

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 87082

**РАДІОАКУСТИЧНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ
ШВИДКОСТІ ТА ЗСУВУ ВІТРУ В АТМОСФЕРНОМУ
ПРИКОРДОННОМУ ШАРІ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО
ЗДІЙСНЕННЯ**

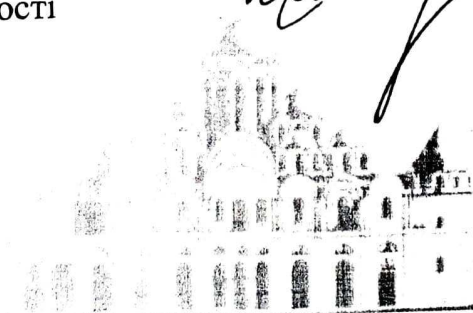
Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
10.06.2009.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності



М.В. Паладій



(19) UA

(51) МПК

G01S 13/95 (2008.01)

(21) Номер заявки: а 2008 08000

(22) Дата подання заявки: 12.06.2008

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.06.2009

(41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 10.04.2009, Бюл. № 7

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.06.2009, Бюл. № 11

(72) Винахідники:

Зубков Олег Вікторович
(UA),Коритцев Ігор Васильович
(UA),Сідоров Геннадій Іванович
(UA),Величко Дмитро
Анатолійович (UA)

(73) Власник:

ХАРКІВСЬКИЙ

НАЦІОНАЛЬНИЙ

УНІВЕРСИТЕТ

РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ,

пр-кт. Леніна, 14, м. Харків,
61726

(54) Назва винаходу:

РАДІОАКУСТИЧНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТА ЗСУВУ ВІТРУ В АТМОСФЕРНОМУ ПРИКОРДОННОМУ ШАРІ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(57) Формула винаходу:

1. Радіоакустичний спосіб вимірювання швидкості та зсуву вітру в прикордонному шарі атмосфери, який включає випромінювання вертикально вгору акустичного імпульсу з синусоїдальним заповненням, співвісне опромінювання його неперервним радіосигналом з довжиною хвилі, вдвічі більшою довжини акустичної хвилі, причому ширина діаграми спрямованості радіопередавальної антени не менше подвійної величини вітрового зносу акустичного пакета від осі спрямованості антени, а також приймання відбитого від просторового акустичного імпульсу радіосигналу на чотири приймальні антени, діаграми яких перетинаються між собою, створюючи вздовж вертикальної осі рівносигнальну зону, а також вимірювання доплерівського зсуву частоти і кутів приходу відбитого радіосигналу у двох взаємно перпендикулярних площинах, обчислення з використанням вимірюваних величин складових модуля горизонтального вітру і його напрямку, а також зсуву вітру на різних висотах, який відрізняється тим, що додатково приймають акустичний сигнал, який виникає внаслідок розсіювання енергії акустичного імпульсу на неоднорідностях атмосферного прикордонного шару, вимірюють його доплерівський зсув частоти і обчислюють швидкість вертикальної складової вітру.

2. Пристрій для здійснення радіоакустичного способу вимірювання швидкості та зсуву вітру в атмосферному прикордонному шарі, що включає послідовно з'єднані генератор імпульсів звукової частоти і акустичну антену, послідовно з'єднані генератор радіочастоти і радіопередавальну антену, чотири радіоприймальні антени, перший і другий блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів приходу радіохвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша і четверта радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока суми-різниці, друга і третя радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока суми-різниці, а лінії передавання від радіоприймальних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, а також 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 фазообертачі на $\pi/2$ з'єднані з першими входами блоків вимірювання кутів α і β у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ, перший вхід другого блока підсилення з'єднаний з виходом блока суми, а вихід - з першим входом блока вимірювання доплерівського зсуву частоти F_d і з другими входами блоків вимірювання кутів α і β , а також містить блок автоматичного регулювання підсилення (АРП), вхід якого з'єднаний з виходом другого блока підсилення, а вихід - з другими входами трьох блоків підсилення, генератор синхроімпульсів, перший вихід якого з'єднаний із входом генератора звукових імпульсів, а другий вихід - з четвертим входом обчислювального блока, перший, другий і третій входи обчислювального блока з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і доплерівського зсуву F_d ,

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
3 арк.

10.06.2009



Уповноважена особа

(підпис)



УКРАЇНА

(19) UA (11) 87082 (13) C2
(51) МПК
G01S 13/95 (2008.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

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

1

(21) а200808000

(22) 12.06.2008

(24) 10.06.2009

(46) 10.06.2009, Бюл. № 11, 2009 р.

