



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105441** (13) **C2**  
(51) МПК  
**G01S 13/95** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2013 01609</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>11.02.2013</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>12.05.2014</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>25.11.2013, Бюл.№ 22</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.05.2014, Бюл.№ 9</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Бабкін Станіслав Іванович (UA), Карташов Володимир Михайлович (UA), Куля Дмитро Миколайович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ,</b> пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Комплексированная радиоэлектронная система контроля атмосферных величин / С.И. Бабкин, Г.В. Груша, И.А. Делов, Е.Г. Прошкин. // Прикладная радиоэлектроника. Т. 3, - 2004, № 2. - С. 7-15 UA 89342 C2; 11.01.2010 UA 89344 C2; 11.01.2010 SU 1130809 A1; 23.12.1984 JPS 62274228 A; 28.11.1987 US 4222265 A; 16.09.1980 JPH 11264773 A; 28.09.1999 US 4761650 A; 02.08.1988</p>
---	---

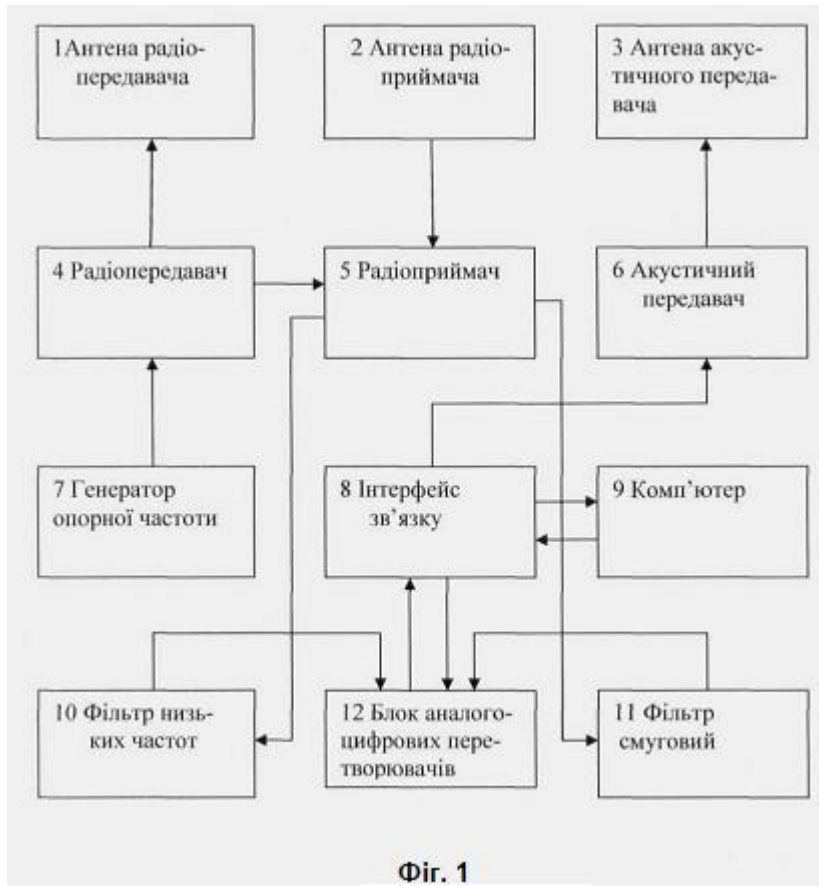
**(54) СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПРОФІЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ РАДІОАКУСТИЧНИМ ЗОНДУВАННЯМ АТМОСФЕРИ**

**(57) Реферат:**

Спосіб дистанційної реєстрації вертикальних профілів температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери належить до радіолокаційної метеорології, а саме до радіоакустичних способів вимірювання параметрів атмосфери, і може бути використаний у проектних роботах 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 мап, досліджень з фізики атмосфери, зокрема туманів різного походження і таке інше. Спосіб 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, відбиті від акустичного імпульсу, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву для кожної точки траси, розраховують значення температури повітря для усіх точок траси, приймають електромагнітні коливання, відбиті від атмосферних неоднорідностей, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань для кожної точки траси, корегують частоти доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань на значення частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань для усіх точок траси, а значення

UA 105441 C2

скорегованих частот доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, використовують для розрахунку значень температури повітря для усіх точок траси. Технічним результатом є одночасний прийом радіосигналів, відбитих від акустичного імпульсу і від атмосферних неоднорідностей, та розділення їх спектрів за допомогою відповідних фільтрів шляхом виключення акустичного приймача зі складу пристрою зондування та зниження вартості отримання метеорологічної інформації про вертикальний розподіл температури в атмосфері.



