



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2010146461/28, 16.11.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.11.2010

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.11.2010

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2012 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 27.10.2012 Бюл. № 30

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

**Корреляционные методы лазерно-локационных измерений скорости ветра.** - Новосибирск: Наука, 1985, с.163-179. SU 812027 A1, 15.12.1992. RU 2404435 C1, 20.11.2010. RU 2335786 C1, 10.10.2008. JP 11271350 A, 08.10.1999. BY 13006 C1, 30.04.2010.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, директору (для М.Л. Белова)

(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" (RU)**

**(54) СПОСОБ ЛАЗЕРНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано, в частности, в прикладной метеорологии для оперативного дистанционного измерения скорости и направления ветра. Атмосферу облучают сканирующим в горизонтальной плоскости импульсным лазерным пучком в моменты времени  $t_1$  и  $t_2=t_1+\Delta t$ , при этом  $\Delta t$  много больше времени сканирования лазерным пучком исследуемой пространственной области. Во время сканирования приемник «открывают» для регистрации сигналов обратного рассеяния от атмосферного аэрозоля только в определенные моменты времени, соответствующие приходу сигналов  $N$  радиальных измерительных баз, количество

которых выбирают, исходя из требуемой точности определения направления ветра. Полученные распределения используют для измерения размера атмосферных неоднородностей вдоль каждой измерительной базы. Направление ветра определяют как направление измерительной базы, для которой размеры атмосферных неоднородностей наименее отличаются в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , а модуль скорости ветра определяют согласно выражению: 
$$v = \frac{\rho_m}{\Delta t},$$

где  $\rho_m$  - пространственный сдвиг атмосферных неоднородностей вдоль направления ветра. Изобретение позволяет уменьшить объем сигнальной информации, который необходимо использовать для

R U 2 4 6 5 6 0 7 C 2

R U 2 4 6 5 6 0 7 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2010146461/28, 16.11.2010**(24) Effective date for property rights:  
**16.11.2010**

Priority:

(22) Date of filing: **16.11.2010**(43) Application published: **27.05.2012 Bull. 15**(45) Date of publication: **27.10.2012 Bull. 30**

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, MGTU  
im. N.Eh. Baumana, TsZIS, direktoru (dlja M.L.  
Belova)**

(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" (RU)**

(54) **METHOD FOR LASER-BASED REMOTE RAPID DETERMINATION OF WIND SPEED AND DIRECTION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: atmosphere is irradiated with a horizontally scanning pulsed laser beam at time  $t_1$  and  $t_2=t_1+\Delta t$ , where  $\Delta t$  is much greater than the time for scanning the analysed spatial region with the laser beam. When scanning, the receiver is "opened" to detect signals back-scattered from atmospheric aerosol only at defined time instants which correspond to the arrival of signals of  $N$  radial measuring bases, the number of which is selected based on the required accuracy of determining wind direction. The obtained distributions are used to measure the size of

atmospheric irregularities along each measuring base. Wind direction is determined as the direction of the measuring base, for which the dimensions of atmospheric irregularities differ the least at time  $t_1$  and  $t_2$ , and the modulus of wind speed is determined using the expression:

$$V = \frac{\rho_m}{\Delta t},$$

$\rho_m$  is the spatial shift of atmospheric irregularities along the wind direction.

EFFECT: invention enables to reduce the volume of signal information required to determine wind speed and direction.

6 dwg

Область техники

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

Уровень техники

Физической основой лазерных измерений скорости ветра является способность атмосферного аэрозоля рассеивать излучение во всех направлениях, в том числе и обратно в направлении на лазерный локатор. Случайно-неоднородная структура атмосферного аэрозоля обуславливает флуктуации сигнала, принимаемого лазерным локатором (являющие таким образом источником информации о неоднородной структуре атмосферного аэрозоля). Перенос аэрозольных неоднородностей ветром дает возможность измерять скорость ветра корреляционными методами.

Известны способы измерения скорости газового потока и атмосферного ветра, основанные на регистрации случайных реализаций рассеянных лазерных сигналов и дальнейшем анализе измеренных случайных реализации или результатов их корреляционной обработки [1-5].

