



(51) МПК
G01P 5/22 (2006.01)
G01P 5/26 (2006.01)
G01S 17/95 (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
 ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2009121315/28, 04.06.2009**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
04.06.2009

(45) Опубликовано: **20.11.2010** Бюл. № 32

(56) Список документов, цитированных в отчете о
 поиске: **Г.Г.МАТВИЕНКО и др.**

**ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
 КОМПОНЕНТОВ СКОРОСТИ ВЕТРА С
 ПОМОЩЬЮ ЛИДАРА, ОПТИКА
 АТМОСФЕРЫ. - ТОМСК: ИНСТИТУТ
 ОПТИКИ АТМОСФЕРА СО АН СССР, Т.1,
 №2, 1989. WO 2007009759 A1, 25.01.2007. RU
 2344448 C2, 20.01.2009. US 2007171397 A1,
 26.07.2007.**

Адрес для переписки:

**105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, ЦЗИС
 МГТУ им. Н.Э. Баумана, Директору**

(72) Автор(ы):

**Белов Михаил Леонидович (RU),
 Городничев Виктор Александрович (RU),
 Иванов Сергей Евгеньевич (RU),
 Козинцев Валентин Иванович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное
 учреждение высшего профессионального
 образования "Московский государственный
 технический университет имени Н.Э.
 Баумана" (ГОУ ВПО МГТУ им. Н.Э.
 Баумана) (RU)**

(54) СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА

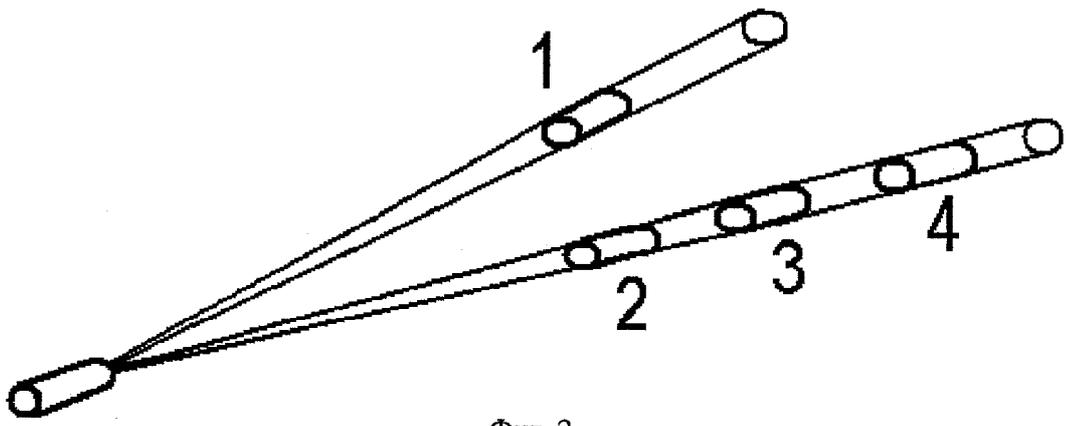
(57) Реферат:

Способ заключается в том, что атмосферу зондируют двумя импульсными лазерными пучками, распространяющимися с малым, до 10 градусов, угловым расстоянием между ними, а затем регистрируют сигналы от рассеивающих объемов аэрозольных неоднородностей. Облучение атмосферы осуществляют лазерными импульсами с длительностью $\tau < \frac{2d_{\min}}{c}$, определяемой

минимальным расстоянием d_{\min} между рассеивающими объемами в атмосфере и скоростью света c . Количество рассеивающих объемов $p > 2$ выбирают исходя из требуемой угловой точности $\Delta\varphi$ определения направления ветра. Затем определяют минимальные значения S_i^m взаимно-структурных функций

$S_{1,i}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_i(t+\tau)]^2 \rangle$ между сигналом $U_1(t)$ от рассеивающего объема 1 первого пучка и сигналами $U_i(t)$, $i=2...n$ от рассеивающих объемов $2...i...n$ второго пучка. За направление ветра принимают направление между рассеивающим объемом 1 и рассеивающим объемом с наименьшим минимальным значением $S_{i\min}^m = \min(S_2^m, \dots, S_n^m)$

взаимно-структурной функции. Величину и знак скорости ветра определяют по временному положению минимума взаимно-структурной функции сигналов для этих рассеивающих объемов и по расстоянию между этими объемами. Технический результат заключается в повышении точности оперативных дистанционных определений скорости и направления ветра. 2 ил., 2 табл.