(72) ЗУБКОВ ОЛЕГ ВІКТОРОВИЧ, UA, КОРИТЦЕВ
ІГОР ВАСИЛЬОВИЧ, UA, СІДОРОВ ГЕННАДІЙ
ІВАНОВИЧ, UA, ВЕЛИЧКО ДМИТРО АНАТОЛІЙО-
ВИЧ, UA(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-
ТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, UA

(56) SU 1689899 A1, G01S13/99, 07.11.1991.

SU-1252749 A1, G01S13/95, 23.08.1986.

SU 1709263 A1, G01S13/95, 30.01.1992.

UA 3819 A1, G01S13/95, 27.12.1994.

US 4761650, G01S13/95, 02.08.1988.

US 4351188, G01W1/02, G01S13/00, 28.09.1982.

(57) 1. Радіоакустичний спосіб вимірювання швидкості та зсуву вітру в прикордонному шарі атмосфери, який включає випромінювання вертикально вгору акустичного імпульсу з синусоїдальним заповненням, співвісне опромінювання його неперервним радіосигналом з довжиною хвилі, вдвічі більшою довжини акустичної хвилі, причому ширина діаграми спрямованості радіопередавальної антени не менше подвійної величини вітрового зносу акустичного пакета від осі спрямованості антени, а також приймання відбитого від просторового акустичного імпульсу радіосигналу на чотири приймальні антени, діаграми яких перетинаються між собою, створюючи вздовж вертикальної осі рівносигнальну зону, а також вимірювання доплерівського зсуву частоти і кутів приходу відбитого радіосигналу у двох взаємно перпендикулярних площинах, обчислення з використанням вимірюваних величин складових модуля горизонтального вітру і його напрямку, а також зсуву вітру на різних висотах, який відрізняється тим, що додатково приймають акустичний сигнал, який виникає внаслідок розсіювання енергії акустичного імпульсу на неоднорідностях атмосферного прикордонного шару, вимірюють його доплерівський зсув частоти і обчислюють швидкість вертикальної складової вітру.

2. Пристрій для здійснення радіоакустичного способу вимірювання швидкості та зсуву вітру в атмосферному прикордонному шарі, що включає послідовно з'єднані генератор імпульсів звукової

2

частоти і акустичну антену, послідовно з'єднані генератор радіочастоти і радіопередавальну антену, чотири радіоприймальні антени, перший і другий блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів приходу радіохвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша і четверта радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока суми-різниці, друга і третя радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока суми-різниці, а лінії передавання від радіоприймальних антен до входів блоків суми-різниці мають однако-ву електричну довжину, а також 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 різнице-вими виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи че-рез фазообертачі на $\pi/2$ з'єднані з першими вхо-дами блоків вимірювання кутів α і β у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ, перший вхід другого блока підсилення з'єднаний з виходом блока суми, а вихід - з першим входом блока вимі-рювання доплерівського зсуву частоти F_d і з дру-гими входами блоків вимірювання кутів α і β , а також містить блок автоматичного регулювання підсилення (АРП), вхід якого з'єднаний з виходом другого блока підсилення, а вихід - з другими вхо-дами трьох блоків підсилення, генератор синхро-імпульсів, перший вихід якого з'єднаний із входом генератора звукових імпульсів, а другий вихід - з четвертим входом обчислювального блока, пер-ший, другий і третій входи обчислювального блока з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і доплерівського зсуву F_d , геометричні центри ра-діопередавальної і акустичної антен суміщені в початку координат O, а чотири радіоприймальні антени розміщені таким чином, що їх центри роз-ташовані на однакових відстанях $l/2$ від центра радіопередавальної антени, причому перша і чет-верта радіоприймальні антени знаходяться на осі OX, друга і третя радіоприймальні антени на осі OY, де $\lambda_0/2\sin\alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_0/2\sin\alpha_{\min}$, осі діаграм спря-мованості всіх антен паралельні позитивному на-прямку осі OZ, причому ширина діаграми спрямо-

(19) UA (11) 87082 (13) C2

ваності акустичної антени в площинах XOZ і YOZ дорівнює $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$, радіопередавальної антени - $2\alpha_{\max}$ і $2\beta_{\max}$, а кожної з чотирьох радіоприймальних антен - не менше $\Theta_{\min} = \arctg(d\eta/2n\lambda_a)$, де $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ - максимально можливі кути зносу акустичного пакета від вертикалі в площинах XOZ і YOZ, λ_a - довжина радіохвилі, λ_a - довжина акустичної хвилі, $d\eta$ - діаметр радіопередавальної антени, η - кількість періодів акустичної хвилі в пакеті, який відізняється тим, що в нього додатково введені перемикач передавання-приймання, включений між генератором звукових імпульсів і акустичною ан-