Наиболее близким к предлагаемому способу является лазерный дистанционный способ измерения скорости и направления ветра [4], заключающийся в том, что атмосферу облучают сканирующим в горизонтальной плоскости импульсным лазерным пучком в моменты времени  $t_1$  и  $t_2=t_1+\Delta t$  ( $\Delta t$  много больше времени сканирования лазерным пучком исследуемой пространственной области), во время сканирования регистрируют приемником сигналы обратного рассеяния от атмосферного аэрозоля во всей исследуемой пространственной области, формируют двумерные картины пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы  $\alpha(\vec{r}, t)$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , вычисляют взаимно корреляционную функцию этих двумерных пространственных распределений  $K(\vec{\rho}, \tau) = \alpha(\vec{r}, t_1)\alpha(\vec{r} + \vec{\rho}, t_2)$ , находят вектор пространственного сдвига  $\vec{\rho}_m$ ,

соответствующий максимуму взаимно корреляционной функции, и определяют вектор скорости ветра  $\vec{V}$  согласно выражению:

$$\vec{V} = \frac{\vec{\rho}_m}{\Delta t}.$$

Примеры двумерных реализаций поля пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  приведены, соответственно, на фиг.1 и 2, где изолиниями показано сечение пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния некоторой плоскостью. Стрелка в нижнем левом углу показывает направление ветра. Прямоугольник показывает область, в пределах которой регистрируют пространственное распределение коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы.

Недостаток способа [4] (основанного на пространственном корреляционном анализе) - большой объем информации о поле пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы, который необходимо оперативно запоминать и использовать для формирования корреляционных функций. Это делает трудным (необходимо использовать большой вычислительный комплекс) или невозможным (если большой вычислительный комплекс не может быть использован по каким-то причинам) проведение оперативных измерений, требующих обновления информации с периодичностью в несколько секунд.

### Раскрытие изобретения

При оперативных измерениях (когда промежуток времени  $\Delta t$  составляет единицы секунд) поле пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы практически не искажается, а только переносится в соответствии с направлением и скоростью атмосферного ветра. В этом случае можно существенно уменьшить объем сигнальной информации, регистрируемой при зондировании атмосферы и затем используемой для определения скорости и направления ветра. Это может быть достигнуто использованием специального способа измерения.

Уменьшить объем регистрируемой сигнальной информации можно тем, что атмосферу облучают сканирующим в горизонтальной плоскости импульсным лазерным пучком в моменты времени  $t_1$  и  $t_2 = t_1 + \Delta t$  (при этом  $\Delta t$  много больше времени сканирования лазерным пучком исследуемой пространственной области), во время сканирования приемник «открывают» для регистрации сигналов обратного рассеяния от атмосферного аэрозоля только в определенные моменты времени, соответствующие приходу сигналов  $N$  измерительных баз (расположенных радиально, как показано на фиг.3 для варианта двенадцати измерительных баз), при этом количество радиальных измерительных баз выбирают исходя из требуемой точности  $\Delta\varphi$  определения направления ветра:  $N = \frac{180^\circ}{\Delta\varphi}$ , измеряют размер атмосферных

неоднородностей вдоль каждой измерительной базы, определяют направление ветра как направление измерительной базы, для которой размеры атмосферных неоднородностей наименее отличаются в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , определяют пространственный сдвиг  $\rho_m$  атмосферных неоднородностей вдоль направления ветра и определяют модуль скорости ветра  $V$  согласно выражению:  $V = \frac{\rho_m}{\Delta t}$ .

### Перечень фигур.

Фиг.1, 2 - примеры двумерных реализации поля пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы соответственно в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ ;

Фиг.3, 4 - примеры прямоугольной области, в пределах которой регистрируют пространственное распределение коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы только вдоль радиальных линий измерительных баз соответственно в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ ;

Фиг.5, 6 - примеры графиков одномерных пространственных распределений коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы вдоль измерительных баз.