Фиг. 2

RU 2404435 C1

RU 2404435 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01P 5/22 (2006.01)
G01P 5/26 (2006.01)
G01S 17/95 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2009121315/28, 04.06.2009**

(24) Effective date for property rights:
04.06.2009

(45) Date of publication: **20.11.2010 Bull. 32**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, TsZIS
MGTU im. N.Eh. Baumana, Direktoru**

(72) Inventor(s):

**Belov Mikhail Leonidovich (RU),
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU),
Ivanov Sergej Evgen'evich (RU),
Kozintsev Valentin Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij
universitet imeni N.Eh. Baumana" (GOU VPO
MGTU im. N.Eh. Baumana) (RU)**

(54) **METHOD FOR REAL-TIME REMOTE DETERMINATION OF WIND SPEED AND DIRECTION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

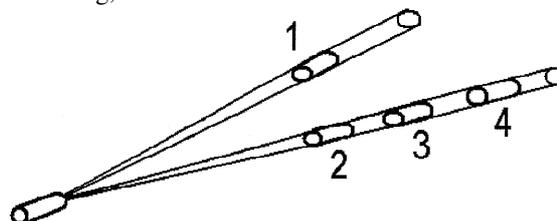
SUBSTANCE: atmosphere is probed with two pulsed laser beams propagating with a small angular distance between them of up to 10 degrees and signals from scattering volumes of aerosol non-uniformities are then picked up. The atmosphere is irradiated with laser pulses with duration of $\tau < \frac{2d_{\min}}{c}$, defined by minimum distance

d_{\min} between scattering volumes in the atmosphere and speed of light C . The number of scattering volumes $n > 2$ is selected based on the required angular accuracy $\Delta\varphi$ for determining wind direction. Minimum values $S_{i,j}^m$ of mutual-structure functions $S_{1,i}(\tau) = ([U_1(t) - U_i(t+\tau)]^2)$ between a signal $U_1(t)$ from scattering volume 1 of the first beam and signal $U_i(t)$, $i=2\dots n$ from scattering volumes 2...i...n of

the second beam are determined. The wind direction is the direction between scattering volume 1 and the scattering volume with the least minimum value $S_{i \min}^m = \min(S_2^m, \dots, S_n^m)$ of the mutual-structure function. The value and sign of the wind speed is determined from the time position of the minimum of the mutual-structure function of signals for these scattering volumes and from the distance between these volumes.

EFFECT: higher accuracy of real-time remote determination of wind speed and direction.

2 dwg, 2 tbl



Фиг. 2

RU 2 404 435 C1

RU 2 404 435 C1

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано, в частности, в прикладной метеорологии для оперативного дистанционного определения скорости и направления ветра.

Известны способы определения скорости газового потока и атмосферного ветра, основанные на регистрации (контактным или дистанционным методом) случайных реализаций сигналов в двух точках потока и дальнейшем анализе измеренных случайных реализаций или результатов их корреляционной обработки (см., например, [1-6]).

В большинстве случаев при проведении измерений скорости используются времена накопления информации в единицы и десятки минут. Во многих технических приложениях необходима более высокая оперативность в получении значений скорости и направления атмосферного ветра (десятки и единицы секунд).

Методы лазерного дистанционного зондирования атмосферы могут обеспечить необходимое сокращение времени накопления информации. При этом естественный путь заключается в использовании лидаров (импульсных лазерных локаторов) с малой измерительной базой [4-6].

