



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 374 636** (13) **C1**

(51) МПК
G01N 29/00 (2006.01)
G01N 27/04 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008117809/28, 26.05.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.05.2008

(45) Опубликовано: 27.11.2009 Бюл. № 33

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2242751 C1, 20.12.2004. SU 765715 A1,
23.09.1980. SU 1307324 A1, 30.04.1987. SU
1681229 A1, 30.09.1991. JP 2004325297 A,
18.11.2004. JP 10306312 A, 17.11.1998.

Адрес для переписки:

249033, Калужская обл., г. Обнинск, пл.
Бондаренко, 1, ФГУП "ГНЦ РФ-ФЭИ",
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Андриашин Анатолий Васильевич (RU),
Кабенин Вячеслав Николаевич (RU),
Калякин Сергей Георгиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное
предприятие "Государственный научный
центр Российской Федерации -
Физико-энергетический институт имени А.И.
Лейпунского" (RU)

(54) СПОСОБ И ГАЗОАНАЛИЗАТОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВОДОРОДА, ВОДЯНОГО ПАРА И ВОЗДУХА В ПАРОГАЗОВОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

(57) Реферат:

Использование: для определения локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука. Сущность: заключается в том, что осуществляют измерение парциального давления водорода, при этом в зоне контроля параметров парогазовой среды одновременно с измерением парциального давления водорода дополнительно измеряют скорость ультразвука в парогазовой среде на частоте

$f=0,1-1,0$ МГц, давление и температуру парогазовой среды и определяют объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде по определенным математическим выражениям. Технический результат: обеспечение возможности в реальном масштабе времени в автоматическом режиме с высокой точностью комплексно определять локальные объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде в широком диапазоне концентраций. 2 н.п. ф-лы.

RU 2 374 636 C1

RU 2 374 636 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 374 636** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
G01N 29/00 (2006.01)
G01N 27/04 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2008117809/28, 26.05.2008**

(24) Effective date for property rights:
26.05.2008

(45) Date of publication: **27.11.2009 Bull. 33**

Mail address:

**249033, Kaluzhskaja obl., g. Obninsk, pl.
Bondarenko, 1, FGUP "GNTs RF-FEhI", patentnyj
otdel**

(72) Inventor(s):

**Andriashin Anatolij Vasil'evich (RU),
Kabenin Vjacheslav Nikolaevich (RU),
Kaljakin Sergej Georgievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "Gosudarstvennyj nauchnyj tsentr
Rossijskoj Federatsii - Fiziko-ehnergeticheskij
institut imeni A.I. Lejpunskogo" (RU)**

(54) **METHOD AND GAS ANALYSER FOR DETERMINING LOCAL VOLUME CONCENTRATION OF HYDROGEN, WATER VAPOUR AND AIR IN VAPOUR-GAS MEDIUM USING ULTRASOUND**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: partial pressure of hydrogen is measured simultaneously with measurement of speed of ultrasound in the vapour-gas medium at frequency $f=0.1-1.0$ MHz, pressure and temperature of the vapour-gas medium in the zone of controlling parametres of the vapour-gas medium. Volume concentration of hydrogen, water vapour and air in

the vapour-gas medium is determined using defined mathematical expressions.

EFFECT: possibility of real time, highly accurate simultaneous determination of local volume concentration of hydrogen, water vapour and air in a vapour-gas medium in a wide range of concentrations in automatic mode.

2 cl, 4 ex

R U 2 3 7 4 6 3 6 C 1

R U 2 3 7 4 6 3 6 C 1

Изобретение относится к методам и средствам для измерения состава парогазовых сред и может быть использовано для контроля атмосферы в помещениях промышленных предприятий, в частности, для обеспечения водородной взрывобезопасности под защитной оболочкой атомных электрических станций.

5 В настоящее время неизвестен способ для избирательного и оперативного определения объемных концентраций одновременно всех компонентов парогазовой смеси, состоящей из воздуха, водяного пара и водорода.

Известен способ определения содержания водорода в газовой и жидкой среде путем 10 регистрации изменения электродвижущей силы между двумя металлическими проводниками, введенными в контролируемую среду, один из которых изменяет, а другой не изменяет свои электрофизические свойства при поглощении водорода [А.с. СССР №1826734, МПК⁶ G01N 27/26. Способ определения водорода в газовой и жидкой среде. Опубликовано 20.05.1995].

