



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118817** (13) **C2**
(51) МПК
G01S 13/95 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 07091	(72) Винахідник(и): Карташов Володимир Михайлович (UA), Сідоров Геннадій Іванович (UA), Шейко Сергій Олександрович (UA), Шапошнікова Олена Олегівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 05.07.2017	(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.03.2019	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 73397 C2, 15.07.2005 US 3889533 A, 17.06.1975 UA 87082 C2, 10.06.2009 UA 110731 C2, 10.02.2016 UA 105441 C2, 12.05.2014 SU 1689899 A1, 07.11.1991 SU 1130809 A1, 23.12.1984 RU 2196345 C2, 10.01.2003 US 2002005798 A1, 17.01.2002 US 4351188 A, 28.09.1982
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.04.2018, Бюл.№ 7	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2019, Бюл.№ 5	

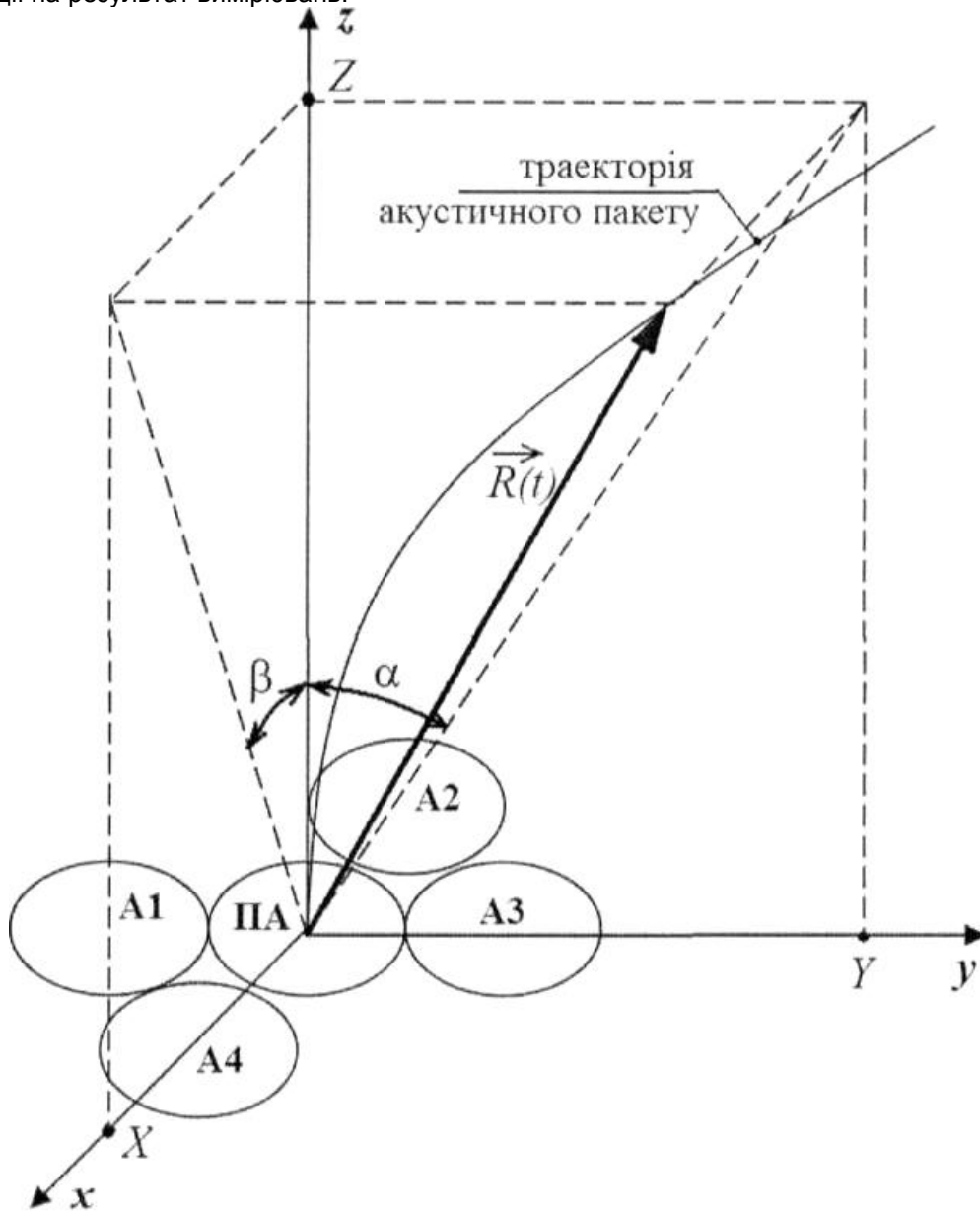
(54) АКУСТИЧНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ В АТМОСФЕРНОМУ ПРИКОРДОННОМУ ШАРІ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(57) Реферат:

Акустичний спосіб вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі і пристрій для його здійснення належить до прикладної метеорології і може бути використаний в ряді галузей народного господарства. Акустичний спосіб полягає в тому, що акустичне коливання випромінюють вертикально вгору передавальною антеною, розташованою в центрі кола, відбиті атмосферою сигнали приймають на чотири антени, що розміщені попарно на взаємно перпендикулярних осях координат OX і OY , на однакових відстанях від центра передавальної антени, при цьому осі діаграм спрямованості передавальної і приймальних антен паралельні позитивному напрямку осі координат OZ , причому діаграми спрямованості передавальних антен, перетинаючись між собою, створюють рівносигнальну зону, потім прийняті чотирма приймальними антенами сигнали обробляються в блоках суми-різниці і блоці суми, підсилюються і нормуються до необхідного рівня в блоках підсилення і нормування, а в блоках вимірювання кутів вимірюються кути надходження α і β відбитого акустичного сигналу у взаємно перпендикулярних площинах XOZ та YOZ відповідно, де кути надходження сигналів вимірюють фазово-різницею способом, далі поточну відстань $R(t)$ від центра випромінювання до місцеположення акустичного пакета в зоні зондування обчислюють за значенням вимірювання часу затримки прийнятого сигналу відносно моменту випромінювання за формулою, потім з використанням отриманих значень R , α і β обчислюють значення горизонтальних складових повного вектора швидкості вітру на різних висотах в декартовій системі координат за формулами. Пристрій містить послідовно включені блок управління, генератор сигналу, підсилювач потужності та передавальну антену, а також чотири приймальні антени, два блоки суми-різниці, блок суми, три блоки підсилення, блок автоматичного регулювання підсилення,

UA 118817 C2

два фазообертачі, два блоки вимірювання кутів, блок вимірювання дальності, блок обчислень і реєстрації. Технічним результатом є підвищення точності вимірювання всіх складових швидкості вітру у всій робочій зоні акустичного локатора завдяки зменшенню впливу вітрової рефракції на результат вимірювань.



Фіг .1

Винахід належить до галузі прикладної метеорології і може бути використаний в ряді галузей народного господарства: в авіації для дистанційного вимірювання швидкості вітру над злітно-посадковою смугою, в зонах розташування металургійних та хімічних підприємств для прогнозування зон вітрового виносу шкідливих викидів, а також при обґрунтуванні місць розташування вітряків в системах вітроенергетики.

В даний час для вимірювання метеопараметрів атмосферного прикордонного шару здебільшого використовуються контактні давачі, які розміщені на різних рівнях висотних споруд в зонах аеропортів та метеостанцій (Баранов А.М. Авиационная метеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 384 с.).

Недоліком цього способу є те, що він не дозволяє вимірювати метеопараметри у 100-метровому атмосферному шарі безпосередньо над самою злітно-посадковою смугою та поблизу промислових підприємств, які є джерелом шкідливих викидів в атмосферу.

Швидкість вітру може бути виміряна системами дистанційного акустичного або радіоакустичного зондування (Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. - Новосибирск: Наука, 1986. - 170 с.; Каллистратова М.А., Кон А.Н. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М.: Наука, 1985. - 199 с.).

Відомий спосіб дистанційного вимірювання швидкості вітру в атмосфері, оснований на ефекті Доплера при розсіюванні акустичних коливань температурною і вітровою турбулентністю, що здійснюється за допомогою акустичного локатора, який працює в моностатичному та бістатичному режимах. В моностатичному режимі акустичний локатор випромінює звуковий імпульс з частотою f_0 , який поширюється в атмосфері зі швидкістю $c_{зв}$. Розсіяна енергія звукового імпульсу приймається тією ж самою антеною і підсилюється приймачем. Якщо розсіюючий об'єм рухається із швидкістю V , частота акустичних коливань в точці приймання буде зсунута на величину поправки Доплера, пропорційну складовій швидкості вітру на напрямок зондування (Beran D.W., Little C.G., Wilthmarth B.C. Acoustic Doppler measurements of vertical velocities in the atmosphere. - Nature, 1979. Vol. 230. issue 5290. - pp. 160-162).

Недоліком способу є вимірювання тільки вертикальної складової швидкості вітру і невелика дальність дії, оскільки в моностатичному режимі розсіювання звукового імпульсу здійснюється тільки на температурній турбулентності, що не дозволяє отримати високу точність вимірювання швидкості вітру.

В бістатичному режимі спрямоване випромінювання та приймання здійснюють рознесеними в просторі антенами. В цьому режимі розсіювання акустичних коливань відбувається як на температурній, так і на вітровій турбулентності. Відомий спосіб, що здійснюється акустичним локатором (An acoustic clopper sounder for measuring wind profiles in the lower boundary layer. - Journal of applied meteorology, 1977, № 16, 1298-1303), який випромінює звукові імпульси двома передавальними антенами, розташованими на сторонах прямого кута з нахиленими діаграмами спрямованості, які перетинаються з вертикальним променем приймально-передавальної антени, розташованої в вершині кута, і створюють три вимірювальних канали. При цьому на виході кожного каналу присутня доплерівська компонента частоти, що дозволяє вимірювати три складові радіальної швидкості вітру і за допомогою обчислювального пристрою знайти значення вертикальної складової швидкості вітру.

Недоліком цього способу є вимірювання тільки однієї вертикальної складової швидкості вітру і невелика дальність дії, обмежена каналом вимірювання, розташованим в вершині кута і працюючим в моностатичному режимі, що не дозволяє отримати високу точність вимірювання швидкості вітру в широкому діапазоні висот зондування.