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ оперативного дистанционного определения компонентов скорости ветра с помощью лидара [6], заключающийся в том, что атмосферу облучают двумя зондирующими пучками, регистрируют сигналы (мощности отраженного излучения) $U_1(t)$ и $U_2(t)$ от двух рассеивающих объемов 1 и 2 (см. фиг.1), расположенных поперек трассы, и определяют поперечную составляющую скорости ветра по положению максимума взаимно-корреляционной функции $K_{1,2}(\tau) = \langle U_1(t)U_2(t+\tau) \rangle$ (или соответственно минимума взаимно-структурной функции $S_{1,2}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_2(t+\tau)]^2 \rangle$) этих сигналов; регистрируют сигналы из рассеивающих объемов, расположенных вдоль трассы, и определяют продольную составляющую скорости ветра по положению максимума взаимно-корреляционной функции (или минимума взаимно-структурной функции) сигналов, измеренных через интервал времени.

Недостаток способа [6] - большие ошибки при оперативных дистанционных определениях скорости и направления ветра.

Задача предлагаемого способа - существенное повышение точности оперативных дистанционных определений скорости и направления ветра.

Повысить точность можно тем, что атмосферу зондируют двумя импульсными лазерными пучками, распространяющимися с малым (до 10 угловых градусов) угловым расстоянием между ними, регистрируют сигналы от рассеивающих объемов в атмосфере, облучение атмосферы осуществляют короткими лазерными импульсами с длительностью $\tau < \frac{2d_{\min}}{c}$, определяемой минимальным расстоянием d_{\min} между

рассеивающими объемами в атмосфере и скоростью света C , при этом количество рассеивающих объемов $n > 2$ выбирают исходя из требуемой угловой точности $\Delta\varphi$

определения направления ветра: $n = \frac{90^\circ}{\Delta\varphi}$, определяют минимальные значения S_i^m

взаимно-структурных функций $S_{1,i}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_i(t+\tau)]^2 \rangle$ между сигналом (мощностью отраженного излучения) $U_1(t)$ от рассеивающего объема 1 первого пучка и сигналами (мощностями отраженного излучения) $U_i(t)$, $i=2 \dots n$ от рассеивающих объемов $2 \dots i \dots n$ второго пучка, принимают за направление ветра направление между рассеивающим объемом 1 и рассеивающим объемом с наименьшим минимальным значением

$S_{i \min}^m = \min(S_2^m, \dots, S_n^m)$ взаимно-структурной функции, определяют величину и знак скорости ветра по временному положению минимума взаимно-структурной функции сигналов для этих рассеивающих объемов и по расстоянию между этими объемами.

Чертежи

Фиг.1 - прототипная схема измерения ($n=2$).

Фиг.2 - частный случай схемы измерения для предлагаемого способа ($n=4$).

Устройство, реализующее предлагаемый способ, работает следующим образом.

Лидар содержит лазерный источник излучения, передающую оптическую систему, приемную оптическую систему, фотоприемник и блок обработки.

Излучение лазерного источника проходит передающую оптическую систему, которая формирует два импульсных зондирующих пучка, распространяющихся в атмосфере с малым (до 10 угловых градусов) угловым расстоянием между ними (в частном случае это могут быть два параллельных пучка с расстоянием d_{Π} между ними, для оперативных определений скорости и направления ветра на горизонтальной трассе d_{Π} должна быть порядка 1 м).

Аэрозоль, всегда содержащийся в атмосфере, рассеивает излучение в сторону лидара. Поперечные размеры рассеивающих объемов в аэрозольной атмосфере для каждого лазерного пучка определяются углом расходимости зондирующих пучков и их расстоянием от лидара, а продольные определяются длительностью импульса τ источника излучения и скоростью света C и равны $\frac{c\tau}{2}$.

Облучение атмосферы должно осуществляться короткими лазерными импульсами с длительностью $\tau < \frac{2d_{\min}}{c}$, определяемой минимальным расстоянием d_{\min} между

рассеивающими объемами вдоль пучка с тем, чтобы импульсные сигналы из разных объемов не накладывались друг на друга.

Принимаемое излучение проходит через приемную оптическую систему, регистрируется фотоприемником и поступает в блок обработки для определения направления и величины скорости ветра.