15 Недостатком известного способа является неопределенность температурных и концентрационных границ применимости данного способа контроля водорода.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому способу является способ определения парциального давления водорода, основанный на свойстве 20 проводника из палладия или его сплава с серебром избирательно поглощать водород из окружающей среды и изменять при этом свое электросопротивление [Патент РФ №2242751 МПК⁷ G01N 27/04. Газоанализатор водорода. Опубл. 20.12.2004. БИПМ №35]. Способ включает в себя размещение чувствительного элемента в рабочей камере и определение сопротивления проводника с помощью вторичной электронной 25 аппаратуры.

Недостатком известного способа является то, что он позволяет определять только парциальное давление только одного компонента - водорода, но не позволяет определять раздельное содержание остальных компонентов смеси и объемную 30 концентрацию водорода

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является газоанализатор водорода, содержащий датчик с чувствительным элементом, использующим палладиевый сплав, измеритель сопротивления чувствительного 35 элемента и регулятор температуры рабочей камеры датчика. Датчик газоанализатора выполнен в виде удлиненного трубчатого корпуса, внутри которого расположена рабочая камера с чувствительным элементом, состоящим из электроизоляционного основания, на котором намотан проводник из палладиевого сплава. С помощью соединительных проводов проводник подключен к электронному блоку. Внутри 40 корпуса датчика во входной его части установлен подогреватель с каналами для подвода анализируемого газа. Датчик крепится вертикально входным каналом вниз. За счет повышения температуры газа внутри корпуса датчика происходит естественная циркуляция газа и осуществляется доставка анализируемой газовой смеси к проводнику чувствительного элемента. При наличии в смеси водорода 45 сопротивление проводника чувствительного элемента увеличивается пропорционально парциальному давлению водорода, и этот прирост фиксируется электронным измерительным блоком, содержащим прецизионную схему измерения электросопротивления.

50 Недостатком известного газоанализатора водорода является то, что в нем не предусмотрено конструктивных элементов для раздельного определения содержания водяного пара и воздуха в парогазовой среде и объемных концентраций водорода.

Для устранения указанных недостатков в способе определения локальных

объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука, включающем измерение парциального давления водорода, предлагается:

5 - в зоне контроля параметров парогазовой среды одновременно с измерением парциального давления водорода дополнительно измерять скорость ультразвука в парогазовой среде на частоте $f=0,1\div 1,0$ МГц, давление и температуру парогазовой среды;

10 - объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде определять по соотношениям, учитывающим скорость ультразвука в парогазовой среде, объемные концентрации компонент парогазовой среды, давление парогазовой среды, универсальную газовую постоянную, температуру парогазовой среды, эмпирический коэффициент сжимаемости, молекулярную массу компонент парогазовой среды и показатель адиабаты компонента парогазовой среды.

15 Для устранения указанных недостатков в газоанализаторе для определения локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука, содержащем канал для измерения парциального давления водорода, включающий датчик парциального давления водорода, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, предлагается:

20 - газоанализатор дополнительно снабдить каналом для измерения давления, включающим датчик давления, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, каналом для измерения температуры, включающим датчик температуры, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с указанного датчика, каналом для измерения скорости ультразвука, включающим датчик измерения ультразвука, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика;

30 - обеспечить независимое функционирование друг от друга каналов для измерения парциального давления водорода, давления, температуры и скорости ультразвука;

35 - подключить выходы каналов для измерения парциального давления водорода, давления, температуры и скорости ультразвука к вычислительному устройству, которое по определенному алгоритму по измеренным парциальному давлению водорода, давлению, температуре среды и скорости ультразвука будет определять объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха.

40 Задачей изобретения является устранение указанных недостатков известных способов и устройств и разработка способа и устройства, позволяющих в реальном масштабе времени в автоматическом режиме с высокой точностью комплексно определять локальные объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде в широком диапазоне концентраций.

Техническая сущность способа определения локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука состоит в следующем.

45 В зоне контроля параметров парогазовой среды измеряют скорость ультразвука в парогазовой среде на частоте $f=0,1\div 1,0$ МГц, парциальное давление водорода, давление и температуру парогазовой среды.

По измеренным параметрам определяют объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде по соотношениям:

$$50 \quad k_3 = P_3 / P, \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{RT \cdot x_1 - c^2 \cdot \mu_1 + k_3 [c^2 (\mu_1 - \mu_3) + RT (x_3 - x_1)]}{RT (x_1 - x_2 \cdot z_2) - c^2 (\mu_1 - \mu_2)}, \quad (2)$$

$$k_1 = 1 - k_2 - k_3, \quad (3)$$

где c - скорость ультразвука в парогазовой среде, м/с;

k - объемная концентрация компонента парогазовой среды;

P - давление парогазовой среды. Па;

$R=8,31441 \cdot 10^3$ - универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T - температура парогазовой среды. К;

$z_2=0,9 \div 1,0$ - эмпирический коэффициент сжимаемости, определяемый по параметрам водяного пара;

μ - молекулярная масса компонента парогазовой среды, кг/кмоль;

x - показатель адиабаты компонента парогазовой среды при температуре T ;

нижние индексы «1», «2» и «3» соответствует воздуху, водяному пару и водороду.

