



(51) МПК  
**G01N 22/00** (2014.01)  
**E21F 17/00** (2014.01)  
**A62B 15/00** (2014.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

*Государственная регистрация изобретения осуществлена по заявлению о признании действия исключительного права на территории Российской Федерации на основании статьи 13<sup>1</sup> Федерального закона от 18 декабря 2006 года № 231-ФЗ «О введении в действие части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации»*

(21)(22) Заявка: **2016114870/93**, **18.04.2016**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**05.12.2013**

Приоритет(ы):  
 Дата приоритета: **05.12.2013**  
 Патент № **106183 (UA)**

(45) Опубликовано: **10.08.2016** Бюл. № **22**

Адрес для переписки:  
**299003, г. Севастополь, пл. Пирогова, 10, кв.8,  
 И.Б. Широкову**

(72) Автор(ы):

**Широков Игорь Борисович (RU),  
 Лялюк Дмитрий Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Широков Игорь Борисович (RU)**

## (54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО СОСТАВА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

(57) Реферат:

Одной из главнейших задач обеспечения безопасности работ в угледобывающих шахтах является контроль содержания в рудничной атмосфере опасных газов и смесей, среди которых наибольшую угрозу представляют метан и угольная пыль.

Предлагаемый способ относится к области электрических измерений и может применяться для контроля изменения состава интегральной газовой среды в угледобывающих шахтах, в системах контроля отработанных газов, которые выделяются вследствие промышленной деятельности человека, либо в аналогичных комплексных системах, где крайне важна задача мониторинга концентрации вторичных взрыво- и пожароопасных продуктов производства.

Контроль изменений интегрального состава газовой среды основан на измерении изменений набега фаз микроволнового сигнала при его многократном распространении по замкнутой волноводной структуре, через которую также пропускают воздух их окружающей среды. Путем регулировки как общей длины волноводной структуры, выступающей в качестве измерительной трассы, так и частоты настройки

полосового низкочастотного фильтра, выделяющего информационный низкочастотный сигнал, можно получить различную чувствительность системы в целом. По предложенному способу она является варьируемым параметром. Это позволяет проводить общую калибровку относительно определенного типа контролируемого вещества с известным значением его диэлектрической проницаемости, например, горючих, взрывоопасных и/или токсичных газов.

За счет использования волноводной структуры, внутри которой циркулирует поток воздуха из окружающего пространства, необходимость применения дополнительных ретрансляторов, удаленных от измерительного блока, полностью исключается.

Точность измерений изменений интегрального состава воздуха, функционирующей по предложенному способу, высока, и в общем случае она будет прямо пропорциональна числу циклов прохождений микроволновых колебания внутри волноводной структуры известной длины.

Система, построенная и функционирующая по предложенному методу, представляет собой

RU 2 594 342 C1

RU 2 594 342 C1

законченный функциональный блок, необходимость в пространственном разнесении элементов системы при этом отсутствует, и, в отличие от недолговечных термохимических,

дорогостоящих оптических, каталитических и других газоанализаторов, невосприимчива к пыли и загрязнениям.

R U 2 5 9 4 3 4 2 C 1

R U 2 5 9 4 3 4 2 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01N 22/00* (2014.01)  
*E21F 17/00* (2014.01)  
*A62B 15/00* (2014.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

*State registration of the invention has been provided following a request to recognize the exclusive rights on the territory of the Russian Federation as provided for in the Article 13<sup>1</sup> of the Federal Law of December 18, 2006 № 231-ФЗ «On enactment of part four of the Civil Code of the Russian Federation»*

(21)(22) Application: **2016114870/93, 18.04.2016**

(24) Effective date for property rights:  
**05.12.2013**

Priority:  
Priority date: **05.12.2013**  
Patent No. **106183 (UA)**

(45) Date of publication: **10.08.2016** Bull. № 22

Mail address:  
**299003, g. Sevastopol, pl. Pirogova, 10, kv.8, I.B. SHirokovu**

(72) Inventor(s):

**SHirokov Igor Borisovich (RU),  
Lyalyuk Dmitrij Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**SHirokov Igor Borisovich (RU)**

(54) **METHOD OF MONITORING CHANGES IN INTEGRAL GAS MEDIUM COMPOSITION**

(57) Abstract:

FIELD: mining.

