



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93131** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01S 13/95** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

|                                                                               |                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки: <b>u 2014 01496</b>                                        | (72) Винахідник(и):<br><b>Дєлов Іван Акіндінович (UA),<br/>Сліпченко Микола Іванович (UA),<br/>Леонідов Олексій Вікторович (UA)</b> |
| (22) Дата подання заявки: <b>17.02.2014</b>                                   | (73) Власник(и):<br><b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ<br/>УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ,<br/>пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166 (UA)</b>     |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на корисну<br>модель: <b>25.09.2014</b>  |                                                                                                                                     |
| (46) Публікація відомостей<br>про видачу патенту: <b>25.09.2014, Бюл.№ 18</b> |                                                                                                                                     |

## (54) СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

### (57) Реферат:

Спосіб для дистанційного вимірювання профілів температури повітря за допомогою радіоакустичного зондування відрізняється від відомого тим, що поряд з прийомом електромагнітних коливань, розсіяних випроміненим акустичним імпульсом, ведеться прийом водночас акустичних ехосигналів, розсіяних температурними неоднорідностями, для цього самого акустичного імпульсу. На підставі прийнятих електромагнітних коливань, розсіяних випроміненим акустичним імпульсом, вимірюють температуру повітря за виділеною частотою Доплера. На підставі прийнятих акустичних ехосигналів, розсіяних температурними неоднорідностями, вимірюють відносні зміни температури повітря за різницею фаз прийнятих ехосигналів, отриманих для рівного за величиною часового строба. Отримані в такий спосіб відносні зміни температури повітря в часі або за висотою потім перераховують на підставі обмірюваних у цей самий час і для тієї самої висоти дійсних значень температури за допомогою радіоакустичного зондування. Вимірювання температури проводять для певного напрямку, обумовленого задачею вимірювання температури.

UA 93131 U



Корисна модель належить до радіолокаційної метеорології, а саме до акустичного й радіоакустичного способу дистанційного вимірювання параметрів атмосфери, і може бути використана під час складання радіокліматичних карт у роботах з контролю забруднення атмосфери, а також в аеропортах для прогнозування сприятливої ситуації під час зльоту й посадки літаків.

Відомий спосіб дистанційної реєстрації вертикального профілю температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери (Патент України № 89342 Спосіб дистанційної реєстрації вертикальних профілів температури повітря радіоакустичним зондуванням атмосфери. Опубл. 11.01.2010 Бюл. № 1), який полягає в тому, що випромінюють вертикально вгору акустичний імпульс із синусоїдальним заповненням, опромінюють акустичний імпульс електромагнітними коливаннями з довжиною хвилі вдвічі більше довжини хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, відбиті від акустичних імпульсів, виділяють сигнали із частотою доплерівського зрушення, відбитих акустичними імпульсами електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зрушення для кожної точки траси, за значенням яких розраховують температури повітря для всіх точок траси, за робочою формулою. Причому огинаючу акустичного імпульсу формують у вигляді  $\sin x/x$  (де  $x = kt$ , а  $k$  - коефіцієнт, що означає тривалість імпульсу,  $t$  - температура повітря).

Недоліком цього способу є те, що за наявності сильного вітру випромінений акустичний пакет хвиль виноситься з поля діяги спрямованості радіолокатора і прийом розсіяної радіохвилі акустичним імпульсом стає неможливим. Крім того, за інтенсивних пульсацій атмосфери турбулентного характеру зростає помилка вимірюваної температури повітря за допомогою системи радіоакустичного зондування за рахунок деформації випроміненого пакета акустичних хвиль.