Поскольку сумма объемных концентраций всех компонентов парогазовой смеси равна единице, то в трехкомпонентной среде достаточно избирательно определить объемные концентрации водорода и водяного пара, а объемную концентрацию воздуха можно найти по разности между единицей и объемными концентрациями водорода и водяного пара.

Комплексный анализ состава парогазовой среды, состоящей из водорода, водяного пара и воздуха, в изобретении реализуется путем совместного использования избирательного газоанализатора водорода и универсального для всех газов по способу анализа акустического газоанализатора при одновременном измерении парциального давления водорода, давления, температуры, скорости звука в анализируемой среде соответствующими измерительными каналами и расчете по определенному алгоритму по измеренным величинам объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха.

В предлагаемом изобретении используется ультразвук, т.е. упругие колебания и волны, частота которых превышает 15-20 кГц.

Методы и средства измерения скорости ультразвука хорошо известны. Они изложены, например, в публикациях: Н.И.Бражников. Ультразвуковые методы. М.-Л.: Энергия, 1965; А.Е.Колесников. Ультразвуковые измерения. М.: Издательство стандартов, 1970; Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1986.

В способе, в частности, применяется импульсный метод определения (измерения) скорости ультразвука путем измерения промежутка времени t , в течение которого возбужденный ультразвуковой импульс проходит в анализируемой парогазовой среде известное расстояние l между излучающим и приемным пьезопреобразователями ультразвукового датчика, и скорость ультразвука определяют по формуле $C=l/t$. Импульсный метод измерения скорости ультразвука выбран как наиболее быстродействующий, помехоустойчивый и точный.

Влажный водяной пар можно рассматривать как газ с коэффициентом сжимаемости z и с капельками воды микронного и большего размера. Влияние таких аэрозолей на скорость звука в водяном паре проявляется на низких частотах и практически прекращается на частотах ультразвука выше 100 кГц.

Скорость звука в парогазовой смеси определяется формулой

$$C = \sqrt{\frac{x \cdot R \cdot T}{\mu}},$$

где R - универсальная газовая постоянная; T , μ , x - соответственно температура по шкале Кельвина, молекулярная масса и показатель адиабаты парогазовой смеси.

Для 3-компонентной парогазовой смеси (среды), состоящей из воздуха, водяного пара и водорода, индексы «1», «2» и «3» соответствуют воздуху, водяному пару и водороду.

После подстановки в формулу скорости звука выражений для показателя адиабаты x и молекулярной массы // парогазовой смеси, состоящей из воздуха, водяного пара, водорода,

$$x = x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3,$$

$$\mu = \mu_1 \cdot k_1 + \mu_2 \cdot k_2 + \mu_3 \cdot k_3,$$

и соотношения $k_1 = 1 - k_2 - k_3$, после несложных преобразований получаем формулу для определения объемной концентрации водяного пара

$$k_2 = \frac{R \cdot T \cdot x_1 - C^2 \mu_1 + k_3 [C^2 (\mu_1 - \mu_3) + R \cdot T (x_3 - x_1)]}{R \cdot T (x_1 - x_2 \cdot z_2) - C^2 (\mu_1 - \mu_2)},$$

где C - скорость ультразвука в парогазовой среде, м/с;

k - объемная концентрация компонента парогазовой среды;

P - давление парогазовой среды, Па;

P_3 - парциальное давление водорода, Па;

$k_3 = P_3 / P$ - объемная концентрация водорода;

R - универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

z_2 - эмпирический коэффициент сжимаемости водяного пара;

μ - молекулярная масса компонента парогазовой среды, кг/кмоль;

x - показатель адиабаты компонента парогазовой среды, при температуре T ;

$R = 8,31441 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль·К),

$\mu_1 = 28,97$ кг/кмоль, $\mu_2 = 18,016$ кг/кмоль, $\mu_3 = 2,016$ кг/кмоль.

Коэффициент сжимаемости водяного пара $z_2 \leq 1,0$. Для данной температуры парогазовой среды коэффициент z_2 линейно зависит от давления водяного пара P_2 и принимает значения от максимального $z_2 = 10$ при $P_2 \leq 4$ кПа до минимального $z_{2н} < 1,0$, определяемого по справочным данным для давления насыщенного водяного пара $P_{2н}$ при данной температуре среды.