SUBSTANCE: one of the main tasks for providing safety of works in coal mines is monitoring the content of dangerous gases and mixtures in the mine atmosphere, among which the highest threats are methane and coal dust. Proposed method relates to electrical measurements and can be used for monitoring a change in the composition of integral gas medium in coal mines, in systems for monitoring exhaust gases released as the result of human industrial activities, or in similar complex systems, where there is the critical task of monitoring the concentration of secondary explosion and fire hazardous products. Monitoring changes of the integral gas medium is based on measuring changes in phase progression of a microwave signal at its multiple propagation along a closed waveguide structure, through which ambient air is also passed. By adjusting both total length of the waveguide structure serving as the measuring route and tuning frequency of the band-pass low-frequency filter identifying an informational low-frequency signal it is possible to obtain various sensitivity of the system as

a whole. As per the proposed method it is a variable parameter. This allows performing common calibration relative to a certain type of controlled substance with a known value of its dielectric permeability, for example, inflammable, explosive and/or toxic gases. Owing to the use of the waveguide structure, inside which an ambient air flow circulates, the need to use additional repeaters remote from the measurement unit is completely excluded. Accuracy of measuring changes of the integral air composition operating as per the proposed method is high and in general case it will be directly proportional to the number of cycles of microwave oscillations passes inside the waveguide structure of a known length.

EFFECT: system built and functioning as per the proposed method is a complete functional unit, the need for spatial division of the system elements herewith with is absent, and, in contrast to short-lived thermochemical, expensive optical, catalytic and other gas analyzers, is resistant to dust and contaminants.

1 cl

RU 2 594 342 C1

RU 2 594 342 C1

Предлагаемый способ относится к области электрических измерений и может применяться для контроля изменений интегрального состава газовой среды в угледобывающих шахтах, в системах контроля отработанных газов двигателей внутреннего сгорания, либо в аналогичных комплексных системах, где крайне важна задача мониторинга концентрации вторичных вредных, взрыво- и пожароопасных продуктов производства.

Достаточно хорошо известны методы контроля изменений состава газовой среды, такие как: парамагнитные, электрохимические, термодаталитические, оптические (см., например, Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин, Б.Э. Аршанский, И.А. Зограф и др. / Под общей ред. П.В. Новицкого. - М.-Л.: Энергия, 1966. - 690 с.). У каждого имеются свои достоинства и недостатки. При этом все указанные способы контроля газовой среды требуют постоянного ухода за датчиками, что может оказаться неприемлемым в ряде применений.

Наиболее близким к предполагаемому изобретению относится способ контроля измерения интегрального состава газовой среды, описанный в патенте Украины № 95712 от 25.08.2011. Данный способ предполагает, прежде всего, наличие двух отдельных разнесенных функциональных блоков стационарного исполнения, в каждом из которых установлены приемно-передающие антенны. Система характеризуется известной точностью контроля изменений интегрального состава газовой среды и отсутствием необходимости ухода за ее узлами и, как следствие, длительным сроком непрерывной эксплуатации.