Винахід належить до радіолокаційної метеорології, а саме до радіоакустичних способів вимірювання метеорологічних величин атмосфери, і може бути використаний при складанні короткострокових прогнозів погоди, при метеорологічному забезпеченні екологічного моніторингу атмосфери та безпеки зльоту і посадки літальних апаратів різного призначення, при складанні радіокліматичних карт, у дослідженнях з фізики атмосфери і таке інше.

Відомий спосіб дистанційної реєстрації вертикальних профілів температури повітря радіоакустичним зондування атмосфери (Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М.: Наука, 1985. - 195 с.) базується на випромінюванні у атмосферу вертикально угору акустичного імпульсу, який є своєрідним зондом і одночасно ціллю для доплерівської радіолокаційної станції. Швидкість розповсюдження такого імпульсу у атмосфері залежить від її фізичних величин, здебільшого від температури повітря та, у значно меншій мірі, від швидкості вітру, згідно з формулою (див. там же):

$$C_a = a\sqrt{T} + w, (1)$$

де  $T$  - температура повітря у градусах Кельвіна,  $a$  - коефіцієнт, який слабо залежить від вологості повітря,  $m/s$  ( $^{\circ}C$ )<sup>2</sup>,  $w$  - проекція швидкості вітру на напрямок зондування (зі своїм знаком).

Вимірюючи доплерівський зсув частоти, відбитих від акустичного імпульсу електромагнітних сигналів, розраховують значення температури повітря по трасі зондування. Значення доплерівського зсуву частоти сигналів, відбитих від акустичного імпульсу, що розповсюджується в атмосфері, зв'язане зі швидкістю його руху виразом

$$f_d = \frac{2C_a}{\lambda_e} = \frac{2(a\sqrt{T} + w)}{\lambda_e}, (2)$$

де  $C_a$  - швидкість акустичного імпульсу,  $m/s$ ;  $\lambda_e$  - довжина хвилі електромагнітного випромінювання, м. Температуру повітря ( $^{\circ}C$ ) розраховують згідно з виразом

$$t = \left( \frac{f_d \cdot \lambda_e}{2a} \right)^2 - 273,15K, (3)$$

де  $f_d$  - доплерівський зсув частоти, Гц.

Недоліком цього способу є невисока точність реєстрації вертикального профілю температури повітря через наявність систематичної похибки визначення температури повітря за рахунок існування вертикальної складової швидкості вітру  $w$ , якщо відсутня інформація щодо вітру.

Найближчим за технічною суттю до заявленого є спосіб дистанційної реєстрації вертикальних профілів температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери, згідно з яким радіоакустичне зондування атмосфери супроводжується акустичним зондуванням, що дозволяє отримати інформацію про значення величини  $w$  (С.И. Бабкин, Г.В. Груша, И.А. Делов, Е.Г. Прошкин. Комплексированная радиоэлектронная система контроля атмосферных величин // Прикладная радиоэлектроника. Т. 3, 2004, № 2. - С. 7-15.) та виключити її з виразу (2).

Недоліком такого способу дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери є висока вартість метеорологічної інформації про вертикальний профіль температури повітря через необхідність додаткового застосування акустичного приймача з високою чутливістю (10-20 мкВ).

В основу винаходу способу дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери поставлена задача зниження вартості отримання метеорологічної інформації про вертикальний розподіл температури в атмосфері шляхом одночасного прийому радіосигналів, відбитих від акустичного імпульсу і від атмосферних неоднорідностей, та розділення їх спектрів за допомогою відповідних фільтрів.

Ця задача вирішена таким чином. У способі дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери, що 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, відбиті від акустичного імпульсу, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву для кожної точки траси, розраховують значення температури повітря для усіх точок траси, згідно з винаходом, приймають електромагнітні коливання, відбиті від атмосферних неоднорідностей, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань

для кожної точки траси, корегують частоти доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань на значення частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань для усіх точок траси, а значення скорегованих частот доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних

5 коливань, використовують для розрахунку значень температури повітря для усіх точок траси.

Розглянемо більш докладно пропонований спосіб.