теною, підсилювач прийнятих акустичних сигналів, вхід якого з'єднаний з другим виходом перемикача передавання-приймання, вимірювач доплерівської частоти акустичного сигналу, перший вхід якого з'єднаний з виходом підсилювача акустичних сигналів, генератор звукової частоти, перший вихід якого підключений до другого входу генератора звукових імпульсів, а другий вихід - до другого входу вимірювача доплерівської частоти акустичних сигналів, а вихід вимірювача доплерівської частоти підключений до п'ятого входу обчислювального блока.

Винахід стосується області радіометеорології і може використовуватись в авіації для метеорологічного забезпечення зльоту і посадки літаків.

В даний час для метеорологічного забезпечення авіації використовуються результати обчислень зсуву вітру за вимірюваннями швидкості і напрямку вітру контактними давачами, які розміщені на різних рівнях висотних споруд в зоні аеродрому [Баранов А.М. Авиационная метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, - 1981. - 384с.].

Недоліком цього способу вимірювань є те, що він не дозволяє вимірювати метеопараметри у 100-метровому атмосферному шарі безпосередньо над самою злітно-посадочною смугою (ЗПС), а тільки на відстані декількох кілометрів від неї на висотах не більше 40-50 метрів з просторово-часовою екстраполяцією результатів. Отримувані результати лише приблизно відповідають параметрам атмосфери над злітно-посадочною смугою, а найбільш небезпечні атмосферні вихори діаметром 50-100 метрів над ЗПС взагалі не виявляються.

Зсув вітру може бути обчислений за результатами вимірювання швидкості вітру доплерівськими системами акустичного або радіоакустичного зондування [Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. - М: Наука, 1985. - 199с, Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. - Новосибирск. - Наука. - 1986. - 170с.].

Недоліками цих методів є необхідність зондування в декількох напрямках всередині обраного простору конусу з достатньо великим тілесним кутом, що потребує застосування декількох передавально-приймальних каналів із своїми антенами, або при одному приймально-передавальному каналі складної системи повороту антенної системи.

Відомі системи радіоакустичного зондування, які використовують нерухому антенну систему і зондування тільки в одному напрямку - вертикально догори [А.с. СССР №1252749, G 01 S 13/95, публ.23.08.1986, Бюл.№31. А.с. СССР №1689899, G 01 S 13/95, 1991].

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб, що реалізується в радіоакустичному пристрої для вимірювання зсуву вітру [А.с. СССР

№1689899, G 01 S 13/95, публ. 07.11.1991 Бюл.№41].

Він полягає в тому, що вертикально вгору випромінюється акустичний імпульс з синусоїдальним заповненням, який співвісно опромінюється неперервним радіосигналом з довжиною хвилі вдвічі більшою довжини акустичної хвилі, причому ширина діаграми спрямованості радіопередавальної антени повинна бути не менше подвійної величини вітрового зносу акустичного пакету від осі діаграми спрямованості антени, відбитий від просторового акустичного імпульсу радіосигнал приймається на чотири приймальні антени, діаграми яких перетинаються між собою, створюючи вздовж вертикальної осі рівносигнальну зону, вимірюється доплерівський зсув частоти і кути приходу відбитого радіосигналу у двох взаємно перпендикулярних площинах, обчислюються з використанням вимірюваних величин, складові модуля горизонтального вітру на різних висотах.

Недоліком цього способу є те, що він забезпечує вимірювання лише горизонтальних складових швидкості вітру, але одним з небезпечних чинників при зльоті-посадці літаків є виникнення вертикальних повітряних потоків зі швидкостями до 10-20м/с, хоч в переважній більшості випадків вертикальна складова не перевищує 1-2м/с [Баранов А.М. Авиационная метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, - 1981. - 384с.]. При вимірюваннях за даним способом вертикальна складова швидкості вітру принципово не може бути визначена, оскільки доплерівський зсув частоти при наявності тільки вертикальної складової швидкості вітру визначається лінійною сумою швидкості звуку в повітрі і вертикальною складовою швидкості вітру.

Технічною задачею винаходу є вимірювання вертикальної складової швидкості вітру.