Система основана на принципе измерения набега фазы радиоволн с использованием гомодинного преобразования частоты измерительного сигнала. По указанному способу в базовой станции генерируют микроволновые колебания с начальной амплитудой, частотой и фазой, которые подают на микроволновый вход амплитудного модулятора, на модуляционный вход которого подают низкочастотный сигнал синхронизации. Промодулированные по амплитуде колебания подают через микроволновый Y-циркулятор на микроволновую антенну и излучают в направлении ретранслятора электромагнитную волну, причем при распространении микроволновый сигнал приобретает набег фазы, который в общем случае будет зависеть от длины трассы и диэлектрической проницаемости среды распространения. В ретрансляторах принятый микроволновый сигнал пропускают через полосовой фильтр, настраиваемый на частоту микроволнового генератора базовой станции, после чего этот сигнал усиливают, подают на сигнальный вход управляемого микроволнового фазовращателя и дополнительно демодулируют. С выхода демодулятора низкочастотный сигнал подают на управляющий вход микроволнового фазовращателя, где осуществляют сдвиг частоты принятого и усиленного микроволнового сигнала. Трансформированные по частоте микроволновые сигналы переизлучают в направлении антенны базовой станции, где принятый микроволновый сигнал смешивают с исходным и производят дальнейшие преобразования, причем на выходе фазового детектора получают сигнал, пропорциональный набегу фаз микроволнового сигнала, при его двукратном прохождении измерительной трассы известной длины.

Однако все приведенные теоретические сведения и математические выкладки говорят о том, что точность измерений по данному способу будет напрямую зависеть от разнесения функциональных блоков в пространстве, что делает невозможным использование данной системы на небольших расстояниях, ввиду значительного ухудшения ее чувствительности. С другой стороны, переизлучаемая ретранслятором электромагнитная волна, распространяясь в свободном пространстве, претерпевает

затухание, пропорциональное проходимоу ей расстоянию, что влечет за собой применение дополнительных усилителей, влияющих на общее энергопотребление и мощность излучения передатчиков. Поэтому при проектировании данной системы необходимо решать комплексную задачу - обеспечить необходимую точность, путем  
5 увеличения расстояния между ретранслятором и базовой станцией при их минимальном энергопотреблении. Все указанное в общем случае усложняет настройку указанной системы и придает ей известную громоздкость, что затрудняет ее использование в ряде применений.

В основу предполагаемого изобретения была поставлена задача повышения точности  
10 контроля изменений интегрального состава газовой среды, упрощения конструкции возможного измерителя и перехода от стационарного конструктивного исполнения системы к переносному. Поставленная цель достигается следующим образом.

Способ контроля изменений интегрального состава газовой среды, по которому первоначально генерируют непрерывные микроволновые колебания с известной  
15 частотой  $f_0$ , при этом микроволновые колебания излучают в контролируруемую воздушную среду, при этом микроволновые колебания при прохождении измерительной воздушной трассы известной длины приобретают набег фазы, который пропорционален длине измерительной трассы и диэлектрической проницаемости среды распространения, при этом микроволновые колебания принимают и подают на сигнальный вход  
20 управляемого микроволнового фазовращателя, на управляющий вход которого подают низкочастотный сигнал с частотой  $F$ , при этом с помощью фазовращателя осуществляют сдвиг частоты микроволнового сигнала на частоту  $F$  низкочастотного генератора, при этом трансформированные по частоте микроволновые колебания с частотой  $f_1=f_0+F$   
25 подают на первый вход смесителя, на второй вход которого подают исходные микроволновые колебания с частотой  $f_0$  и после гомодинного преобразования сигналов в смесителе, выделяют низкочастотный сигнал с частотой  $F=f_1-f_0$ , который подают на первый вход фазового детектора, при этом на второй вход фазового детектора подают  
30 низкочастотный опорный сигнал с частотой  $F$ , таким образом, на выходе фазового детектора получают сигнал, пропорциональный набегу фазы микроволнового сигнала, при его прохождении измерительной трассы, по изменению которого контролируют изменения интегрального состава газовой среды, отличающийся тем, что первоначально генерируют низкочастотные колебания с известной частотой  $NF$ , которую затем делят на  $N$  и получают низкочастотные опорные колебания с частотой  $F$ , при этом в качестве  
35 измерительной трассы используют замкнутую кольцевую волноводную структуру известной длины, внутри которой устанавливают управляемый микроволновый фазовращатель и микроволновый усилитель, включенные последовательно, при этом в замкнутой кольцевой волноводной структуре через первый направленный ответвитель возбуждают и направляют в заданном направлении микроволновые колебания с  
40 частотой  $f_0$ , при этом через ту же замкнутую волноводную структуру пропускают поток воздуха из окружающего среды, при этом микроволновые колебания с частотой  $f_0$  направляют в сторону сигнального входа управляемого микроволнового фазовращателя, с помощью которого осуществляют сдвиг частоты микроволновых колебаний на частоту  $F$  опорного сигнала, после чего трансформированные по частоте микроволновые колебания с частотой  $f_1=f_0+F$  подают на вход микроволнового  
45 усилителя, с помощью которого компенсируют потери энергии микроволнового сигнала, имеющие место в управляемом фазовращателе и в волноводной структуре, при этом усиленные и трансформированные по частоте микроволновые колебания вновь