### Осуществление изобретения

Объем регистрируемых сигналов уменьшается по двум причинам (см. фиг.3, 4):

- запоминается не вся сигнальная информация на исследуемом участке, а информация только вдоль измерительных баз (они показаны тонкими радиальными линиями и для примера проведены через  $15^\circ$ , на фигурах база а-а расположена вдоль направления ветра, а база b-b расположена вдоль произвольного направления);
- сам размер области, в пределах которой регистрируют пространственное распределение коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы (она показана на фиг.3, 4 в виде прямоугольника), выбирается гораздо меньше, чем при пространственном корреляционном анализе, так как предлагаемый метод основан на измерении размера всего одной неоднородности или нескольких неоднородностей.

Устройство, реализующее предлагаемый способ, работает следующим образом:

Дистанционный измеритель скорости и направления ветра содержит лазерный источник излучения, передающую оптическую систему, дефлектор (осуществляющий сканирование лазерного луча в горизонтальной плоскости), приемную оптическую систему, фотоприемник, блок управления и блок обработки.

Лазерный измеритель облучает атмосферу сканирующим в горизонтальной плоскости лазерным лучом в моменты времени  $t_1$  и  $t_2=t_1+\Delta t$ . Полагается, что сканирование исследуемой области осуществляется за время много меньшее  $\Delta t$ .

Аэрозоль, всегда содержащийся в атмосфере, рассеивает излучение в сторону приемника лазерного измерителя. Пространственное разрешение лазерного измерителя определяется углом расходимости лазерного пучка, расстоянием от измерителя до рассеивающего объема атмосферы и длительностью импульса источника излучения.

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

Во время сканирования блок управления «открывает» приемник для регистрации сигналов обратного рассеяния от атмосферного аэрозоля только в определенные (синхронизированные со сканированием лазерного пучка) моменты времени, соответствующие приходу сигналов  $N$  измерительных баз, отстоящих друг от друга на угол  $\Delta\varphi = \frac{180^\circ}{N}$ .

Моменты «открытия» приемника заранее определяют (вычисляют) в зависимости от заданного количества измерительных баз и размера исследуемой пространственной области и заносят в блок управления.

В блоке обработки сигналов лазерного измерителя проводят последовательно следующие операции:

1. Регистрируют одномерные пространственные распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы  $\alpha(\vec{r}, t)$  в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  вдоль  $N$  измерительных баз.

На графиках фиг.5 и 6 показаны примеры одномерных пространственных распределений  $\alpha(X)$  (кривые 1) вдоль измерительных баз а-а (фиг.5) и б-б (фиг.6) в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  (измерительные базы а-а и б-б показаны на фиг.3 и 4); 2 - некоторое пороговое значение, пересечение которого с кривыми 1 определяет размер аэрозольных неоднородностей (как размер областей выше линии 2);  $X$  - пространственная координата вдоль соответствующей измерительной базы. Из графиков фиг.5 и 6 хорошо видно, что:

- для измерительной базы а-а (совпадающей с направлением ветра) одномерные пространственные распределения  $\alpha(X)$  (кривые 1) в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$

оказываются просто сдвинутыми друг относительно друга вдоль оси  $X$ ;

- для измерительной базы б-б (не совпадающей с направлением ветра) одномерные пространственные распределения  $\alpha(X)$  (кривые 1) в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  оказываются разными.

2. Определяют размеры атмосферных неоднородностей  $d_i(j, t_1)$  и  $d_i(j, t_2)$  (по пересечению одномерных пространственных распределений  $\alpha(X)$  с некоторым пороговым значением - см. фиг.5, 6) в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  вдоль каждой измерительной базы ( $i$  - номер по порядку аэрозольной неоднородности, которая

целиком расположена на измерительной базе; j - числовое или буквенное обозначение измерительной базы).

3. Определяют направление ветра как направление измерительной базы, для которой размеры атмосферных неоднородностей (целиком расположенных на измерительной базе и в момент времени  $t_1$  и в момент времени  $t_2$ ) наименее отличаются в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ . Если таких неоднородностей нет ни на одной измерительной базе (что может быть по причине большой скорости ветра, когда неоднородности, зарегистрированные в момент времени  $t_1$ , выходят из исследуемой пространственной области к моменту времени  $t_2$ ), то сокращают интервал времени  $t_2-t_1$ . Если при сокращении интервала времени  $t_2-t_1$  ситуация не меняется, то измерение отбраковывается и скорость ветра не измеряется.