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

У процесі радіоакустичного зондування атмосфери і вертикальному розповсюдженні акустичного імпульсу (штучної неоднорідності показника заломлювання атмосфери для

10 електромагнітних коливань) на його швидкість впливають температура повітря та вертикальна складова швидкості вітру, тоді як атмосферні неоднорідності (природні неоднорідності такого показника) переміщуються вертикальною складовою швидкості вітру. При одночасному опроміненні акустичного імпульсу та атмосферних неоднорідностей (іншими словами, штучних та природних неоднорідностей) електромагнітними хвилями виникають доплерівські зсуви

15 частоти, відбитих від цих неоднорідностей електромагнітних коливань, що можна подати у вигляді наступного виразу:

$$f_d = \frac{2C_a}{\lambda_e} = \frac{2(a\sqrt{T} + w)}{\lambda_e} = \frac{2a\sqrt{T}}{\lambda_e} + \frac{2w}{\lambda_e} = f_{da} + f_{de}, \quad (4)$$

де  $f_{da}$  - доплерівський зсув частоти радіосигналів, відбитих від акустичного імпульсу (штучної неоднорідності),  $f_{de}$  - доплерівський зсув частоти радіосигналів, відбитих від

20 атмосферних (природних) неоднорідностей атмосфери.

Через велику різницю у швидкості розповсюдження у атмосфері акустичного імпульсу (приблизно 340 м/с при температурі повітря 20 °С; див. наприклад, - Ультразвук. Маленькая энциклопедия // Гл. ред. Голямина И.П. - М.: - Советская энциклопедия. - 1979. - С. 326.) та атмосферних неоднорідностей (приблизно від 0 м/с до 10 м/с; див., наприклад, - Воронцов П.А.

25 Турбулентность и вертикальные токи в пограничном слое атмосферы. - Л.: - Гидрометеоздат. - 1966. - 296 с.) спектри доплерівських зсувів частоти, відбитих електромагнітних коливань, розміщуються у різних частинах частотної осі. Цей факт надає реальну можливість надійного розділення спектрів радіосигналів, відбитих від акустичного імпульсу і атмосферних неоднорідностей, за допомогою відповідних фільтрів, вимір доплерівських зсувів частот

30 електромагнітних сигналів, відбитих від акустичного імпульсу і атмосферних неоднорідностей, та виключення впливу доплерівського зсуву частоти електромагнітних коливань, відбитих від атмосферних неоднорідностей, що переміщуються за рахунок вертикальної складової вітру, на доплерівський зсув частоти електромагнітних коливань, відбитих від акустичного імпульсу, на результати розрахунку температури.

Таким чином, при одночасному прийомі радіосигналів та розділенні спектрів доплерівських зсувів електромагнітних коливань, відбитих акустичним імпульсом і атмосферними неоднорідностями, за допомогою відповідних фільтрів може бути знижена вартість отримання метеорологічної інформації про вертикальний розподіл температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери через виключення акустичного приймача зі складу пристрою

40 зондування.

Реалізація запропонованого способу здійснюється у такий спосіб.

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 - середню частоту синусоїдального заповнення, тривалість та період повторення формують за допомогою звукової карти комп'ютера. Значення цих параметрів вибирають у такий спосіб, щоб умова Брегга ( $\lambda_e = 2\lambda_a$ , де  $\lambda_a$  - довжина хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу) виконувалась на заданій точці траси зондування (в залежності від методики та мети зондування). Для цього термометром вимірюють приземну температуру повітря на рівні

50 верхнього зрізу антени акустичного передавача. Далі розраховують швидкість звуку за формулою (1), скориставшись її приблизним значенням  $C_a \approx a\sqrt{T}$  за відсутності інформації про  $w$ , і довжину акустичної хвилі, необхідної для виконання умови Брегга на цьому рівні для заданої довжини хвилі електромагнітного коливання системи радіоакустичного зондування; розраховану довжину акустичної хвилі використовують для розрахунку звукової частоти акустичного імпульсу за формулою  $f_a = C_a / \lambda_a$ . Відбиті від акустичного імпульсу та від атмосферних неоднорідностей електромагнітні коливання приймають, підсилюють, надалі виділяють сигнали доплерівського зсуву частот  $f_{da}$  і  $f_{de}$  за допомогою відповідних фільтрів, перетворюють аналогові сигнали доплерівських зсувів частоти у цифрові (за допомогою

аналого-цифрових перетворювачів) та обчислюють (наприклад, методом швидкого перетворення Фур'є - ШПФ) значення частот доплерівських зсувів, корегують (віднімають зі своїм знаком) значення доплерівського зсуву частоти електромагнітних коливань, відбитих від акустичного імпульсу, на значення доплерівського зсуву електромагнітних коливань, відбитих від атмосферних неоднорідностей; отримане таким чином значення доплерівського зсуву частоти використовують для розрахунку температури повітря за модифікованою формулою (3) у вигляді:

$$t, C^{\circ} = \left( \frac{f_{dk} \cdot \lambda_e}{2a} \right)^2 - 273,15K, (5)$$

де  $f_{dk} = f_{da} - f_{de}$ .