пропускают через замкнутую волноводную структуру, через которую также пропускают воздух из окружающей среды, и которые вновь подают на сигнальный вход управляемого микроволнового фазовращателя, с помощью которого вновь сдвигают частоту микроволновых колебаний на частоту  $F$  низкочастотного опорного сигнала, в результате чего на выходе управляемого фазовращателя получают микроволновые колебаний с частотой  $f_2=f_0+2F$ , причем коэффициент усиления микроволнового усилителя подбирают таким образом, чтобы генерация сигналов не наступала, после чего процесс повторяют многократно и в очередной,  $N$ -ый раз, на выходе микроволнового усилителя получают сигнал с частотой  $f_N=f_0+NF$ , частота сдвига которого пропорциональна числу проходов  $N$  микроволновых колебаний через замкнутую волноводную структуру, при этом часть энергии усиленных и трансформированных по частоте микроволновых колебаний подают через второй направленный ответвитель на первый вход смесителя, на второй вход которого подают часть энергии исходных микроволновых колебаний с частотой  $f_0$ , после чего на выходе смесителя получают набор низкочастотных колебаний с частотами  $F, 2F, \dots, NF, (N+1)F$ , и т.д., при этом с помощью узкополосного фильтра выделяют только лишь колебания с частотой  $NF$ , при этом с выхода узкополосного фильтра сигнал с частотой  $NF$  усиливают и подают на первый вход фазового детектора, при этом на второй вход фазового детектора подают сигнал низкочастотного опорного генератора с такой же частотой  $NF$ , и таким образом на выходе фазового детектора получают сигнал пропорциональный набегу фазы микроволнового сигнала, при его  $N$ -кратном прохождении измерительной волноводной структуры, содержащей воздух окружающей среды, по изменению которого контролируют с помощью индикаторного устройства изменения интегрального состава газовой среды.

Сравнение предполагаемого способа измерения интегрального состава газовой среды с уже известным способом и прототипом показывает, что система, построенная по заявляемому способу, является полностью автономной и переносной, не требует использования дополнительных приемо-передающих антенн, конструкция такой системы значительно упрощается, а использование в качестве измерительной трассы замкнутой волноводной структуры позволяет производить анализ газовой среды в рудничной атмосфере локально с высокой точностью, без разнесения в пространстве составных частей системы. При этом дополнительный полезный набег фазы микроволнового сигнала, вызванный наличием в воздухе взрывоопасных примесей, можно получить путем многократного прохождения электромагнитной волны внутри волноводной структуры. Пройденное электромагнитной волной суммарное расстояние будет эквивалентно пройденному ей расстоянию в пространстве, во много раз превышающее длину волноводной структуры, что обеспечивает высокую чувствительность данной системы и, как следствие, высокую точность. Чувствительность измерений системы, построенной на основании предлагаемого метода контроля интегрального состава газовой среды, является варьируемым параметром. Она будет прямо пропорциональна числу проходов микроволновых колебаний внутри волноводной структуры, а так же зависеть от общей длины волноводной структуры. Это позволяет проводить общую калибровку относительно определенного типа контролируемого вещества с известным значением его диэлектрической проницаемости, например, горючих, взрывоопасных и/или токсичных газов. Отношение общей приведенной длины волноводной структуры к длине волны исходных микроволновых колебаний будет определять чувствительность и точность системы.