Відомий спосіб вимірювання вертикальної складової швидкості вітру за результатами акустичного зондування (Патент UA № 73397. МПК G01S 13/00, G01S 13/95. Публ. 15.07.2005, Бюл. № 7). Спосіб включає випромінювання в атмосферу у вертикальному напрямку акустичного імпульсу і приймання луни-сигналу, що розсіяний температурними неоднорідностями атмосфери, обчислення вертикальної складової швидкості вітру за результатами вимірювання взаємкореляційної функції двох реалізацій акустичних луна-сигналів, що отримані як відгуки на послідовно зроблені зондування і по тривалості рівні періоду повторення зондувальних імпульсів, причому положення максимуму вимірюють відносно початку реалізації, який визначають в момент випромінювання зондувального імпульсу, умовно прийнятого за перший.

Недоліком цього способу є те, що він забезпечує вимірювання лише вертикальної складової швидкості вітру, що не дозволяє отримати тривимірний вектор швидкості.

Найбільш близьким за технічною суттю є спосіб (Патент США № 3889533, МПК G01W1/06; G01S9/66, 1975), в якому акустичне коливання випромінюють вертикально вгору

передавальною антеною, розташованою в центрі кола, а приймають розсіяні луна-сигнали на три приймальні антени, які знаходяться на однаковій відстані від передавальної та одна від одної з нахиленими діаграмами спрямованості в досліджуваній зоні. При цьому на вході кожного приймального каналу підсилення присутня доплерівська компонента частоти, що дозволяє

5

вимірювати три складові радіальної швидкості вітру в кожному каналі і за допомогою обчислювального пристрою знайти декартові складові вектора швидкості вітру. Складові радіальної складової швидкості вітру спрямовані по бісектрисах кутів, створених перетином діаграм спрямованості відповідних каналів.

10

Недоліком способу є низька точність вимірювання швидкості вітру, обумовлена невизначеністю координат розсіюючого об'єму внаслідок явища вітрової рефракції, яка не враховується при обчисленні швидкості вітру і справляє суттєвий вплив на отримувані результати в кожному діапазоні висот.

15

Технічною задачею винаходу є досягнення підвищеної точності вимірювання всіх складових швидкості вітру у всій робочій зоні акустичного локатора завдяки зменшенню впливу вітрової рефракції на результат вимірювань.

Ця задача вирішена наступним чином. В акустичному способі вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі, в якому акустичне коливання випромінюють вертикально вгору передавальною антеною, розташованою в центрі кола, а приймають розсіяні

20

неоднорідностями атмосфери луна-сигнали на три приймальні антени, розташовані в площині передавальної антени на однакових відстанях від передавальної антени та одна від одної, діаграми спрямованості передавальної та приймальних антен перетинаються між собою на вибраній висоті, вимірюють три складові радіальної швидкості вітру за сигналами на виході кожної приймальної антени і за допомогою обчислювального пристрою знаходять декартові складові швидкості вітру, згідно з винаходу, відбиті атмосферою сигнали приймають на чотири антени, що розміщені попарно на взаємно перпендикулярних осях координат OX і OY, на однакових відстанях $l/2$ від центра передавальної антени, де l - база пеленгатора, яку визначають із співвідношення $\lambda_a/2 \sin \alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_a/2 \sin \alpha_{\min}$, λ_a - довжина акустичної хвилі, $\alpha_{\max} = \beta_{\max}$, α_{\max} , β_{\max} - максимально можливі кути зносу акустичного пакета вітром у

30

взаємно перпендикулярних площинах XOZ та YOZ, осі діаграм спрямованості передавальної і приймальних антен паралельні позитивному напрямку осі координат OZ, причому діаграми спрямованості передавальних антен, перетинаючись між собою, створюють рівносигнальну зону, ширина діаграми спрямованості передавальної антени у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ дорівнює $2\alpha_{\max}$, $2\beta_{\max}$, а кожної з чотирьох приймальних антен не менше $\theta_{\min} = \alpha_{\max} = \beta_{\max}$, прийняті чотирма приймальними антенами сигнали обробляються в блоках

35

суми-різниць і блоці суми, підсилюються і нормуються до необхідного рівня в блоках підсилення і нормування, в блоках вимірювання кутів вимірюються кути приходу α і β відбитого акустичного сигналу у взаємно перпендикулярних площинах XOZ та YOZ відповідно, кути приходу сигналів вимірюють фазово-різницевим способом, поточна відстань $R(t)$ від центра випромінювання до

40

місцеположення акустичного пакета в зоні зондування обчислюють за значенням вимірювання часу затримки прийнятого сигналу відносно моменту випромінювання за формулою $R(t) = c_{зв} \cdot t_3/2$, t_3 - час затримки сигналу, $c_{зв}$ - швидкість звуку, з використанням отриманих значень R , α і β обчислюють значення горизонтальних складових повного вектора швидкості вітру на різних висотах в декартовій системі координат за формулами:

$$V_x(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{R(t) \cdot \sin(\alpha(t))}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right], \quad V_y(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{R(t) \cdot \sin(\beta(t))}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right],$$

$$V_z(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} t}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right],$$

45

$$0 < t < t_{\max} = 2R_{\max} / c_{зв}.$$

Найбільш близьким за технічною суттю є пристрій для акустичного вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі (Патент США № 3889533, МПК G01W1/06; G01S9/66, 1975), що містить послідовно включені блок управління, генератор сигналу, підсилювач потужності та передавальну антену, а також три приймальні антени з нахиленими до шару досліджуваної висоти діаграмами спрямованості і пересіченими на цій висоті з діаграмою спрямованості передавальної антени, виходи приймальних антен підключені до

50

входів 3-канального приймача, а виходи приймача підключені до входу послідовно включених блоків обчислення та реєстрації.