В блоке обработки лидара проводят последовательно следующие операции:

1. Определяют (по результатам измерений в течение времени наблюдения t_H) взаимно-структурные функции $S_{1,i}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_i(t+\tau)]^2 \rangle$ между сигналом $U_1(t)$ из рассеивающего объема 1 и сигналами $U_i(t)$ из рассеивающих объемов $2 \dots i \dots n$

2. Определяют положение минимумов τ_i взаимно-структурных функций $S_{1,i}(\tau)$, $i = 2 \dots n$ и значения S_1^m этих взаимно-структурных функций в их минимумах.

3. Определяют минимальное (среди найденных значений S_1^m) значение

$$S_{i \min}^m = \min(S_2^m, \dots, S_n^m) .$$

4. За направление атмосферного ветра принимают направление между рассеивающим объемом 1 и объемом $i \min$ с наименьшим минимальным значением $S_{i \min}^m$.

5. Величину и знак скорости ветра определяют по положению $\tau_{i \min}$ минимума взаимно-структурной функции $S_{1,i \min}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_{i \min}(t+\tau)]^2 \rangle$ между сигналами из рассеивающего объема 1 и объема $i \min$:

$$V = \frac{d}{\tau_{i \min}} ,$$

где d - расстояние между рассеивающим объемом 1 и рассеивающим объемом $i \min$

(с наименьшим минимальным значением $S_{i \min}^m$).

В результате работы блока обработки лидара формируется (с заданной пространственной дискретностью) массив данных о величине и направлении атмосферного ветра вдоль трассы зондирования.

Для оценки работоспособности и точности предлагаемого способа оперативного определения скорости и направления атмосферного ветра проводилось математическое моделирование.

Математическое моделирование проводилось с помощью комплекса программ (созданного в пакете LabView), имитирующих работу лазерного измерителя скорости и направления атмосферного ветра. Комплекс включает в себя блоки моделирования двумерных полей аэрозольных неоднородностей, учета флуктуации пропускания атмосферы до зондируемых рассеивающих объемов, расчета принимаемых лазерных сигналов от рассеивающих объемов атмосферы.

Результаты математического моделирования для различных направлений атмосферного ветра представлены в табл. 1 и 2.

В табл. 1 представлены абсолютные (в м/с) ошибки определения модуля скорости ветра, в табл. 2 - абсолютные (в градусах) ошибки определения направления ветра.

Обозначения в табл.: 1 - корреляционный метод определения скорости и направления ветра (схема измерения фиг.1); 2 - та же схема измерения, но при обработке использовались не корреляционные, а структурные функции; 3 - описанный способ, схема измерения фиг.2. В табл. 1 и 2 представлены средние ошибки по 50 реализациям принимаемых сигналов. Время измерения составляло 5 с. Частота повторения лазерных импульсов (в каждом канале) 50 Гц. Для результатов, представленных в табл., значение модуля скорости ветра задавалось равным 3 м/с. Задаваемые при математическом моделировании параметры атмосферных неоднородностей соответствовали условиям приземного слоя атмосферы.

Таблица 1										
Абсолютные ошибки определения скорости ветра, м/с										
Способ	Направление атмосферного ветра									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	2.47	2.20	2.12	2.44	2.47	2.83	2.95	3.10	2.20	2.07
2	0.83	1.07	0.89	0.90	0.70	0.81	0.85	0.97	1.21	0.87
3	0.12	0.19	0.43	0.34	0.11	0.10	0.37	0.35	0.14	0.06

Таблица 2										
Абсолютные ошибки определения направления ветра, град										
Способ	Направление атмосферного ветра									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1	104.3	87.5	84.2	80.1	84	78.7	67.6	70.7	67	73.6
2	41.2	46.7	45.2	45.1	33.7	38.2	41.2	39.0	48.1	36.6
3	0	10	22.9	16.5	5	5	20.4	23.3	10	0

Результаты математического моделирования показывают, что описанный способ позволяет существенно уменьшить ошибки определения величины и направления ветра.

Таким образом, описанный способ позволяет обеспечить существенное увеличение точности оперативных дистанционных определений скорости и направления ветра.

Источники информации

1. Заявка РСТ WO 2005/047908. Optical device and method for sensing multiphase flow.