Заявляемый способ контроля интегрального состава газовой среды можно реализовать с помощью устройства, схема которого показана на фиг. 1.

Устройство состоит из генератора микроволновых колебаний 1, делителя мощности 2, первого направленного ответвителя 3, управляемого микроволнового фазовращателя 4, усилителя микроволновых колебаний 5, второго направленного ответвителя 6, смесителя 7, узкополосного фильтра 8, усилителя низкой частоты 9, фазового детектора 10, генератора низкой частоты 11, делителя частоты 12, индикаторного устройства 13 и волноводной структуры 14.

Выход генератора микроволновых колебаний 1 соединен с входом делителя мощности 2, причем первый выход делителя мощности 2 соединен с входом первого направленного ответвителя 3, второй выход делителя мощности 2 соединен с первым входом смесителя 7, а выход первого направленного ответвителя 3 соединен с входной частью волноводной структуры 14, соединенной с сигнальным входом управляемого микроволнового фазовращателя 4, сигнальный выход которого соединен с входом усилителя микроволновых колебаний 5, выход которого соединен с выходной частью волноводной структуры 14, которая соединена также с входом второго направленного ответвителя 6, выход которого соединен со вторым входом смесителя 7, выход которого соединен с входом узкополосного фильтра 8, выход которого соединен с входом усилителя низкой частоты 9, выход которого соединен с первым входом фазового детектора 10, второй вход которого соединен с выходом генератора низкой частоты 11, причем выход фазового детектора 10 соединен с входом индикаторного устройства 13, причем выход генератора низкой частоты 11 соединен также с входом делителя частоты 12, выход которого соединен с управляющим входом микроволнового фазовращателя 4.

Устройство, реализующее предложенный способ контроля изменений интегрального состава газовой среды, работает следующим образом.

Первоначально генерируют низкочастотные колебания с известной частотой  $Nf$  с помощью генератора низкой частоты 11, которую затем делят на  $TV$  делителем частоты 12 и получают низкочастотные опорные колебания с частотой  $F$  и начальной фазой  $\theta$ .

Кроме этого, первоначально генерируют микроволновые колебания с частотой  $f_0$ , амплитудой  $U_0$  и начальной фазой  $\varphi_0$  с помощью генератора микроволновых колебаний 1, описываемые выражением:

$$u_0(t) = U_0 \sin(2\pi f_0 t + \varphi_0).$$

Затем эти микроволновые колебания подают на делитель мощности 2, часть энергии которых подают на первый направленный ответвитель 3, а другую подают на первый вход смесителя 7, причем первый направленный ответвитель соединен с замкнутой волноводной структурой 14, и часть микроволновых колебаний непосредственно подают в замкнутую волноводную структуру 14, возбуждая в ней электромагнитные колебания. При этом через ту же замкнутую волноводную структуру пропускают поток воздуха из окружающей среды, при этом микроволновые колебания с частотой  $f_0$  направляют в сторону сигнального входа управляемого микроволнового фазовращателя 4, с помощью которого осуществляют сдвиг частоты микроволновых колебаний на частоту  $F$  опорного сигнала:

$$u_1(t) = K_1 U_0 \sin(2\pi(f_0 + F)t + \varphi_0 + \theta + kd),$$

где  $K_1$  - некий приведенный коэффициент затухания электромагнитной волны, получаемый с учетом коэффициентов передачи первого направленного ответвителя 3,

затухания в волноводной структуре 14 и в фазовращателе 4,  $k$  - волновое число микроволнового сигнала,  $d$  - общая длина замкнутой волноводной структуры 14.