Недоліком цього пристрою є необхідність зміни кутів спрямування всіх приймальних антен при зондуванні атмосферного шару на різних висотах при вузьких діаграмах спрямованості, або невизначеність положення досліджуваного шару при широкій багатопроменевої діаграмі, що знижує оперативність і точність вимірювань.

Технічною задачею пристрою, що заявляється, є забезпечення точних вимірювань при незмінному положенні приймальних антен, які завжди спрямовані вертикально вгору.

Задача вирішена таким чином. В пристрій для акустичного вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі, що містить послідовно включені блок управління, генератор сигналу, підсилювач потужності та передавальну антену, а також три приймальні антени, розташовані в площині передавальної антени на однакових відстанях від передавальної антени та одна від одної і підключені до входів приймача, згідно з винаходом, додатково введені четверта приймальна антена, перший і другий блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів приходу відбитих акустичних хвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша і третя приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока суми-різниці, друга і четверта приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока суми-різниці, а лінії передавання від приймальних акустичних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, блок суми, перший і другий входи якого з'єднані з підсумовуючими виходами першого і другого блоків суми-різниці, перший, другий і третій блоки підсилення, причому перші входи першого і третього блоків підсилення з'єднані з різницевидами виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи через блок автоматичного регулювання підсилення та через фазообертач на з'єднані з першими входами блоків вимірювання кутів відбитого акустичного сигналу α і β , перший, другий і третій входи блока обчислень і реєстрації, в якому обчислюються значення складових вітру, з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і вимірювання дальності, чотири приймальні акустичні антени розміщені таким чином, що їх центри розташовані на однакових відстанях $l/2$ де $\lambda_a/2 \sin \alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_a/2 \sin \alpha_{\min}$ від центра передавальної антени, причому перша і четверта, а також друга і третя приймальні антени попарно знаходяться на взаємно перпендикулярних осях відносно осі передавальної антени.

На фіг. 1 зображена траєкторія руху акустичного пакета під дією повітряних потоків.

На фіг. 2 надане розташування антен акустичного вимірювача швидкості вітру.

На фіг. 3 подана структурна схема акустичного вимірювача швидкості вітру.

Розглянемо детальніше запропонований спосіб, який здійснюють за допомогою акустичного вимірювача (фіг. 3), що містить послідовно включені блок управління 15, генератор сигналу 1, підсилювач потужності 16, передавальну антену ПА (випромінювач), чотири приймальні антени А1, А2, А3, А4, перший 2 і другий 4 блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів надходження акустичних хвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша А1 і третя А4 приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока суми-різниці, друга А2 і четверта А4 приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока суми-різниці, а лінії передавання від приймальних акустичних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, блок суми 3, перший і другий входи якого з'єднані з підсумовуючими виходами першого і другого блоків суми-різниці, перший 5, другий 6 і третій 7 блоки підсилення, причому перші входи першого і третього блоків підсилення з'єднані з різницевидами виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи через блок 9 АРП (автоматичного регулювання підсилення) та через фазообертачі 8, 10 на $\pi/2$ з'єднані з першими входами блоків 11, 12 вимірювання кутів α і β у взаємно перпендикулярних площинах ХОZ і YOZ, перший, другий і третій входи блока обчислень і реєстрації 14, в якому обчислюються значення складових вітру, з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і вимірювання дальності 12 $R(t)$, чотири приймальні акустичні антени розміщені таким чином, що їх центри розташовані на однакових відстанях $l/2$ від центра передавальної антени, причому перша і четверта приймальні антени знаходяться на осі ОХ, друга і третя приймальні антени на осі ОУ, де $\lambda_a/2 \sin \alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_a/2 \sin \alpha_{\min}$, λ_a - довжина акустичної хвилі, осі діаграм спрямованості всіх антен паралельні позитивному напрямку осі ОZ, причому ширина діаграми спрямованості передавальної антени в площинах ХОZ і YOZ дорівнює $2\alpha_{\max}$, $2\beta_{\max}$, а кожної з чотирьох приймальних антен - не менше $\theta_{\min} = \alpha_{\max} \cdot \beta_{\max}$, де α_{\max} , β_{\max} максимально можливі кути зносу акустичного пакета вітром в площинах ХОZ та YOZ.