Найбільш близьким аналогом за технічною суттю до заявленого є спосіб вимірювання відносних змін температури повітря за допомогою акустичного зондування атмосфери, який полягає в тому, що при імпульсному моностатичному акустичному зондуванні атмосфери для заданого часовим стробом ( $t_{\text{стр}}$ ) часу послідовно вимірюють фазу акустичного ехосигналу  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ , причому кожна фаза  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  вимірюється в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . А потім, задавшись для раніше виміряної фази  $\varphi_1$  температурою повітря  $T^\circ$  (якщо є можливість, вимірюють її),

визначають за різницею вимірюваних фаз  $\Delta\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$  різницю температур  $\Delta T_{1-2}^\circ$ . При

цьому приймається, що у формулі для визначення фази ехосигналу  $\varphi = \frac{2\pi\Delta h}{\lambda}$  величини  $\Delta h$  не

змінюються під час вимірювання  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для того самого часового строба  $\Delta t_{\text{стр}}$ . А потім в обчислену в такий спосіб різницю температур вводиться виправлення на систематичну помилку ( $\Delta\%$ ), пов'язану насправді з невеликими змінами значення  $\Delta h$  під час вимірювання величини

$\varphi_1$  і  $\varphi_2$ . (Делов І.А., Слипченко Н.І., Леонидов А.В. Новое направление в акустическом зондировании атмосферы: Монография. - Харьков, 2012, НТМТ. - 108 с.)

Недоліком такого способу є те, що за відсутності вітру, а отже за відсутності температурних неоднорідностей турбулентного характеру, що розсіюють випромінені акустичні хвилі, неможливо спостерігати акустичний ехосигнал, а відтак вести вимірювання температури повітря за допомогою акустичного зондування.

Крім того, недоліком акустичного способу вимірювання температури повітря є й те, що при цьому способі вимірюється відносна зміна температури повітря шляхом порівняння фаз ехосигналів, отриманих під час двох наступних зондуваннях атмосфери.

В основу корисної моделі поставлена задача усунути перераховані вище недоліки цих способів.

Крім того, з огляду на нещодавно виявлене нове явище в атмосфері Землі анізотропію молекулярних процесів у нейтральній атмосфері, вимірювання температури повітря ( $T^\circ$ ), яка

пов'язана з хаотичною швидкістю молекул ( $v$ ) відомим співвідношенням  $\left(T^\circ = \frac{mv^2}{2}\right)$ , необхідно проводити у чітко заданому напрямку, тому що для різних напрямків ця величина може бути різною.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі дистанційного вимірювання температури повітря за допомогою системи одночасного радіоакустичного (РАЗ) і акустичного (АЗ)

зондування, згідно з корисною моделлю, водночас ведеться прийом радіоехосигналу, відбитого від випроміненого акустичного пакета хвиль і прийом акустичного ехосигналу від цього самого акустичного пакета хвиль, розсіяних температурними неоднорідностями. Потім для прийнятих електромагнітних коливань, відбитих від акустичних імпульсів, виділяють сигнали із частотою доплерівського зрушення, відбитих акустичними імпульсами електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зрушення для кожної точки траси, за значенням яких розраховують значення температури повітря, для всіх точок траси за робочою формулою.

Для прийнятих акустичних ехосигналів, отриманих для двох наступних вимірювань, визначають фазу акустичних ехосигналів щодо опорного (випроміненого сигналу)  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ .

Причому кожну фазу ( $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ ) вимірюють в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . А потім, задавшись для раніше виміряної фази  $\varphi_1$  температурою повітря  $T^\circ$ , за якої обмірювана ця фаза (або, якщо є можливість, вимірюють її), визначають за різницею вимірюваних фаз  $\Delta\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$  різницю температур  $\Delta T_{1-2}^\circ$ . При цьому приймається, що у формулі для визначення фази ехосигналу

$\varphi = \frac{2\pi\Delta h}{\lambda}$  величини  $\Delta h$  не змінюються під час вимірювання  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для того самого часового

строга  $\Delta t_{\text{стр}}$ . А потім в обчислену в такий спосіб різницю температур вводять виправлення на систематичну помилку ( $\Delta\%$ ), пов'язану насправді з невеликими змінами значення  $\Delta h$  під час вимірювання величин  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ . Після чого для кожного каналу (для каналу РАЗ і АЗ) за спеціальним алгоритмом обчислюють температуру повітря.

Нижче наведені робочі формули для обчислення температури повітря для кожного каналу (каналу РАЗ і каналу АЗ).