Ця задача вирішена таким чином. В радіоакустичному способі вимірювання швидкості та зсуву вітру в прикордонному шарі атмосфери, який включає: випромінювання вертикально вгору акустичного імпульсу з синусоїдальним заповненням, співвісне опромінювання його неперервним радіосигналом з довжиною хвилі вдвічі більшою довжини акустичної хвилі, причому ширина діаграми спрямованості радіопередавальної антени повинна бути не менше подвійної величини вітрового зносу акустичного пакету від осі діаграми спрямо-

ваності антени, приймання відбитого від просторового акустичного імпульсу радіосигналу на чотири приймальні антени, діаграми яких перетинаються між собою, створюючи вздовж вертикальної осі рівносигнальну зону, вимірювання доплерівського зсуву частоти і кутів приходу відбитого радіосигналу у двох взаємно перпендикулярних площинах, обчислення з використанням вимірюваних величин складових модуля горизонтального вітру і його напрямку, а також зсуву вітру на різних висотах, згідно винаходу, додатково приймають акустичний сигнал, який виникає внаслідок розсіювання енергії акустичного імпульсу на неоднорідностях атмосферного прикордонного шару, вимірюють його доплерівський зсув частоти і обчислюють значення вертикальної складової швидкості вітру.

Найбільш близьким до пристрою, що заявляється, є радіоакустичний пристрій для вимірювання зсуву вітру [А.с. СССР №1689899, G 01 S 13/95, 1991], який включає в себе послідовно з'єднані генератор імпульсів звукової частоти і акустичну антену, послідовно з'єднані генератор радіочастоти і радіопередавальну антену, чотири радіоприймальні антени, перший і другий блоки суми – різниці в каналах вимірювання кутів приходу радіохвиль у взаємно-перпендикулярних площинах, причому перша і четверта радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока блока суми-різниці, друга і третя радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока блока суми-різниці, а лінії передавання від радіоприймальних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, блок суми, перший і другий входи якого з'єднані з підсумовувачими виходами першого і другого блоків суми-різниці, перший, другий і третій блоки підсилення, причому перші входи першого і третього блоків підсилення з'єднані з різнице-вими виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи через фазообертачі на $\pi/2$ з'єднані з першими входами блоків вимірювання кутів α і β у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ, перший вхід другого блока підсилення з'єднаний з виходом блока суми, а вихід з першим входом блока вимірювання доплерівського зсуву частоти F_d і з другими входами блоків вимірювання кутів α і β блок автоматичного регулювання підсилення (АРП), вхід якого з'єднаний з виходом другого блока підсилення, а вихід – з другими входами трьох блоків підсилення, генератор синхроімпульсів [C1], перший вихід якого з'єднаний із виходом генератора звукових імпульсів [31], а другий вихід – з четвертим входом обчислювального блока, перший, другий і третій входи обчислювального блока з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і доплерівського зсуву F_d , геометричні центри радіопередавальної і акустичної антен суміщені в початку координат O, а чотири радіоприймальні антени розміщені таким чином, що їх центри розташовані на однакових відстанях $l/2$ від центру радіоприймальної антени, причому перша і четверта радіоприймальні антени знаходяться на осі OX, друга і третя радіоприймальні антени на осі OY, де $\lambda_e/2\sin\alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_e/2\sin\alpha_{\min}$, осі діаграм спрямованості всіх антен паралельні позитивному

пряму осі OZ, причому ширина діаграми спрямованості акустичної антени в площинах XOZ і YOZ дорівнює $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ радіопередавальної антени $2\alpha_{\max}$ і $2\alpha_{\min}$, а кожної з чотирьох радіоприймальних антен не менше $\theta_{\min} = \arctg(d_p/2n\lambda_e)$, де $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ – максимально можливі кути зносу акустичного пакету вітром від вертикалі в площинах XOZ і YOZ, λ_e – довжина радіохвилі, λ_a – довжина акустичної хвилі, d_p – діаметр радіопередавальної антени, n – кількість періодів акустичної хвилі в пакеті.

Недоліком цього пристрою є неможливість вимірювання вертикальної складової швидкості вітру.

Технічною задачею винаходу є створення пристрою для вимірювання вертикальної складової швидкості вітру.