Трансформированные по частоте микроволновые колебания подают на микроволновый усилитель 5, с помощью которого компенсируют потери в волноводной структуре 14 и фазовращателе 4, после чего эти микроволновые колебания вновь пропускают через замкнутую волноводную структуру 14, вновь подают на сигнальный вход управляемого фазовращателя 4, с помощью которого вновь сдвигают частоту микроволновых колебаний на частоту  $F$  низкочастотного опорного сигнала, в результате чего на выходе управляемого фазовращателя 4 получают микроволновые колебания вида:

$$u_2(t) = K_2 K_1 U_0 \sin(2\pi(f_0 + 2F)t + \varphi_0 + 2\theta + 2kd),$$

где  $K_2$  - коэффициент усиления микроволнового усилителя 5.

После чего процесс повторяют многократно и в очередной,  $N$ -ый раз, на выходе микроволнового усилителя 5 получают сигнал вида:

$$U_N(t) = K_N U_0 \sin(2\pi(f_0 + NF)t + \varphi_0 + N\theta + 2kd),$$

где  $K_N$  - некоторый приведенный коэффициент передачи всего тракта.

Таким образом, на выходе микроволнового усилителя 5 в том числе получают сигнал с информационной частотой  $f_N = f_0 + NF$ , где частота сдвига  $NF$  пропорциональна числу проходов  $N$  микроволновых колебаний внутри замкнутой волноводной структуры.

При этом часть энергии усиленных и трансформированных по частоте микроволновых колебаний подают через второй направленный ответвитель 6 на второй вход смесителя 7, на первый вход которого подают часть энергии исходных микроволновых колебаний с частотой  $f_0$ . В смесителе 7 осуществляют перемножение этих сигналов, и на выходе смесителя получают набор различных комбинационных составляющих с различными кратными частотами  $F, 2F, \dots, NF, (N+1)F$ , и т.д. Узкополосный фильтр 8 настраивают на частоту сдвига  $NF$  и выделяют сигнал с необходимой информационной частотой, после чего его усиливают низкочастотным усилителем 9. На выходе усилителя 9 получают низкочастотный сигнал, имеющий вид:

$$u_M(t) = U_M \sin(2\pi NFt + N\theta + Nkd),$$

где  $U_M$  - приведенная амплитуда низкочастотного сигнала. Видно, что в данном выражении отсутствуют параметры исходных микроволновых колебаний, поскольку они взаимно вычитаются.

Сигнал с информационной низкочастотной разностной составляющей подают на первый вход фазового детектора 10, на второй вход которого подают опорный низкочастотный сигнал с первоначальной частотой  $NF$  от низкочастотного генератора 11.

Разность фаз информационного и опорного сигналов определяют как:

$$\Delta\varphi = Nkd = \frac{2\pi N}{\lambda_v} d \sqrt{\varepsilon},$$

где  $\lambda_v$  - длина волны в волноводе,  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость воздуха с учетом примесей. На выходе фазового детектора 10 получают информационный сигнал, который подают на вход индикаторного устройства 13.

На выходе индикаторного устройства 13 наблюдают за изменениями относительной диэлектрической проницаемости воздуха с учетом примесей.

Таким образом, по предлагаемому методу можно контролировать параметры



окружающей воздушной среды, в частности, ее суммарную диэлектрическую проницаемость, при этом контроль осуществляют по измерениям разности фаз опорного и информационного (циркулирующего внутри волноводной структуры) сигналов. В частотности, возможен контроль выброса метана в угледобывающих шахтах.

5 Систему контроля выбросов газов, построенную по заявляемому методу, предварительно калибруют в условиях чистого воздуха. На выходе фазового детектора формируют нулевой сигнал ошибки. Если же в воздухе будет присутствовать часть опасного для жизни людей газа, угольной пыли, других взрывоопасных и токсичных  
10 веществ, диэлектрическая проницаемость которых отличается от диэлектрической проницаемости чистого воздуха, то суммарная диэлектрическая проницаемость смеси будет отличаться от исходной, и на выходе фазового детектора возникнет сигнал ошибки, отображаемый индикаторным устройством.