Из графиков фиг.5 и 6 хорошо видно, что:

- для измерительной базы a-a размеры атмосферных неоднородностей (целиком расположенных на измерительной базе и в момент времени  $t_1$  и в момент времени  $t_2$ ) совпадают (совпадение связано с тем, что направление ветра для фиг.5 точно совпадает с направлением измерительной базы a-a; в общем случае, когда такого точного совпадения нет, размеры атмосферных неоднородностей моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  будут наименее отличаться для измерительной базы наиболее близкой к направлению ветра);

- для измерительной базы b-b размеры атмосферных неоднородностей в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  сильно отличаются.

4. Определяют пространственный сдвиг  $\rho_m$  (например, по перемещению под действием ветра переднего края одной из атмосферных неоднородностей - например, первой по порядку, как показано на фиг.5) вдоль направления ветра и определяют модуль скорости ветра  $V$  согласно выражению: 
$$V = \frac{\rho_m}{\Delta t}$$

Описанный способ позволяет обеспечить существенное уменьшение объема сигнальной информации (о поле пространственного распределения коэффициента обратного аэрозольного рассеяния атмосферы), который при оперативных измерениях необходимо регистрировать и использовать для определения скорости и направления ветра.

Измерительное устройство для реализации способа может быть собрано из компонент и узлов, изготавливаемых в РФ, и соответствует критерию "промышленная применимость".

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

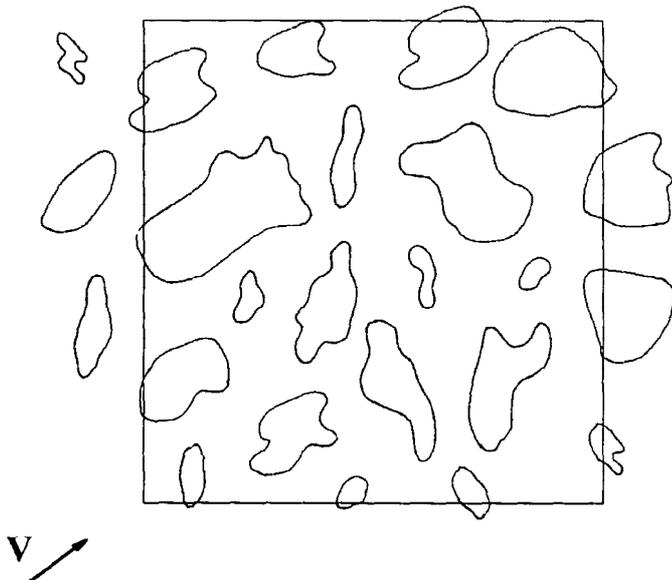
3. Применение корреляционных методов в атмосферной оптике / В.М.Орлов, Г.Г.Матвиенко, И.В.Самохвалов и др. - Новосибирск: Наука, 1983. - 160 с.

4. Корреляционные методы лазерно-локационных измерений скорости ветра / Г.Г.Матвиенко, Г.О.Заде, Э.С.Фердинандов и др. - Новосибирск: Наука, 1985. - С.163-179.