Ця задача вирішена таким чином. В пристрій для здійснення радіоакустичного способу вимірювання швидкості та зсуву вітру в атмосферному прикордонному шарі, який включає послідовно з'єднані генератор імпульсів звукової частоти і акустичну антену, послідовно з'єднані імператор радіочастоти і радіопередавальну антену, чотири радіоприймальні антени, перший і другий блоки суми-різниці в каналах вимірювання кутів приходу радіохвиль у взаємно перпендикулярних площинах, причому перша і четверта радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами першого блока блока суми-різниці, друга і третя радіоприймальні антени з'єднані з першим і другим входами другого блока блока суми-різниці, а лінії передавання від радіоприймальних антен до входів блоків суми-різниці мають однакову електричну довжину, блок суми, перший і другий входи якого з'єднані з підсумовувачими виходами першого і другого блоків суми-різниці, перший, другий і третій блоки підсилення, причому перші входи першого і третього блоків підсилення з'єднані з різнице-вими виходами першого і другого блоків суми-різниці, а їх виходи через фазообертачі на $\pi/2$ з'єднані з першими входами блоків вимірювання кутів α і β у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ, перший вхід другого блока підсилення з'єднаний з виходом блока суми, а вихід – з першим входом блока вимірювання доплерівського зсуву частоти F_d і з другими входами блоків вимірювання кутів α і β , блок автоматичного регулювання підсилення (АРП), вхід якого з'єднаний з виходом другого блока підсилення, а вихід – з другими входами трьох блоків підсилення, генератор синхроімпульсів [C1], перший вихід якого з'єднаний із виходом генератора звукових імпульсів, а другий вихід – з четвертим входом обчислювального блока, перший, другий і третій входи обчислювального блока з'єднані з виходами блоків вимірювання кутів α і β і доплерівського зсуву F_d , геометричні центри радіопередавальної і акустичної антен суміщені в початку координат O, а чотири радіоприймальні антени розміщені таким чином, що їх центри розташовані на однакових відстанях $l/2$ від центру радіопередавальної антени, причому перша і четверта радіоприймальні антени знаходяться на осі OX, друга і третя радіоприймальні антени на осі OY, де $\lambda_e/2\sin\alpha_{\max} \leq l \leq \lambda_e/2\sin\alpha_{\min}$, вісі діаграм спрямованості

всіх антен паралельні позитивному напрямку осі OZ, причому ширина діаграми спрямованості акустичної антени в площинах XOZ і YOZ дорівнює $\alpha_{\max}$, $\beta_{\max}$, радіопередавальної антени $2\alpha_{\max}$ і $2\beta_{\max}$, а кожної з чотирьох радіоприймальних антен - не менше $\Theta_{\min} = \arctg(d_n/2n\lambda_a)$, де $\alpha_{\max}$ і $\beta_{\max}$ - максимальні кути зносу акустичного пакету вітром від вертикалі в площинах XOZ і YOZ, λ_a - довжина радіохвилі, λ_e - довжина акустичної хвилі, d_n - діаметр радіопередавальної антени, n - кількість періодів акустичної хвилі в пакеті, згідно винаходу, додатково введені перемикач передавання - приймання, включений між генератором звукових імпульсів і акустичною антеною, підсилювач прийнятих акустичних сигналів, вхід якого з'єднаний з другим виходом перемикача передавання - приймання, вимірювач доплерівської частоти акустичного сигналу, перший вхід якого з'єднаний з виходом підсилювача акустичних сигналів, генератор звукової частоти, перший вихід якого підключений до другого входу генератора звукових імпульсів, а другий вихід до другого входу вимірювача доплерівської частоти акустичних сигналів, вихід вимірювача доплерівської частоти підключений до п'ятого входу обчислювального блока.

На Фіг.1 зображена траєкторія руху акустичного пакету під дією повітряних потоків.

На Фіг.2 надане розташування антен системи радіоакустичного зондування.

На Фіг.3 подана структурна схема пристрою.

Розглянемо більш докладно запропонований спосіб і пристрій.

Радіоакустичний пристрій (Фіг.3), який реалізує радіоакустичний спосіб вимірювання швидкості та зсуву вітру в атмосферному прикордонному шарі, працює таким чином: за командою із генератора синхроімпульсів генератор звукових імпульсів за допомогою акустичної антени випромінює акустичний імпульс вертикально догори. 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 (початок координат) з поточним місцеположенням акустичного пакету. Як відомо [Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, - 1984. - 680с.], довжина радіус - вектора, який змінюється в часі, може бути подана у вигляді

$$R(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t) + Z^2(t)}, \quad (1)$$

а його проекції на вісі координат

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

$$X(t) = \frac{R(t) \operatorname{tg} \alpha(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}, \quad (3)$$

$$Y(t) = \frac{R(t) \operatorname{tg} \beta(t)}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha(t) + \operatorname{tg}^2 \beta(t)}}, \quad (4)$$

$$\text{де } \operatorname{tg} \alpha(t) = \frac{X(t)}{Z(t)}, \operatorname{tg} \beta(t) = \frac{Y(t)}{Z(t)}. \quad (5)$$