Спосіб здійснюють таким чином: за командою із блока управління генератор сигналу через підсилювач потужності за допомогою передавальної антени випромінює акустичний імпульс вертикально вгору. Траєкторія руху акустичного пакету під дією повітряних потоків (фіг. 1) може бути описана як переміщення кінця радіус-вектора $R(t)$, який з'єднує точку випромінювання

5

$$R(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t) + Z^2(t)}$$

$$X(t) = \frac{R(t) \cdot \operatorname{tg} \alpha(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}; \quad Y(t) = \frac{R(t) \cdot \operatorname{tg} \beta(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}};$$

10

$$Z(t) = \frac{R(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}};$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \alpha(t) = \frac{X(t)}{Z(t)}; \quad \operatorname{tg} \beta(t) = \frac{Y(t)}{Z(t)}.$$

Відбитий від температурних неоднорідностей атмосфери вздовж траси поширення акустичний сигнал приймається чотирма приймальними антенами А1, А2, А3, А4, обробляється в блоках суми-різниці 2 і 4, в блоку суми 3, підсилюється до необхідного рівня блоку підсилення 6 і нормується за допомогою блока АРП 9, в блоках вимірювання кутів приходу сигналів 11, 13 вимірюються кути надходження α і β відбитого акустичного сигналу у взаємно перпендикулярних площинах ХОZ і YOZ відповідно. Вважаючи, що на невеликих ділянках на акустичній хвилі вплив вітру незначний, тобто приймаючи кусково-лінійне поширення, довжина вектора $R(t)$ може бути обчислена в послідовні момент часу за формулою $R(t) = c_{зв} \cdot t_3/2$, t_3 - час затримки сигналу від моменту випромінювання. Коефіцієнт "1/2" враховує час поширення звуку від передавальної акустичної антени до об'єкта і в зворотному напрямку від об'єкта до приймальних акустичних антен. Потенційна похибка вимірювання довжини вектора $R(t)$ в основному залежить від похибки в значенні $c_{зв} = a\sqrt{T}$ де Т - температура в градусах Кельвіна, а - постійний коефіцієнт. Зміни температури в межах $\pm 30^\circ$ від $T=273^\circ\text{C}$, можуть призвести до похибки $\pm 3\%$, але ця похибка майже не впливає на кінцевий результат. Поточні значення кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$, які характеризують кутове положення радіус-вектора $R(t)$, містяться в сигналах, які формуються взаємно зв'язаними приймальними антенами і блоками сум і суми-різниці. Операції вимірювання кутів надходження радіохвиль різними способами описані в літературі (Леонов А.И., Фомичёв К.И. Моноимпульсная радиолокация. - М.: Радио и связь, 1984. - 312 с.; Дымова А.И., Альбац М.Е., Бонч-Бруевич А.М. Радиотехнические системы. - М: Сов. Радио, 1975. - 440 с.).

15

20

25

30

Оскільки після перетворення електромагнітного поля в радіоантенах та акустичного поля в акустичних антенах в електричні сигнали методи обробки однакові, в пропонуваній корисній моделі використання фазового сумарно-різницевого способу обробки та вимірювання кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ може бути здійснене аналогічним чином.

35

Напруги з виходів антен підсилюються і обмежуються за амплітудою в окремих приймальних каналах, в кожному з каналів є фазообертач, який обертає фазу підсиленої напруги на $\pi/2$. Розглянемо роботу каналу вимірювання кута α в площині ХОZ. З виходу блока підсилення напруги подаються в блок вимірювання кута α , який реалізується як фазометр $\varphi = (2\pi/\lambda_a) \sin \alpha + \pi/2$. Фазометр містить фазовий детектор і вимірвач його вихідної напруги $U_{вих}$. Схема фазового детектора така, що напруга $U_{вих}$ пропорційна косинусу кута зсуву фаз вхідних напруг детектора.
$$U_{вих} = K \cdot \cos \varphi = K \cdot \cos \left(\frac{2\pi l}{\lambda_a} \sin \alpha + \pi/2 \right) = K \cdot \sin \left(\frac{2\pi l}{\lambda_a} \sin \alpha \right)$$

40

45

де К - коефіцієнт пропорційності, який враховує як напругу на вході фазового детектора, так і коефіцієнт передачі напруги детектора; коефіцієнт К підтримується постійним завдяки обмежувачам амплітуди. Полярність напруги на виході фазового детектора визначає напрямок відхилення пакета, а величина напруги - ступінь відхилення.

Пеленгаційна характеристика фазового пеленгатора для малих кутів α , при яких $\sin \alpha \approx \alpha$

$$U_{\text{вих}} = K \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_a} \alpha\right)$$

Звідси видно, що однозначні показання пеленгатора отримуються, якщо кут $\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda_a} \alpha$, не виходить за межі $\frac{\pi}{2}$ (від $-\pi/2$ до $+\pi/2$), що відповідає умові

$$\alpha_{\text{одн.}} = \frac{\pi \lambda_a}{2\pi l} = \frac{\lambda_a}{2l}$$

Оскільки величина модуля горизонтального вітру може змінюватись в межах 1...30 м/с, а швидкість звуку в вертикальному напрямку приблизно 332 м/с, величини змінювання кута лежать в межах приблизно

$$1/332 \dots 30/332 = 0,003 \dots 0,09 \text{ рад} = 0,17^\circ \dots 5,13^\circ$$

Використовуючи отримані значення мінімального і максимального кутів зносу α , можемо обчислити величину l бази пеленгатора, тобто відстані між центрами пар приймальних антен

$$l_{\text{min}} < l < l_{\text{max}}, \quad \lambda_a = 2 \cdot 0,09 = 0,18 \text{ м}; \quad l_{\text{min}} = \frac{\lambda_a}{2 \cdot 0,003} = 167 \cdot \lambda_a$$

У фазових пеленгаторах маємо протиріччя між точністю вимірювань і межами однозначних показань: для підвищення точності необхідно збільшувати базу l , а для розширення однозначності вимірювань - зменшувати l .