Робоча формула для обчислення температури повітря в каналі РАЗ:

$$T^\circ\text{C} = \left[ \frac{2\pi f_a}{20(4\pi f - q)} \right] - 273,15 \text{ К},$$

де  $f$  - частота електромагнітних коливань;

$f_a$  - частота звукових коливань;

$q$  - значення параметра Брега;

$a$  - коефіцієнт, що залежить від вологості повітря;

$T^\circ\text{C}$  - температура повітря за Цельсієм;

$q = \lambda_a - 2\lambda_a$ .

Реєстрацію вертикального профілю, температури повітря проводять за допомогою системи радіоакустичного зондування. При цьому вертикально вгору випромінюють акустичний імпульс, який опромінюють електромагнітними коливаннями. Параметри акустичного імпульсу - частоту синусоїдального заповнення, тривалість і період повторення - формують за допомогою звукової карти-персонального комп'ютера. Значення цих параметрів вибирають у такий спосіб, 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  $c_a \approx a\sqrt{T}$  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, послідовно перемножують у кореляторі з сигналами, сформованими відповідно до функції розсіювання, яка має вигляд

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

де  $r$  - просторове розстроювання (зміщення) сигналів;  $E, S$  - комплексні обвідні коливань (Карташов В.М. Розвиток теорії та удосконалення систем радіоакустичного і акустичного зондування атмосфери. Автореферат дис. д-ра техн. наук. - Харків, 2003. - С. 13-14), для кожного рівня траси зондування, послідовно порівнюють амплітуду вихідних сигналів корелятора з кожного рівня траси зондування між собою, за результатами порівняння амплітуди вихідних сигналів корелятора з кожного рівня траси зондування визначають максимальний з

них, за яким визначають параметр розстроювання умови Брега для кожного рівня траси зондування, який використовують для розрахунку температури повітря для всіх точок вертикального профілю температури повітря. Визначення параметра розстроювання умови Брега 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 за необхідності кількість зондувань (тривалість години необхідного осереднення одиничних профілів температури, що традиційно для вимірювань у метеорології) та термін виведення вертикального профілю на екран монітора або до зовнішніх засобів відображення метеорологічної інформації.

За наявності інверсійного стану приземного шару атмосфери (коли температура повітря підвищується зі зростанням висоти), що виявляється аналізом апіорної інформації, розраховану довжину акустичної хвилі використовують для розрахунку найнижчої звукової частоти синусоїдального заповнення акустичного імпульсу.

Робоча формула для вимірювання відносних змін температури повітря на підставі вимірювання фаз акустичного ехосигналу:

$$C_2 = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \cdot C_1 \quad (1)$$

де  $C_1$  - швидкість акустичної хвилі для раніше виміряної фази ( $\varphi_1$ ),  $C_2$  - швидкість акустичної хвилі для наступного вимірювання фази ( $\varphi_2$ ). Під наступним вимірюванням розуміють вимірювання фази при тому самому часовому стробі ( $\Delta t_{\text{стр}}$ ), пізніше, якщо нас цікавить зміна температури повітря з часом, але для однієї й тієї самої висоти.

Якщо нас цікавлять зміни температури повітря з висотою (висотні профілі), то в даному випадку, оскільки стробування відбувається за висотою на однакові ділянки, визначені величиною строга ( $\Delta t_{\text{стр}} \Delta h$ ), наступним вимірюванням фази акустичного ехосигналу тут є сусідня ділянка стробування висоти.

Оскільки в цьому випадку вимірюють фази  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , а у формулі (1) йдеться про повні значення фаз, то за вимірюваною величиною різниці фаз  $\Delta\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$  визначають дійсні значення фаз ( $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ ):

$$\varphi = \frac{2\pi}{T^2} \left( t_{\text{стр}} - \frac{1}{4} \tau \right), \quad (2)$$

де  $T$  - період випроміненої звукової хвилі;  $\Delta t_{\text{стр}}$  - ми задаємо самі;  $\tau$  - тривалість випромінюваного імпульсу,  $\varphi_2$  знайдемо зі співвідношення  $\varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_{1-2}$ , де  $\Delta\varphi_{1-2}$  - обмірювана різниця фаз.

Потім, задавшись температурою повітря  $T_1^\circ$ , за якої була виміряна фаза, знаходять величину  $C_1 = 20 \cdot \sqrt{T_1^\circ}$ . Підставивши у вираз (1) знайдені значення, визначають  $3_2$ , а за значенням  $3_2$  знаходять величину  $T_2^\circ$  як  $T_2^\circ = \frac{C_2}{400}$ . Потім знаходять значення  $\Delta T_{1-2} = T_1 - T_2$ .