Народнохозяйственный эффект от использования предполагаемого изобретения связан с созданием системы, которая дает возможность анализировать свойства среды  
15 распространения микроволн по результатам измерений изменений набега фазы микроволновых колебаний, обладающей повышенной точностью определения изменений интегрального состава газовой среды. В частотности, возможен мониторинг концентрации метана. Его выделение из толщи пород при эксплуатации угольных шахт представляет собой реальную опасность не только для шахтеров непосредственно, но  
20 и для людей, проживающих в районах горных отводов угольных шахт.

Преимущество анализатора газового состава, построенного на основании предложенного метода, по сравнению с известными способами и прототипом, заключается в достижении крайне высокой (варьируемой) точности измерений. Необходимость в пространственном разнесении элементов системы при этом  
25 отсутствует. Система, построенная на основании данного метода, представляет собой законченный функциональный блок, и в отличие от недолговечных термохимических, дорогостоящих оптических, каталитических и других газоанализаторов, невосприимчива к пыли и загрязнению.

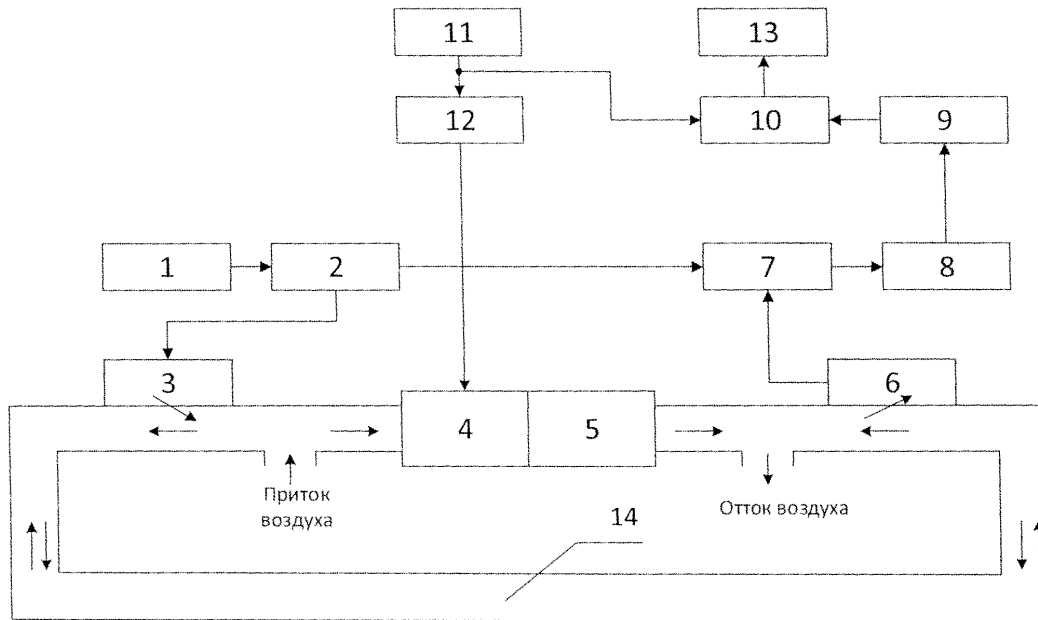
#### 30 Формула изобретения

Способ контроля изменений интегрального состава газовой среды, по которому первоначально генерируют непрерывные микроволновые колебания с известной частотой  $f_0$ , при этом микроволновые колебания излучают в контролируемую  
35 воздушную среду, при этом микроволновые колебания при прохождении измерительной воздушной трассы известной длины приобретают набег фазы, который пропорционален длине измерительной трассы и диэлектрической проницаемости среды распространения, при этом микроволновые колебания принимают и подают на сигнальный вход управляемого микроволнового фазовращателя, на управляющий вход которого подают  
40 низкочастотный сигнал с частотой  $F$ , при этом с помощью фазовращателя осуществляют сдвиг частоты микроволнового сигнала на частоту  $F$  низкочастотного генератора, при этом трансформированные по частоте микроволновые колебания с частотой  $f_1=f_0+F$  подают на первый вход смесителя, на второй вход которого подают исходные микроволновые колебания с частотой  $f_0$  и после гомодинного преобразования сигналов  
45 в смесителе, выделяют низкочастотный сигнал с частотой  $F=f_1-f_0$ , который подают на первый вход фазового детектора, при этом на второй вход фазового детектора подают низкочастотный опорный сигнал с частотой  $F$ , таким образом, на выходе фазового детектора получают сигнал, пропорциональный набегу фазы микроволнового сигнала, при его прохождении измерительной трассы, по изменению которого контролируют