На фіг. 2 надане розташування антен акустичного вимірювача швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі. Центр акустичного випромінювача ПА співпадає з початком координат O , а акустична вісь з напрямком осі OZ . Приймальні антени $A1 \dots A4$ розташовані таким чином, що їх геометричні центри знаходяться на координатних осях OX і OY ($A2$ і $A4$ на осі OX , $A1$ і $A3$, на осі OY) на рівних відстанях від початку координат O ($OA1=OA2=OA3=OA4=l/2$, де l - база пеленгатора). Це дає можливість створити рівносигнальну зону вздовж вертикальної осі. Випромінений акустичний імпульс відбивається атмосферними неоднорідностями, приймається акустичними антенами, надходить до схем обробки, потім до вимірювачів кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$.

Виміряні значення $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ надходять у обчислювальний блок, де обчислюються складові швидкості горизонтального вітру за формулами:

$$V_x(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} t \cdot \text{tg} \alpha(t)}{2\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha(t) + \text{tg}^2 \beta(t)}} \right], \quad V_y(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} t \cdot \text{tg} \beta(t)}{2\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha(t) + \text{tg}^2 \beta(t)}} \right],$$

$$V_z(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} t}{2\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha(t) + \text{tg}^2 \beta(t)}} \right], \quad 0 < t < t_{\text{max}} = 2H_{\text{max}} / c_{зв}$$

Таким чином, в запропонованому винаході, завдяки виконанню ряду додаткових дій за допомогою нових блоків, введених у структурну схему пристрою для реалізації способу, досягнуто вимірювання складових швидкості вітру на різних висотах в атмосферному прикордонному шарі, що важливо при складанні місцевих метеопрогнозів і проектуванні систем вітроенергетики.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Акустичний спосіб вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі, в якому акустичне коливання випромінюють вертикально вгору передавальною антеною, розташованою в центрі кола, а приймають розсіяні неоднорідностями атмосфери луна-сигнали на три приймальні антени, що розташовані в площині передавальної антени на однакових відстанях від передавальної антени та одна від одної, при цьому діаграми спрямованості передавальної та приймальних антен перетинаються між собою на вибраній висоті, потім вимірюють три складові радіальної швидкості вітру за сигналами на виході кожної приймальної антени і за допомогою обчислювального пристрою знаходять декартові складові швидкості вітру, який **відрізняється** тим, що додатково вводять четверту приймальну антену, причому чотири приймальні антени розміщують попарно на взаємно перпендикулярних осях координат

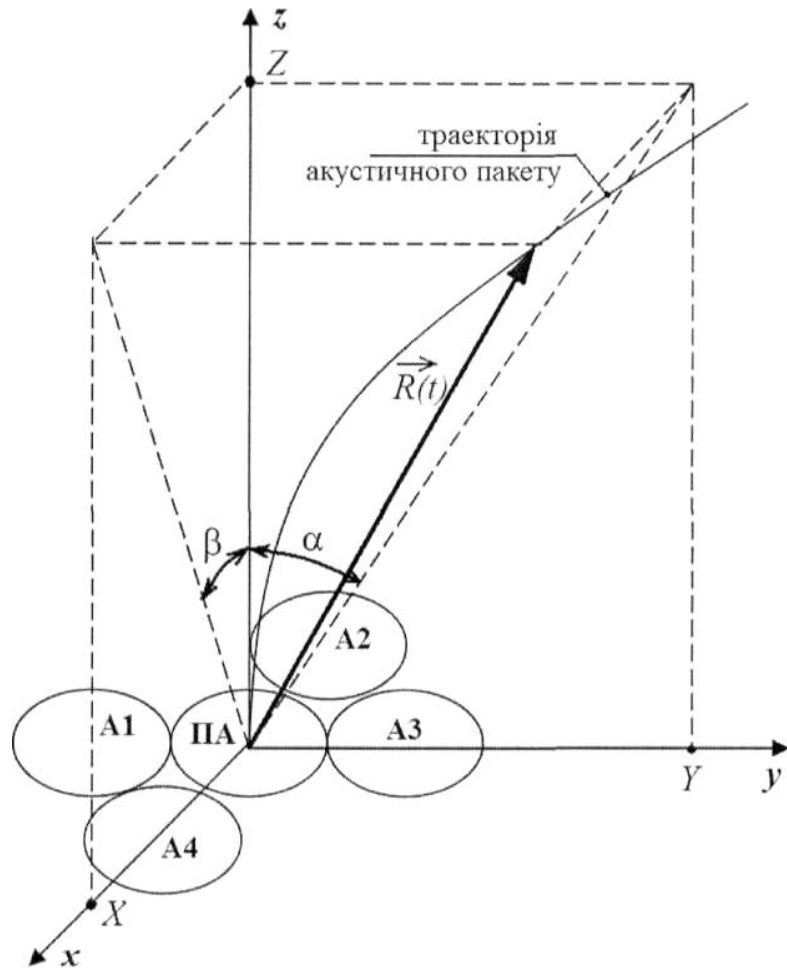
OX і OY, на однакових відстанях $l/2$ від центра передавальної антени, де l - база пеленгатора, яку визначають із співвідношення $\lambda_a/2 \sin \alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_a/2 \sin \alpha_{\min}$, λ_a - довжина акустичної хвилі, $\alpha_{\max} = \beta_{\max}$, α_{\max} , β_{\max} - максимально можливі кути зносу акустичного пакета вітром у взаємно перпендикулярних площинах XOZ та YOZ, при цьому осі діаграм спрямованості передавальної і приймальних антен паралельні позитивному напрямку осі координат OZ, причому діаграми спрямованості передавальних антен, перетинаючись між собою, створюють рівносигнальну зону, де ширина діаграми спрямованості передавальної антени у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ дорівнює $2\alpha_{\max}$, $2\beta_{\max}$, а кожної з чотирьох приймальних антен щонайменше $\theta_{\min} = \alpha_{\max} = \beta_{\max}$, потім прийняті чотирма приймальними антенами сигнали обробляють в блоках суми-різниці і блоці суми, підсилюють і нормують до необхідного рівня в блоках підсилення і нормування, а в блоках вимірювання кутів вимірюють кути надходження α і β відбитого акустичного сигналу у взаємно перпендикулярних площинах XOZ та YOZ відповідно, де кути надходження сигналів вимірюють фазово-різницевим способом, далі поточну відстань $R(t)$ від центра випромінювання до місцеположення акустичного пакета в зоні зондування обчислюють за значенням вимірювання часу затримки прийнятого сигналу відносно моменту випромінення за формулою $R(t) = c_{зв} \cdot t_3/2$, де t_3 - час затримки сигналу, $c_{зв}$ - швидкість звуку, потім з використанням отриманих значень R , α і β обчислюють значення горизонтальних складових повного вектора швидкості вітру на різних висотах в декартовій системі координат за формулами:

$$V_x(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} R(t) \cdot \cos \alpha(t)}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right],$$

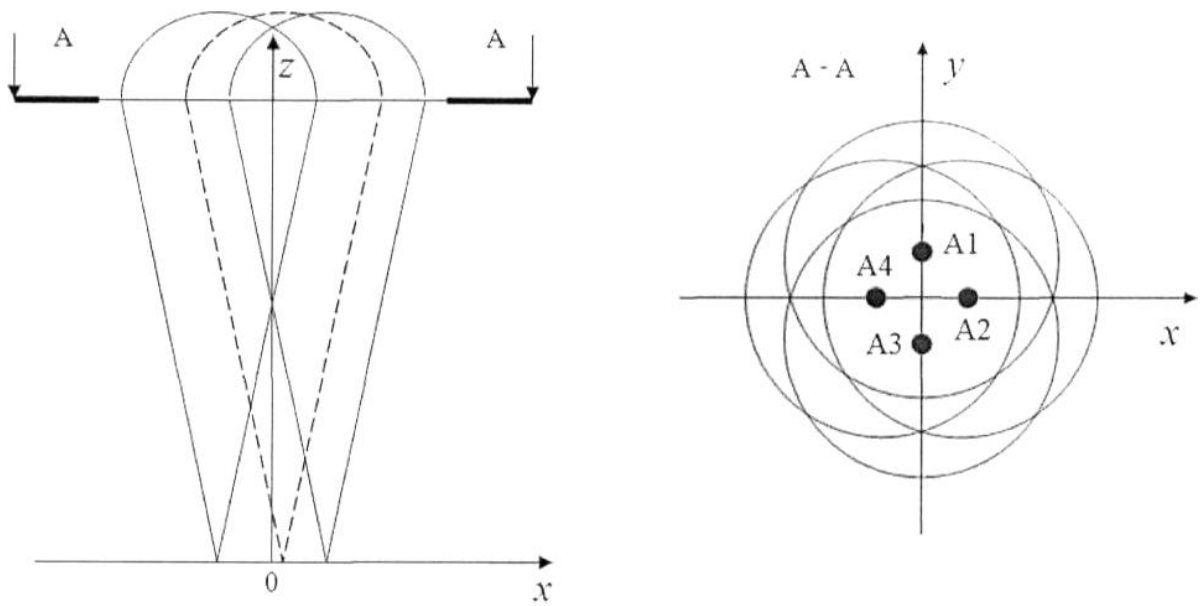
$$V_y(t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{c_{зв} R(t) \cdot \operatorname{tg} \beta(t)}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}} \right].$$