Після цього обчислюють систематичну помилку як:

$$\Delta\%_{\text{общ}} = \frac{100\%}{L/D} - \frac{50\%}{t_{\text{стр}}/\tau}, \quad (3)$$

У виразі (3) величини  $t_{\text{стр}}$  й  $\tau$  задані. Величину  $D$  знаходять за формулою як

$D = \Delta t_{\text{стр}} \cdot \Delta C_{1-2}$  - Величина  $L = \frac{\tau \cdot C_1}{2}$ . Потім виправляють виміряні значення  $\Delta T_{12}^\circ$  на величину систематичної помилки.

Для ехосигналів, спостережуваних водночас в радіо- та акустичному каналі, знаходять середнє значення вимірюваної температури повітря й визначають помилку вимірювань. Для ехосигналів, спостережуваних тільки в одному з каналів, визначають помилку вимірювання й вірогідність отриманого результату. Причому, оскільки ми в каналі РАЗ вимірюємо справжні (не відносні) значення температури повітря, то для вимірюваної фази акустичного ехосигналу в той самий час і для тієї самої висоти, що в каналі РАЗ (для того самого обсягу повітря), ми можемо приписати це обмірюване за допомогою системи РАЗ значення температури повітря й тоді всі вимірювані в каналі АЗ різниці фаз для акустичних ехосигналів можемо обрахувати щодо цієї величини у дійсні значення температури. Таким чином, і в каналі АЗ, і в каналі РАЗ ми вимірюватимемо значення температури повітря в абсолютних дійсних (не у відносних) значеннях.

Отже, коли в способі дистанційного вимірювання температури повітря за допомогою системи РАЗ ведуть прийом водночас радіосхосигналу від випроміненого акустичного пакета хвиль і прийом акустичного ехосигналу від того самого акустичного пакета хвиль, розсіяних температурними неоднорідностями, ми можемо вимірювати температуру повітря й тоді, коли неможливо спостерігати акустичний ехосигнал, і навпаки за неможливості спостереження радіохосигналу ми можемо за допомогою АЗ вимірювати температуру повітря. Крім того, оскільки в цьому випадку ми вимірюємо водночас за допомогою РАЗ дійсні значення температури повітря, а за допомогою АЗ вимірюємо відносні значення температури, існує можливість перерахувати вимірювані відносні значення температури за допомогою АЗ в абсолютні дійсні значення, вимірювані за допомогою РАЗ.

Для урахування виявленого нового явища в атмосфері Землі - анізотропії молекулярних процесів у нейтральній атмосфері, вимірювання температури повітря проводять або для заданого задачею вимірювання напрямку, або вимірювання проводять по черзі в трьох або більше різних напрямках, наприклад: у вертикальному напрямку й під кутом до вертикалі у двох протилежних за азимуту напрямках. У цьому випадку через те, що хаотична швидкість молекул повітря може бути через анізотропію різною для кожного напрямку, а температура

повітря ( $T^\circ$ ) пов'язана з хаотичною швидкістю молекул ( $v$ ) відомим співвідношенням  $T^\circ \sim \frac{mv^2}{2}$  (де  $m$  - маса молекули), то вимірювана температура повітря ( $T^\circ$ ) може бути різною для різних напрямків.

На фіг. 1 схематично подано розташування на місцевості антен системи для спільного радіоакустичного зондування й акустичного зондування. На схемі  $A_1$  - передавальна антена радіоканалу,  $A_2$  - приймальна антена радіоканалу,  $A_3$  - приймально-передавальна антена акустичного каналу.

На фіг. 2 подана функціональна схема пристрою для реалізації запропонованого способу: 4 - ЕОМ, 5 - акустичний передавач, 6 - комутатор антен, 7 - акустичний приймач, 8 - канал обробки даних АЗ, 9 - синхронізатор, 10 - радіопередавач, 11 - радіоприймач, 12 - канал обробки РАЗ.