Розрахунки частот доплерівських зсувів та температури для заданих точок вертикального профілю температури повітря виконуються за командами, які формує комп'ютер. Він же задає - при необхідності - кількість зондувань (тривалість часу необхідного осереднення одиничних профілів температури, що традиційно для вимірювань у метеорології) та термін виводу профілю на екран монітора комп'ютера або до зовнішніх засобів відображення метеорологічної інформації.

Розглянемо пристрій для реалізації пропонованого способу. Структурна схема пристрою наведена на Фіг. 1. Пристрій містить генератор опорної частоти 7, вихід якого підключено до входу радіопередавача 4, виходом підключеного до входу антени радіопередавача 1, антену радіоприймача 2, вихід якої підключено до першого входу радіоприймача 5, другим входом підключеного до другого виходу радіопередавача 4, а першим виходом - до входу фільтра низьких частот 10, другим виходом - до входу смугового фільтра 11, причому вихід фільтра низьких частот 10 підключений до першого входу блока аналого-цифрових перетворювачів 12, а вихід смугового фільтра 11 підключений до другого входу блока аналого-цифрових перетворювачів 12, а третій вхід блока аналого-цифрових перетворювачів 12 підключений до першого виходу інтерфейсу зв'язку 8, другий вихід якого підключено до входу комп'ютера 9, а третій вихід інтерфейсу зв'язку 8 підключений до входу акустичного передавача 6, вихід якого підключений до антени акустичного передавача 3, причому вихід комп'ютера 9 підключений до першого входу інтерфейсу зв'язку 8, другий вхід якого підключений до виходу блока аналого-цифрових перетворювачів 12.

Запропонований спосіб реалізується на цьому пристрої наступним чином. Перед зондуванням у комп'ютер 9, програма роботи якого має чотири підпрограми: підпрограму зондування, підпрограму формування акустичного імпульсу, підпрограму швидкого перетворення Фур'є та підпрограму розрахунку температури [за формулою (5)], вводяться дані: про дату та час зондування, довжину електромагнітної хвилі, значення коефіцієнта  $a$ , тривалість та період повторення акустичного імпульсу, кількість рівнів вимірювання температури на трасі зондування та значення приземної температури повітря. Генератор опорної частоти 1 генерує неперервні коливання високої частоти з високою стабільністю, які подаються на вхід радіопередавача 2, де формуються вихідні коливання радіопередавача 2 заданої потужності, які подаються на вхід антени радіопередавача 3, де перетворюються у електромагнітні коливання та випромінюються вертикально угору. За командою "Пуск" комп'ютер 9 за допомогою звукової карти генерує акустичний імпульс заданих параметрів тривалості, періоду повторення та синусоїдального заповнення, який подається через інтерфейс зв'язку 8 на вхід акустичного передавача 6, у якому звукові коливання підсилюються до заданої потужності і з виходу якого подаються до входу акустичної антени 3. За допомогою акустичної антени 3 електричні коливання звукової частоти перетворюються у потужні акустичні коливання, які випромінюються у напрямку зондування атмосфери. Відбиті від акустичного імпульсу (за умови Брега) та від атмосферних неоднорідностей електромагнітні коливання антеною радіоприймача 2 перетворюються у електричні коливання, надходять на вхід радіоприймача 5, де за допомогою частки потужності коливань радіопередавача 4 виділяються сигнали доплерівських зсувів частоти цих коливань, який надалі подається на вхід фільтра низьких частот 10 та на вхід смугового фільтра 11, у яких здійснюється розділення спектрів сигналів, відбитих від атмосферних неоднорідностей, за допомогою фільтра низьких частот 10, та сигналів, відбитих від акустичного імпульсу, за допомогою смугового фільтра 11. З виходів фільтра низьких частот 10 та смугового фільтра 11 аналогові сигнали виділених спектрів подаються на блок аналого-цифрових перетворювачів 12, який має у своєму складі два аналого-цифрових перетворювачі. У блоці аналого-цифрових перетворювачів 12 за командами комп'ютера 9, які подаються через інтерфейс зв'язку 8, аналогові сигнали перетворюються у цифрові сигнали та подаються на вхід інтерфейсу зв'язку 8 і, далі, на вхід комп'ютера 9 для обчислення значень частот

