сигналами, сформованими відповідно до функції розсіювання, яка має вигляд

$$E(r, q) = \int F(2r'-r) S^*(r') e^{iqr'} dr' \quad (6)$$

де r - просторова розстройка (зміщення) сигналів; E , S - комплексні обвідні коливань (Карташов В.М. Развитие теории та удосконалення систем радиоакустичного і акустичного зондування атмосфери. Автореферат дис. д-ра техн. наук - Харків, 2003.- С. 13-14), для кожного рівня траси зондування, вихідні сигнали корелятора для кожного рівня траси зондування корегують сигналом, сформованим відповідно до функції $E(q) = \int F^2(r, q) dr$, послідовно порівнюють амплітуду вихідних сигналів пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування поміж собою, по результатах порівняння амплітуди вихідних сигналів пристрою віднімання з кожного рівня траси зондування визначають максимальний із них, за яким визначають значення параметра розстроювання умови Брега q для кожного рівня траси зондування, який використовують для розрахунку температури повітря для всіх точок вертикального профілю температури повітря. Генератор сигналів корекції для кожного значення q формує амплітуду вихідного сигналу, необхідну для корекції, пристрій віднімання зменшує амплітуду вихідного сигналу корелятора на амплітуду сигналу генератора сигналів корекції. Визначення значення параметра розстроювання умови Брега q та розрахунку температури для всіх точок вертикального профілю температури повітря виконуються за командами, які формує персональний комп'ютер. Він же задає вид функції розсіювання для генераторів опорної напруги для кожного рівня траси зондування та, при необхідності, кількість зондувань (тривалість часу необхідно осереднення одиничних профілів температури, що традиційно для вимірювань у метеорології) та термін виводу вертикального профілю на екран монітора або до зовнішніх засобів відображення метеорологічної інформації.

За наявності інверсійного стану приземного шару атмосфери (коли температура повітря підвищується з ростом висоти), що виявляється аналізом апріорної інформації, розраховану довжину

акустичної хвилі використовують для розрахунку найнижчої звукової частоти синусоїдального заповнення акустичного імпульсу.

Розглянемо пристрій для реалізації пропонованого способу. Структурна схема пристрою наведена на кресленні. Пристрій містить радіопередавач 1, вихід якого з'єднаний зі входом антени радіопередавача 2, передавач акустичний 3, перший вихід якого з'єднаний зі входом антени акустичної 4, а другий - з першим входом персонального комп'ютера 5, вхід передавача акустичного 3 з'єднаний з першим виходом персонального комп'ютера 5, радіоприймач 6, вхід якого з'єднаний з виходом антени радіоприймача 7, а вихід радіоприймача 6 з'єднаний з першим входом корелятора 8, другий вхід корелятора 8 з'єднаний з першим виходом генератора опорних сигналів 9, а вихід корелятора 8 з'єднаний з першим входом пристрою віднімання 10, другий вхід якого з'єднаний з виходом генератора сигналів корекції 11, а вихід пристрою віднімання 10 з'єднаний зі входом компаратора 12, вихід компаратора 12 з'єднаний з другим входом комп'ютера персонального 5, другий вихід комп'ютера персонального 5 з'єднаний зі входом генератора опорних сигналів 9, а другий вихід генератора опорних сигналів 9 з'єднаний зі входом генератора сигналів корекції 11.

Робота пристрою. Перед зондуванням у персональний комп'ютер 5, програма роботи якого має п'ять підпрограм: підпрограму зондування, підпрограму формування акустичного імпульсу, підпрограму розрахунку функції розсіювання, підпрограму визначення q і кількість його градацій N , а також підпрограму розрахунку температури, вводяться дані: про дату та час зондування, довжину електромагнітної хвилі системи радіоакустичного зондування, значення коефіцієнта a , тривалість та період повторення акустичного імпульсу, кількість рівнів вимірювання температури на трасі зондування M та значення приземної температури повітря. Радіопередавач 1 формує вихідні неперервні коливання високої частоти з високою стабільністю та заданої потужності, які подаються на вхід антени радіопередавача 2, де перетворюються у електромагнітні коливання та випромінюються вертикально угору. За командою "Пуск" персональний комп'ютер 5 за допомогою звукової карти генерує акустичний імпульс заданої тривалості та заданим періодом повторення, який подається на вхід передавача акустичного 3, у якому звукові коливання підсилюються до заданої потужності і з виходу якого подаються до входу антени акустичної 4, за допомогою якої електричні коливання звукової частоти перетворюються у потужні акустичні коливання, які випромінюються у напрямку зондування атмосфери. Розсіяні від акустичного імпульсу електромагнітні коливання антеною радіоприймача 7 перетворюються у електричні коливання, надходять на вхід радіоприймача 6, де під-

силюються та подаються на корелятор 8, у якому сигнали з виходу радіоприймача 6 послідовно перемножуються з $1,2...N$ коливаннями генератора опорних сигналів 9, які генеруються останнім по командах персонального комп'ютера 5 згідно з функцією розсіювання для можливих значень параметра розстроювання умови Брега q для конкретної метеорологічної ситуації на кожному рівні реєстрації температури. Одночасно $1,2...N$ коливань генератора опорних сигналів 9 подаються на генератор сигналів корекції 11, який формує $1,2,1...N_1$ вихідних сигналів згідно з функцією

$$E(q) = \int F^2(r, q) dr.$$
 Вихідні $1,2,1...N_1$ сигнали генератора сигналів корекції 11 подаються на вхід пристрою віднімання 10, у якому вони віднімаються з вихідних сигналів корелятора 8. Вихідні сигнали $1,2,2...N_2$ пристрою віднімання 10 подаються на компаратор 12, де провадиться порівняння цих сигналів поміж собою для кожного рівня траси зондування. Компаратор 12 вибирає максимальний сигнал з $1,2,2...N_2$ для кожного рівня траси зондування та подає на другий вхід комп'ютера 5 імпульс, за яким комп'ютер 5 визначає номер сигналу генератора опорних сигналів 9 зі списку $1,2,...N$, сигнал якого при перемноженні з вихідним сигналом радіоприймача 6 видає на виході пристрою віднімання 10 максимальний сигнал, і, відповідно, значення параметра розстроювання умови Брега q . Комп'ютер 5 по значеннях параметра розстроювання умови Брега q для кожного з M рівнів траси зондування та технічних параметрів системи радіоакустичного зондування розраховує значення температури повітря для кожної точки вертикального профілю температури. По закінченні розрахунків температури повітря для всіх точок вертикального профілю температури повітря комп'ютер 5 генерує команду "Стоп" для системи радіоакустичного зондування і видає одиничний вертикальний профіль температури на монітор або на інший запис відтворення метеорологічної інформації.

Таким чином, розрахунок температури повітря з використанням значення параметра розстроювання умови Брега q , уточненого шляхом зниження впливу амплітуди вихідного сигналу генератора опорних сигналів на точність визначення параметра розстроювання умови Брега q для кожного рівня траси зондування, дає можливість отримати підвищену точність реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням без виконання умови Брега по трасі зондування. Окрім того, врахування енергії сигналу $E(q)$ при обробці сигналів знижує значення систематичної похибки, притаманної вимірюванням температури доплерівським методом, на 1-2 К, на існування якої вказується в (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М: Наука, 1985. - С. 151).