Розглянемо роботу пропонованого способу й функціональну схему пристрою для його реалізації, звернувшись до фіг. 1 і фіг. 2.

Отже, за командою з ЕОМ 4 через антену  $A_3$  випромінюється пакет акустичних хвиль заданої тривалості ( $\tau$ ), водночас підключається радіоканал. Потім акустична антена ( $A_3$ ) комутатором антен (6) перемикається на прийом до входу приймача (7). Через певний час, заданий тривалістю строга ( $t_{\text{стр}}$ ), ми приймаємо акустичний ехосигнал приймачем 5, розсіяний температурними неоднорідностями на висоті строгування ( $\tau_{\text{им}}$ ). Мінімальна висота, з якої ми

можемо приймати акустичний ехосигнал, дорівнюватиме  $h_{\text{min}} = \frac{\tau_{\text{им}}}{2} \cdot c$ , де ( $\tau_{\text{им}}$ ) - тривалість випроміненого пакета акустичних хвиль,  $c$  - швидкість звуку.

Водночас приймачем (10) приймається радіохосигнал від пакета акустичних хвиль, розташованого на висоті строгування.

Потім прийнятий радіохосигнал надходить у канал обробки даних (12), де вимірюється доплерівська частота прийнятого ехосигналу. З виходу каналу обробки дані надходять на ЕОМ

(4), де за спеціально розробленим алгоритмом обчислюється температура повітря для заданої стробом висоти.

Прийнятий приймачем (7) акустичний ехосигнал надходить у канал обробки даних акустичних ехосигналів (8), де вимірюється фаза прийнятого ехосигналу. З виходу каналу обробки дані надходять на ЕОМ (4), де за спеціально розробленим алгоритмом визначається температура повітря. Причому обмірюваній фазі акустичного ехосигналу на цій висоті стробування присвоюється температура повітря, що обмірювана радіоакустичним зондуванням для цього строба. Подальше вимірювання температури повітря, отримане в каналі акустичного зондування, вестиметься щодо цієї величини температури на підставі вимірюваних відносних змін фази акустичних ехосигналів. Отже, на виході каналу акустичного зондування в ЕОМ отримуватимемо дійсні значення вимірювань температури повітря, а не їхні відносні зміни.

Подальша обробка даних в ЕОМ, отриманих у каналах радіоакустичного та акустичного зондування, зводиться до отримання усереднених значень температури повітря, отриманих в один і той самий час і для однієї й тієї самої висоти в обох каналах, якщо ехосигнал спостерігається водночас і для каналу радіоакустичного зондування, і для каналу акустичного зондування. У цьому випадку підвищується точність і вірогідність вимірюваної температури повітря, оскільки обчислюється середнє значення температури повітря, вимірюваної водночас за допомогою двох способів. У тому випадку, коли ехосигнал спостерігається тільки в одному з каналів (радіоакустичному або акустичному), розширюються можливості способу. Розширення можливостей способу пов'язане з тим, що несприятливі умови для радіоакустичного та акустичного зондування переважно протилежні. Так, наприклад, за повної відсутності вітру, як правило, відсутні атмосферні неоднорідності, які розсіюють акустичні хвилі, і ми не можемо спостерігати акустичний ехосигнал, а відтак - вести вимірювання температури повітря.

Водночас відсутність вітру є найбільш сприятливою умовою для РАЗ, оскільки підвищується точність вимірювання температури повітря.

Сильний вітер є несприятливою умовою для радіоакустичного зондування, оскільки вітер виносить акустичний пакет хвиль із діаграми спрямованості антени, внаслідок чого не спостерігається радіоакустичний ехосигнал і вимірювання температури повітря неможливе. Водночас при сильному вітрі, як правило, зростає інтенсивність температурних неоднорідностей, а отже збільшується величина акустичного ехосигналу й точність вимірювання температури за допомогою АЗ зростає.

Таким чином, при одночасному використанні радіоакустичного й акустичного зондування для дистанційного вимірювання температури повітря в системі РАЗ розширюються можливості цього способу, а також підвищується точність і вірогідність отриманих результатів вимірювання температури повітря порівняно з відомими способами.