Випромінений акустичний імпульс співвісно опромінюється неперервним радіосигналом за

допомогою генератора радіочастоти і радіопередавальної антени. Відбитий від акустичного пакету радіосигнал приймається чотирма радіоприймальними антенами, обробляється в блоках суми-різниці, блоці суми, підсилюється до необхідного рівня і нормується за допомогою блока АРП в блоці підсилення сигналу, в блоці вимірювання доплерівської частоти вимірюється доплерівський зсув частоти відбитого сигналу, а в блоках вимірювання кутів приходу сигналів вимірюються кути приходу α і β відбитого радіосигналу у взаємно перпендикулярних площинах XOZ і YOZ відповідно. Приймаючи до уваги прямотинійність поширення радіохвиль довжина вектора $R(t)$ може бути обчислена за виміряними значеннями радіальної швидкості руху пакету

$$R(t) = \int_0^t V_r(t) dt = \frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt, \quad (6)$$

де $V_r(t)$ - радіальна швидкість поширення акустичного пакету, λ_e - довжина радіохвилі.

Потенційна середньоквадратична помилка вимірювання частоти $\sigma_f \approx 1/\sqrt{2\pi q \cdot \tau_c}$, де q - відношення сигнал шум по потужності, τ_c - час спостереження. Наприклад, при $q=25$, $\tau_c=1$ с, $\sigma_f \approx 0,08$ Гц.

Поточні значення кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$, які характеризують кутове положення радіус-вектора $R(t)$, містяться в сигналах, які формуються взаємозв'язаними приймальними антенами і блоками суми і суми-різниці. Операції вимірювань кутів приходу радіохвиль різними способами описані в [Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. - М.: Радио и связь. - 1984. - 312с, Дымова А.И., Альбац М.Е., Бонч-Бруевич А.М. Радиотехнические системы. - М.: Сов. Радио, - 1975. - 440с.] При використанні фазового сумарно-різницевого способу значення кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$ вимірюються таким чином.

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 XOZ. З виходу блока підсилення напруги подаються в блок вимірювання кута α , який реалізується як фазометр. $\varphi = (2\pi/\lambda_e) \sin \alpha + \pi/2$. Фазометр містить фазовий детектор і вимірювач його вихідної напруги $U_{\text{вих}}$. Схема фазового детектора така, що напруга $U_{\text{вих}}$ пропорційна косинусу кута зсуву фаз вхідних напруг детектора:

$$U_{\text{вих}} = K \cos \varphi = K \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_e} \sin \alpha + \frac{\pi}{2} \right) = K \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_e} \sin \alpha \right),$$

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

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

$$U_{\text{вих}} = K \sin \left(\frac{2\pi l}{\lambda_e} \alpha \right).$$

Звідси видно, що однозначні показання пеленгатора $\alpha_{\text{одн.}}$ отримуються, якщо кут $2\pi l/\lambda_e$ не виходить за межі π (від $-\pi/2$ до $+\pi/2$), що відповідає умові

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

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

$$\approx \frac{1}{332} \dots \frac{30}{332} = 0,003 \dots 0,09 \text{ радіан} = 0,17^\circ \dots 5,13^\circ.$$

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

$$l_{\min} < l < l_{\max},$$

$$\text{де } l_{\min} = \frac{\lambda_e}{\alpha_{\max}} = \frac{\lambda_e}{2 \cdot 0,09} = 5,5 \lambda_e;$$

$$l_{\max} = \frac{\lambda_e}{2\alpha_{\min}} = \frac{\lambda_e}{2 \cdot 0,003} = 167 \lambda_e.$$

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 .

При наявності шумів потенційна середньоквадратична помилка вимірювань кута фазовим методом.

$$\sigma_{\text{пот.}} = \lambda / (2\pi l \cos \alpha \sqrt{q}) \text{ (рад.)}$$

де q - відношення сигнал/шум за потужністю.

Таким чином видно, що ця помилка тим менше, чим більше відношення сигнал/шум q і відношення бази l до довжини хвилі λ_e , а також чим менше відхиляється напрямок на центр пакета від перпендикуляру до бази антени. Наприклад, визначимо значення середньоквадратичних помилок для випадків мінімального і максимального відхилення траєкторії руху акустичного пакета від вертикалі при мінімальному і максимальному значеннях горизонтального вітру 1...30 м/с ($\alpha_{\min} = 0,003$ рад, $\alpha_{\max} = 0,09$ рад.).