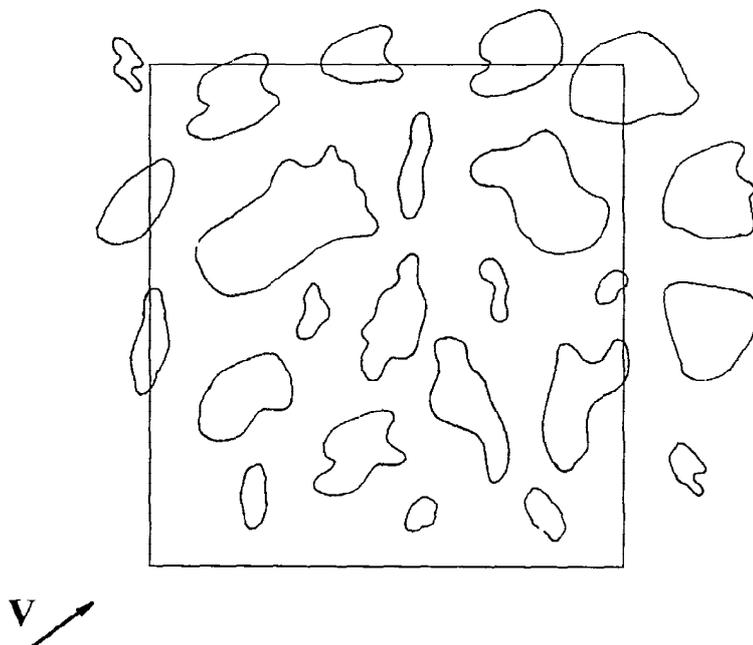
5. Матвиенко Г.Г., Самохвалов И.В., В.С.Рыбалко и др. Оперативное определение компонентов скорости ветра с помощью лидара // Оптика атмосферы и океана. - 1988. - Т.1. - N2. - С.68-72.

## Формула изобретения

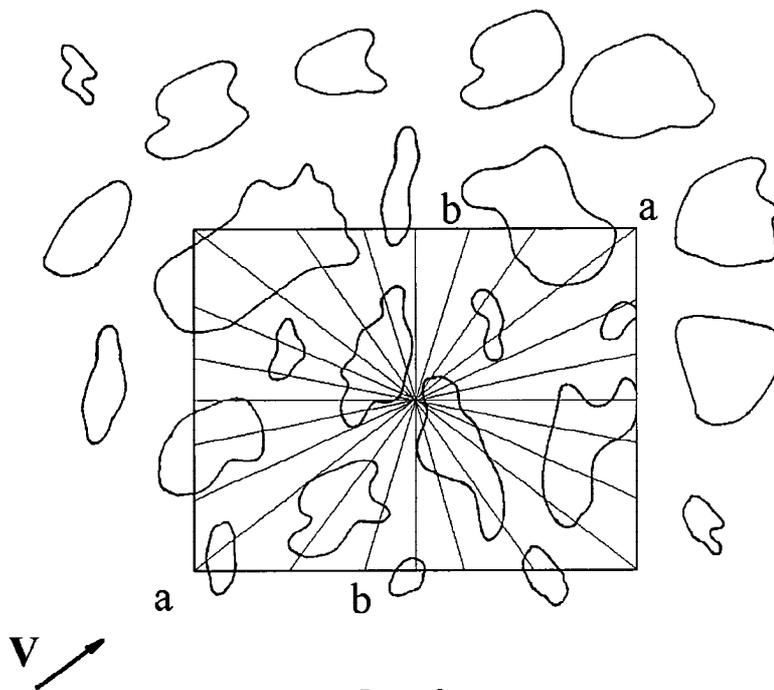
Способ лазерного дистанционного оперативного определения скорости и направления ветра, заключающийся в том, что атмосферу облучают сканирующим в горизонтальной плоскости импульсным лазерным пучком в моменты времени  $t_1$  и  $t_2 = t_1 + \Delta t$ , при этом  $\Delta t$  много больше времени сканирования лазерным пучком исследуемой пространственной области, во время сканирования приемник «открывают» для регистрации сигналов обратного рассеяния от атмосферного аэрозоля только в определенные моменты времени, соответствующие приходу сигналов  $N$  измерительных баз, расположенных радиально, при этом количество радиальных измерительных баз выбирают, исходя из требуемой точности  $\Delta\varphi$  определения направления ветра:  $N = \frac{180^\circ}{\Delta\varphi}$ , измеряют размер атмосферных неоднородностей вдоль каждой измерительной базы, определяют направление ветра как направление измерительной базы, для которой размеры атмосферных неоднородностей наименее отличаются в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , определяют пространственный сдвиг  $\rho_m$  атмосферных неоднородностей вдоль направления ветра и определяют модуль скорости ветра  $V$  согласно выражению:  $V = \frac{\rho_m}{\Delta t}$ .