Крім того, вірогідність вимірюваної температури повітря за допомогою запропонованого способу підвищується ще й за рахунок того, що в пропонованому способі передбачена можливість вимірювання температури повітря (хаотичної швидкості молекул) за різних кутів зондування, чим враховується явище анізотропії хаотичної швидкості молекул, нещодавно виявлене для нейтральної атмосфери Землі.

Подальша обробка даних в ЕОМ, отриманих у каналах радіоакустичного та акустичного зондування, зводиться до урахування у вимірюваних значеннях температури повітря помилок різного походження.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб дистанційного вимірювання температури повітря, у якому випромінюють в атмосферу акустичний імпульс із синусоїдальним заповненням, опромінюють акустичний імпульс електромагнітними коливаннями з довжиною хвилі вдвічі більше довжини хвилі синусоїдального заповнення акустичного імпульсу, приймають електромагнітні коливання, відбиті від акустичних імпульсів, виділяють сигнали із частотою доплерівського зрушення у відбитих акустичних імпульсах електромагнітних коливань, визначають частоти доплерівського зрушення для кожної точки траси, за значенням яких розраховують значення температури для всіх точок траси, причому обвідну акустичного імпульсу формують у вигляді  $\sin x/x$  (де  $x = \kappa_{1t}$ , а  $\kappa_1$  - коефіцієнт, який означає тривалість імпульсу,  $t$  - поточний час), який **відрізняється** тим, що водночас з прийомом електромагнітних коливань від випроміненого акустичного імпульсу ведуть прийом акустичного ехосигналу від цього самого випроміненого акустичного імпульсу, розсіяного температурними неоднорідностями, вимірюють фазу акустичного ехосигналу  $\phi_1$  і  $\phi_2$  для двох наступних зондувань для того самого часового строба ( $t_{стр}$ ) для вимірювання змін

- температури повітря в часі для фіксованої дальності (висоти), а також для того самого зондування вимірюють фази  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для двох стробувань за висотою так, що  $\Delta t_{\text{стр}1} - \Delta t_{\text{стр}2} = \tau$  (де  $\tau$  - тривалість зондувального імпульсу) для отримання висотних змін температури повітря ( $T^0$ ), причому кожену фазу ( $\varphi_1, \varphi_2$ ) вимірюють в межах від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , а потім, задавшись для
- 5 раніше виміряної фази  $\varphi_1$  температурою повітря  $T_1^0$  (якщо, є можливість, її вимірюють), визначають за різницею фаз  $\Delta\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$  різницю температур  $\Delta T_{1-2}$ , при цьому приймається, що у формулі для визначення фази ехосигналу  $\varphi = \frac{2\pi\Delta h}{T}$  величина  $\Delta h$  не змінюється в ході вимірювання фаз  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  для того самого часового строба  $\Delta t_{\text{стр}}$ , а потім в обчислену в такий спосіб різницю температур вводять поправку на систематичну помилку ( $\Delta\%$ ),
- 10 пов'язану насправді з невеликими змінами величини ( $\Delta h$ ) в ході вимірювання величин  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ , причому стробування відбувається не тільки за часом, коли для кожного випроміненого акустичного імпульсу акустичний ехосигнал приймається для того самого часового строба  $\Delta t_{\text{стр}}$  й порівнюються фази ехосигналів  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ , отримані для того самого  $\Delta t_{\text{стр}}$ , але стробування відбувається ще й за дальністю (висотою) на ділянки  $\Delta t_{\text{стр}} = \tau_c$  для кожного випроміненого
- 15 звукового імпульсу, при цьому порівнюють вимірювані фази ехосигналів, отримані для двох сусідніх висот, і за різницею фаз визначають різницю температур, внаслідок чого для кожного випроміненого акустичного імпульсу вимірюють висотний профіль відносної зміни температури повітря, причому оскільки водночас для кожного випроміненого акустичного імпульсу за допомогою радіоакустичного способу вимірюють висотний профіль температури повітря для
- 20 всієї траси, то на підставі обмірюваної температури повітря для найменшої висоти за допомогою радіоакустичного способу, що збігається з найменшою висотою висотного профілю відносних змін температури повітря, отриманих за допомогою акустичного способу, перераховують отримані відносні зміни температури за допомогою акустичного зондування у дійсні значення, при цьому вимірювання температури повітря (хаотичної швидкості молекул)
- 25 проводять в певному напрямку за кутом місця й азимутом, що визначається поставленою задачею вимірювань температури.