Прийmemo значення $\frac{l}{\lambda_e} = 50$ і $q = 25$. Тоді

$$\sigma_{\text{пот.1}} = 1 / (2\pi \cdot 50 \cdot 0,9998 \cdot \sqrt{25}) \approx 0,0006 \text{ рад} = 0,036^\circ,$$

$$\sigma_{\text{пот.2}} = 1 / (2\pi \cdot 50 \cdot 0,9942 \cdot \sqrt{25}) \approx 0,0006 \text{ рад} = 0,036^\circ.$$

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

$$V_X(t) = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\left[\frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt \right] \text{tg} \alpha(t)}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha(t) + \text{tg}^2 \beta(t)}} \right\}. \quad (7)$$

$$V_Y(t) = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{\left[\frac{\lambda_e}{2} \int_0^t F_D(t) dt \right] \text{tg} \beta(t)}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha(t) + \text{tg}^2 \beta(t)}} \right\}. \quad (8)$$

При цьому модуль вертикального зсуву горизонтального вітру на висотах Z_i і Z_j обчислюється за формулою

$$g(j-i) = |V_r(t_j)| - |V_r(t_i)| = \sqrt{V_x^2(t_j) + V_y^2(t_j)} - \sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i)} \quad (9)$$

Напрямок вертикального зсуву горизонтального вітру обчислюється за формулою

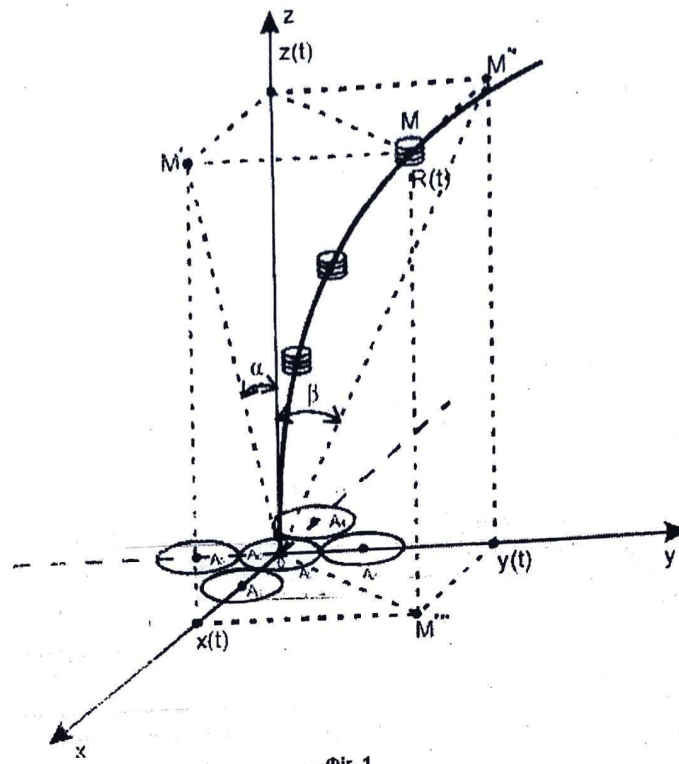
$$\gamma_{j-i} = \gamma_j - \gamma_i = \arctg \frac{V_y(t_j)}{V_x(t_j)} - \arctg \frac{V_y(t_i)}{V_x(t_i)}. \quad (10)$$

На Фіг.2 надане розташування антен системи радіоакустичного зондування, яка реалізує описаний вище спосіб вимірювання. Радіо- і акустичний опромінювачі параболічного дзеркала антени A_5 і A_6 розташовані співвісно і їх центри співпадають з початком координат O , а електричні осі - з напрямком осі OZ . Приймальні антени A_1 - A_4 розташовані таким чином, що їх геометричні центри знаходяться на координатних осях OX і OY (A_1 і A_4 на вісі OX , A_2 і A_3 на вісі OY) на рівних відстанях від початку координат O ($OA_1 = OA_2 = l/2$, де l - база пеленгатора). Випромінений акустичний імпульс відбивається атмосферними неоднорідностями, приймається акустичною антеною, через перемикач передавання - приймання надходить до підсилювача, а потім до вимірювача доплерівської частоти, вихідний сигнал якого надходить до обчислювального блока, в якому обчислення вертикальної складової швидкості вітру здійснюється за формулою