изменения интегрального состава газовой среды, отличающийся тем, что первоначально генерируют низкочастотные колебания с известной частотой  $NF$ , которую затем делят на  $N$  и получают низкочастотные опорные колебания с частотой  $F$ , при этом в качестве измерительной трассы используют замкнутую кольцевую волноводную структуру известной длины, внутри которой устанавливают управляемый микроволновый фазовращатель и микроволновый усилитель, включенные последовательно, при этом в замкнутой кольцевой волноводной структуре через первый направленный ответвитель возбуждают и направляют в заданном направлении микроволновые колебания с частотой  $f_0$ , при этом через ту же замкнутую волноводную структуру пропускают поток воздуха из окружающей среды, при этом микроволновые колебания с частотой  $f_0$  направляют в сторону сигнального входа управляемого микроволнового фазовращателя, с помощью которого осуществляют сдвиг частоты микроволновых колебаний на частоту  $F$  опорного сигнала, после чего трансформированные по частоте микроволновые колебания с частотой  $f_1=f_0+F$  подают на вход микроволнового усилителя, с помощью которого компенсируют потери энергии микроволнового сигнала, имеющие место в управляемом фазовращателе и в волноводной структуре, при этом усиленные и трансформированные по частоте микроволновые колебания вновь пропускают через замкнутую волноводную структуру, через которую также пропускают воздух из окружающей среды, и которые вновь подают на сигнальный вход управляемого микроволнового фазовращателя, с помощью которого вновь сдвигают частоту микроволновых колебаний на частоту  $F$  низкочастотного опорного сигнала, в результате чего на выходе управляемого фазовращателя получают микроволновые колебания с частотой  $f_2=f_0+2F$ , причем коэффициент усиления микроволнового усилителя подбирают таким образом, чтобы генерация сигналов не наступала, после чего процесс повторяют многократно и в очередной,  $N$ -й раз, на выходе микроволнового усилителя получают сигнал с частотой  $f_N=f_0+NF$ , частота сдвига которого пропорциональна числу проходов  $N$  микроволновых колебаний через замкнутую волноводную структуру, при этом часть энергии усиленных и трансформированных по частоте микроволновых колебаний подают через второй направленный ответвитель на первый вход смесителя, на второй вход которого подают часть энергии исходных микроволновых колебаний с частотой  $f_0$ , после чего на выходе смесителя получают набор низкочастотных колебаний с частотами  $F, 2F, \dots, NF, (N+1)F$ , и т.д., при этом с помощью узкополосного фильтра выделяют только лишь колебания с частотой  $NF$ , при этом с выхода узкополосного фильтра сигнал с частотой  $NF$  усиливают и подают на первый вход фазового детектора, при этом на второй вход фазового детектора подают сигнал низкочастотного опорного генератора с такой же частотой  $NF$ , и, таким образом, на выходе фазового детектора получают сигнал пропорциональный набегу фазы микроволнового сигнала, при его  $N$ -кратном прохождении измерительной волноводной структуры, содержащей воздух окружающей среды, по изменению которого контролируют с помощью индикаторного устройства изменения интегрального состава газовой среды.

45

Способ контроля изменений интегрального состава газовой среды



Авторы:

Широков И. Б.  
Лялюк Д. В.