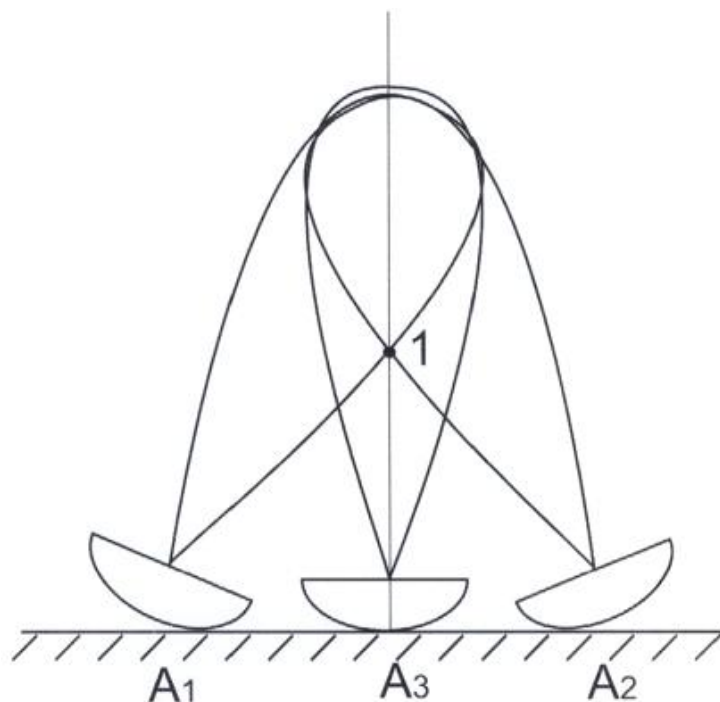


Fig. 1



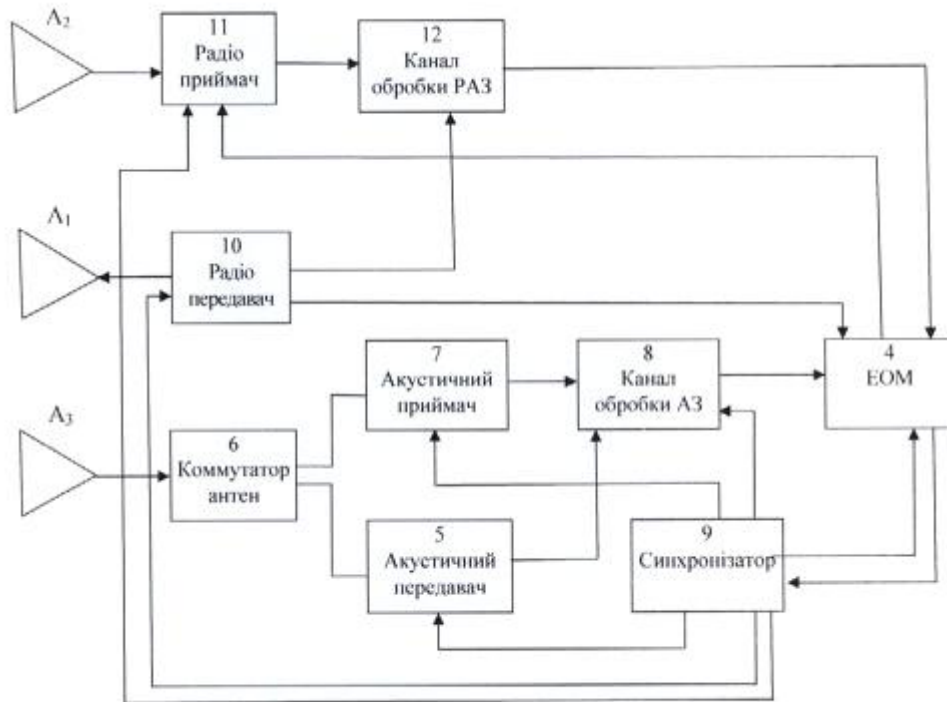


Fig. 2