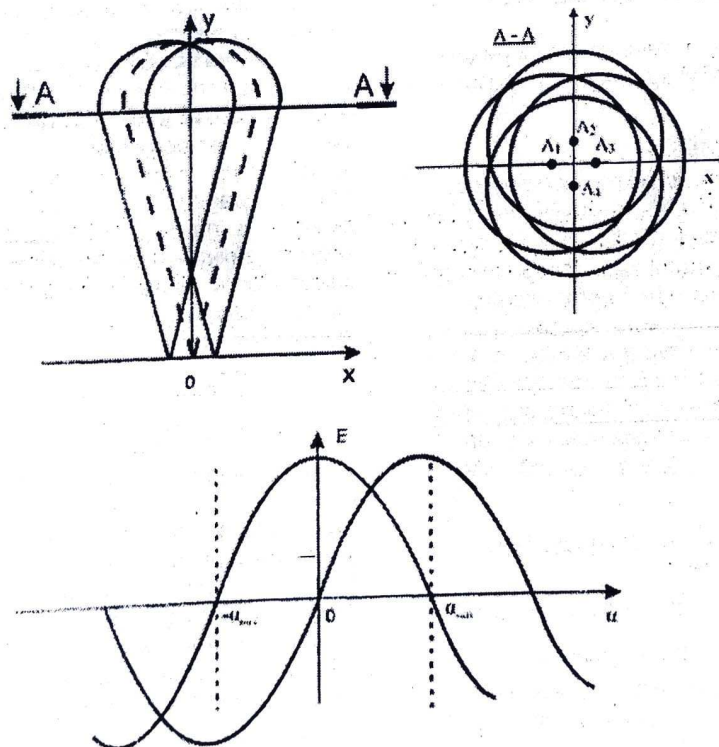
$$V_Z = \frac{F_{Da} \cdot \lambda_a}{2}$$

де F_{Da} - доплерівський зсув частоти прийнятого акустичного сигналу, λ_a - довжина акустичної хвилі.

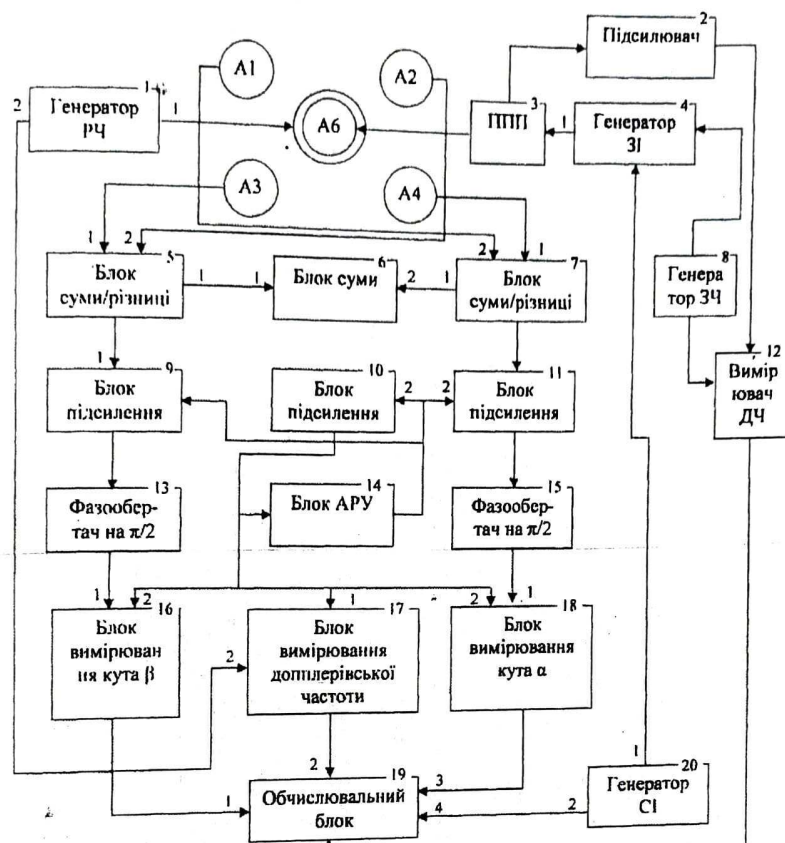
Таким чином в запропонованому винаході завдяки виконанню ряду додаткових дій за допомогою нових блоків, введених у структурну схему пристрою - прототипу, досягнуто вимірювання вертикальної складової швидкості вітру над злітно-посадочною смугою, що важливо для підвищення безпеки авіаційного руху в зоні аеропортів.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг.3

Тираж 28 прим.

Підписне

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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