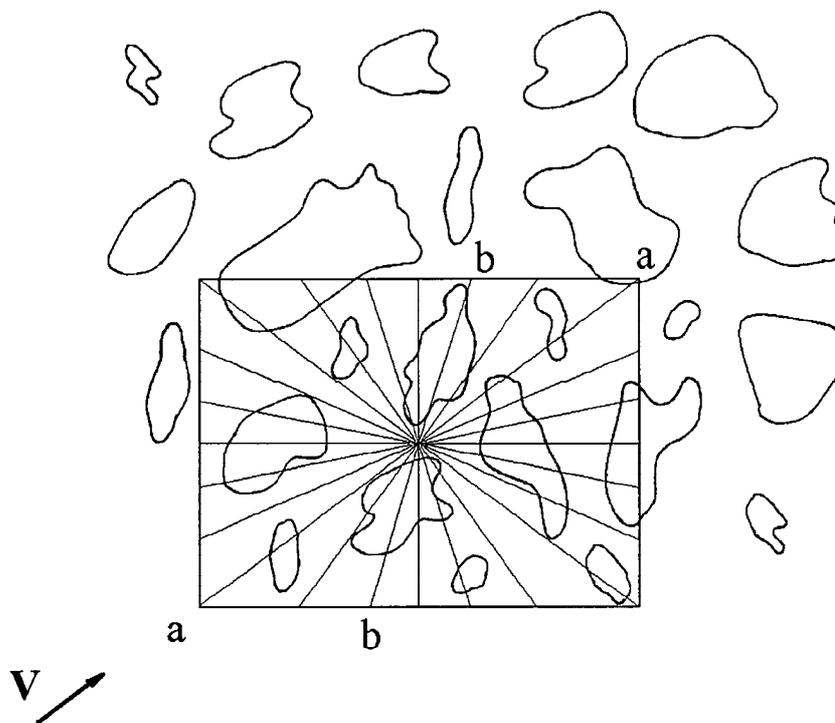
Фиг. 1



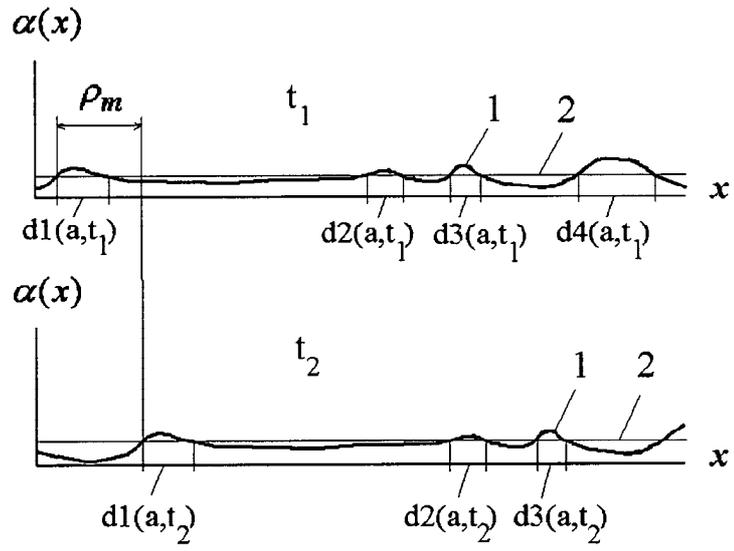
Фиг. 2



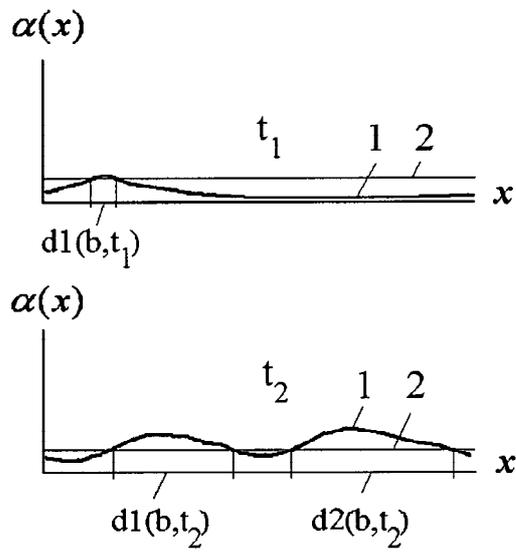
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6