доплерівських зсувів за методом ШПФ. Надалі комп'ютер 9 корегує (віднімає зі своїм знаком) значення доплерівського зсуву частоти електромагнітних коливань, відбитих від акустичного імпульсу, на значення доплерівського зсуву електромагнітних коливань, відбитих від атмосферних неоднорідностей. Значення скорегованої частоти доплерівського зсуву на кожному рівні реєстрації вертикального профілю температури використовуються для розрахунку одиничних значень температури повітря на цих рівнях за допомогою комп'ютера 9. При виконанні розрахунків температури повітря на всіх рівнях профілю комп'ютер 9 генерує команду "Стоп" для системи радіоакустичного зондування і видає одиничний вертикальний профіль на монітор комп'ютера 9 або осереднений профіль температури (при необхідності).

10 Як бачимо, при одночасному прийомі радіосигналів та розділенні спектрів доплерівських зсувів електромагнітних коливань, відбитих акустичним імпульсом і атмосферними неоднорідностями, за допомогою відповідних фільтрів може бути знижена вартість отримання метеорологічної інформації про вертикальний розподіл температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери через виключення акустичного приймача зі складу пристрою зондування.

15

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

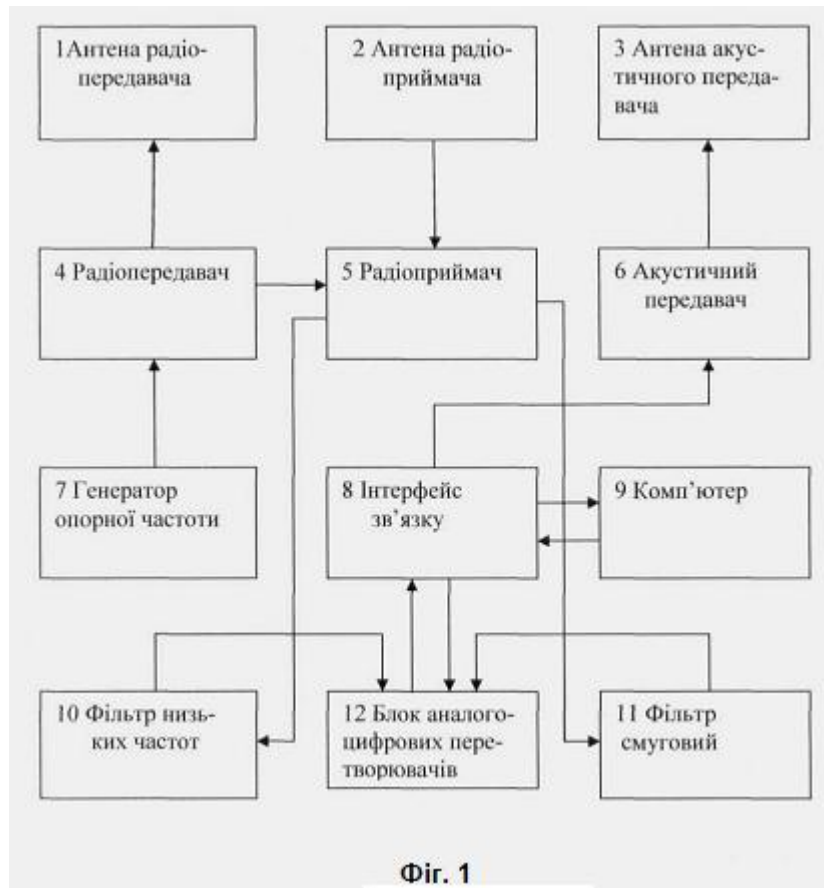
Спосіб дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери, що полягає у тому, що випромінюють вертикально угору акустичний імпульс з синусоїдальним заповненням, опромінюють акустичний імпульс електромагнітними коливаннями з довжиною хвилі, удвоє більшою довжини хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, відбиті від акустичного імпульсу, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву для кожної точки траси, розраховують значення температури повітря для усіх точок траси, який **відрізняється** тим, що приймають електромагнітні коливання, відбиті від атмосферних неоднорідностей, виділяють сигнали з частотою доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань для кожної точки траси, корегують частоти доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, на значення частоти доплерівського зсуву, відбитих атмосферними неоднорідностями електромагнітних коливань для усіх точок траси, а значення скорегованих частот доплерівського зсуву, відбитих акустичним імпульсом електромагнітних коливань, використовують для розрахунку значень температури повітря для усіх точок траси.

20

25

30

35




---

Комп'ютерна верстка О. Рябко

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601