$$0 < t < t_{\max} = 2R_{\max} / c_{зв}$$

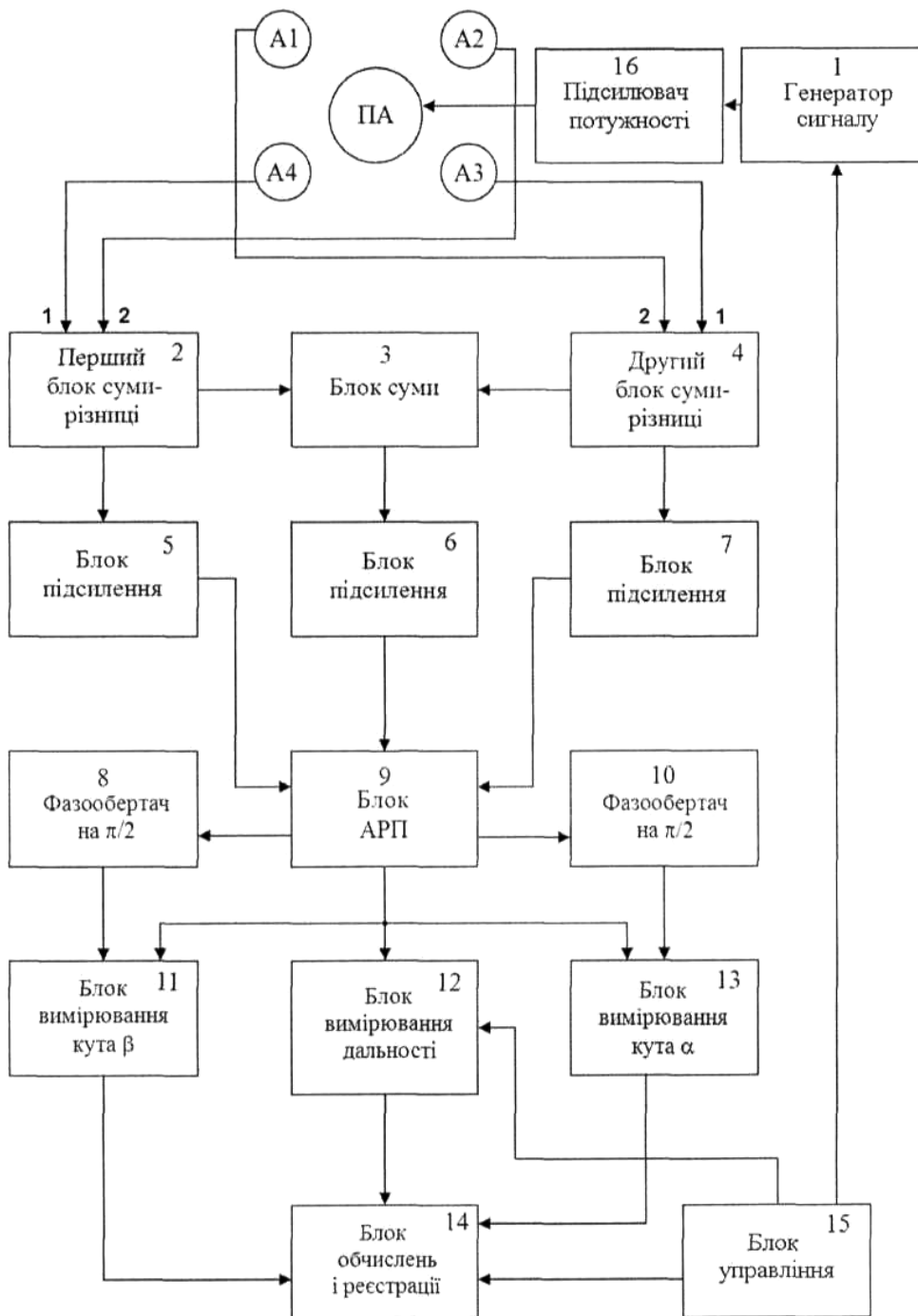
2. Пристрій для акустичного вимірювання швидкості вітру в атмосферному прикордонному шарі, що містить послідовно включені блок управління, генератор сигналу, підсилювач потужності та передавальну антену, а також три приймальні антени з нахиленими до шару досліджуваної висоти діаграмами спрямованості і пересіченими на цій висоті з діаграмою спрямованості передавальної антени, причому виходи приймальних антен підключені до входів 3-канального приймача, а виходи приймача підключені до входу послідовно включених блоків обчислення та реєстрації, який **відрізняється** тим, що додатково введені четверта приймальна антена, перший і другий блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів надходження відбитих акустичних хвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша і третя приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока суми-різниці, а друга і четверта приймальні акустичні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока суми-різниці, а лінії передавання від приймальних акустичних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, також містить блок суми, перший і другий входи якого з'єднані з підсумовуючими виходами першого і другого блоків суми-різниці, перший, другий і третій блоки підсилення, причому перші входи першого і третього блоків підсилення з'єднані з різницевими виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи через блок автоматичного регулювання підсилення та через фазообертач з'єднані з першими входами блоків вимірювання кутів відбитого акустичного сигналу α і β , а вихід блока обчислень і реєстрації з'єднаний з входом генератора тактових імпульсів, перший, другий і третій входи блока обчислень і реєстрації, що виконані з можливістю обчислення значень складових вітру, з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і вимірювання дальності, при цьому чотири приймальні акустичні антени розміщені таким чином, що їх центри розташовані на однакових відстанях $l/2$, де $\lambda_a/2 \sin \alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_a/2 \sin \alpha_{\min}$ від центра передавальної антени, причому перша і четверта, а також друга і третя приймальні антени попарно знаходяться на взаємно перпендикулярних осях відносно осі передавальної антени.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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