International Publication Date 26.05.2005. International Patent Classification G01P 5/22.

2. Заявка PCT WO 2006/063463. Optical transit time velocimeter. International Publication Date 22.06.2006. International Patent Classification G01P 5/20, G01P 5/26.

3. Armstrong R.L., Mason J.B., Barber T. Detection of atmospheric aerosol flow using a transit-time lidar velocimeter // Applied Optics. - 1976. - V.15. - N 11. - P.2891-2895.

4. Применение корреляционных методов в атмосферной оптике / В.М.Орлов, Г.Г.Матвиенко., И.В.Самохвалов и др. - Новосибирск: Наука, 1983. - 160 с.

5. Корреляционные методы лазерно-локационных измерений скорости ветра / Г.Г.Матвиенко., Г.О.Заде, Э.С.Фердинандов и др. - Новосибирск: Наука, 1985. - 223 с.

6. Матвиенко Г.Г., Самохвалов И.В., В.С.Рыбалко и др. Оперативное определение компонентов скорости ветра с помощью лидара // Оптика атмосферы и океана. - 1988. - Т.1. - N2. - С.68-72.

Формула изобретения

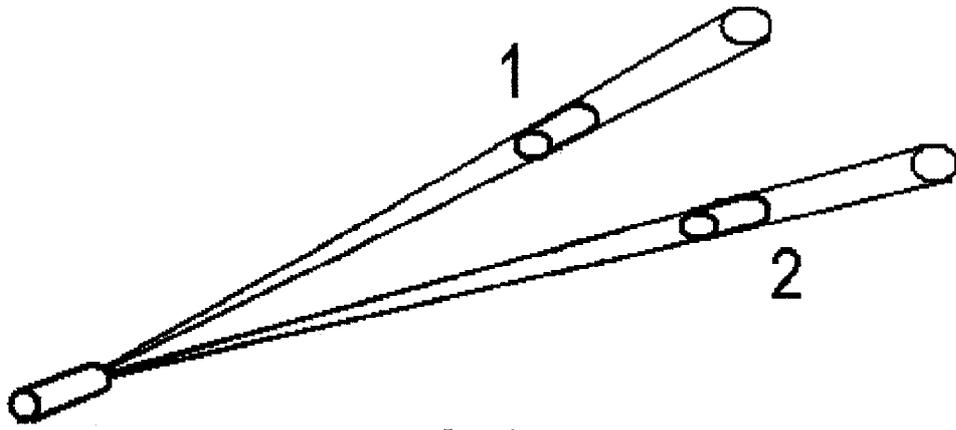
Способ оперативного дистанционного определения скорости и направления ветра заключающийся в том, что атмосферу зондируют двумя импульсными лазерными пучками, распространяющимися с малым до 10° угловым расстоянием между ними, регистрируют сигналы от рассеивающих объемов аэрозольных неоднородностей в атмосфере, облучение атмосферы осуществляют короткими лазерными импульсами с длительностью $\tau < \frac{2d_{\min}}{c}$, определяемой минимальным расстоянием d_{\min} между

рассеивающими объемами в атмосфере и скоростью света c ; количество рассеивающих объемов $n > 2$ выбирают исходя из требуемой угловой точности $\Delta\varphi$ определения направления ветра: $n = \frac{90^\circ}{\Delta\varphi}$, определяют минимальные значения S_i^m взаимно-

структурных функций $S_{1,i}(\tau) = \langle [U_1(t) - U_i(t+\tau)]^2 \rangle$ между сигналом $U_1(t)$ от рассеивающего объема 1 первого пучка и сигналами $U_i(t), i=2 \dots n$ от рассеивающих объемов $2 \dots i \dots n$ второго пучка, принимают за направление ветра направление между рассеивающим объемом 1 и рассеивающим объемом с наименьшим минимальным значением

$S_{i_{\min}}^m = \min(S_2^m, \dots, S_n^m)$ взаимно-структурной функции, определяют величину и знак

скорости ветра по временному положению минимума взаимно-структурной функции сигналов для этих рассеивающих объемов и по расстоянию между этими объемами.



Фиг. 1