Коэффициент сжимаемости водяного пара z_2 для данных параметров среды при температуре T определяют из соотношения:

$$z_2 = z_{2н} + \frac{(1 - z_{2н})(P_{2н} - P + P_3 + P_1)}{P_{2н}},$$

где $z_{2н}$ - коэффициент сжимаемости насыщенного водяного пара; $P_{2н}$ - давление насыщенного водяного пара. Па; P - давление парогазовой среды. Па; P_3 - парциальное давление водорода, Па; P_1 - усредненное парциальное давление сухого воздуха, Па.

Значение $z_{2н}$ определяют с использованием справочных данных по соотношению

$$z_{2H} = \frac{P_{2H} \cdot v_{2H} \cdot \mu_2}{RT},$$

полученному из уравнения состояния водяного пара, где v_{2H} - удельный объем насыщенного водяного пара, м³/кг.

Для водяного пара в диапазоне температур 10-250°C и давлений 0,012÷7,0 атм $z_2=0,94\div 1,0$. При температуре водяного пара $t\leq 50^\circ\text{C}$ практически $z_2=z_{2H}=1,0$.

При определении объемной концентрации водяного пара k_2 в автоматическом режиме измерений значения $x_1, x_2, x_3, P_{2H}, z_{2H}, z_2$, используемые в расчетах, в необходимом диапазоне температур находят по соответствующим аналитическим выражениям - полиномам 3-4-й степеней от температуры $t^\circ\text{C}$, полученным заранее по данным таблиц теплофизических свойств газов и водяного пара из справочников:

[С.Л.Ривкин. Термодинамические свойства газов. М.: Энергоатомиздат, 1987; А.А.Александров, Б.А.Григорьев. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Издательство МЭИ, 1999.]

После определения объемных концентраций водорода k_3 , водяного пара k^2 вычисляют объемную концентрацию воздуха $k_1=1-k_2-k_3$.

Таким образом, по измеренным параметрам парогазовой среды: температуре, давлению, парциальному давлению водорода и скорости ультразвука с использованием справочных данных в результате несложных расчетов определяют искомые локальные объемные концентрации всех компонентов анализируемой парогазовой среды - водорода, водяного пара и воздуха.

Газоанализатор содержит канал для измерения парциального давления водорода, включающий датчик парциального давления водорода, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, канал для измерения давления, включающий датчик давления, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, канал для измерения температуры, включающий датчик температуры, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с указанного датчика, канал для измерения скорости ультразвука, включающий датчик измерения ультразвука, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика.

Каналы для измерения парциального давления водорода, давления, температуры и скорости ультразвука функционируют независимо друг от друга и их выходы подключены к вычислительному устройству.

Посредством вычислительного устройства по определенному алгоритму по измеренным парциальному давлению водорода, давлению, температуре среды и скорости ультразвука определяют объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха.

Акустические анализаторы газов основаны на измерении скорости звука в смеси газов и используют пьезоэлектрические преобразователи из пьезокерамики, которые могут работать при высоких температурах, обладают хорошей стойкостью к воздействию интенсивных ионизирующих, реакторных излучений и агрессивных сред: Ультразвук. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1979; В.М.Баранов. Акустические измерения в ядерной энергетике. М.: Энергоатомиздат, 1990.

Предлагаемый газоанализатор содержит канал измерения скорости ультразвука, в который входит первичный преобразователь - датчик скорости ультразвука, помещаемый в зону контроля параметров парогазовой среды, и вторичная электронная аппаратура, связанная с датчиком проводами для передачи и приема

электрических сигналов.

Датчик скорости ультразвука выполнен в виде удлиненного трубчатого корпуса с прорезями для свободного доступа анализируемой среды в пространство между излучающим и приемным пьезопреобразователями, являющимися чувствительными элементами датчика. Пьезопреобразователи расположены в электроизоляционных держателях, закрепленных на концах корпуса датчика.

Электрические сигналы с электронного блока возбуждают ультразвуковые колебания в излучающем пьезопреобразователе, которые затем через анализируемую парогазовую среду поступают на приемный пьезопреобразователь. Электронный блок принимает и обрабатывает электрические сигналы с приемного пьезопреобразователя, определяет скорость ультразвука в анализируемой среде.

Абсолютное давление и температура парогазовой среды могут измеряться с использованием стандартных устройств. Например, давление - измерительными преобразователями Сапфир-22ДА, температура - малоинерционными термопарами типа ТХК (хромель-капель) или ТХА (хромель-алюмель).

Примеры конкретной реализации способа

При определении объемных концентраций водорода k_3 , водяного пара k_2 и воздуха k_1 , используются следующие исходные данные, расчетные формулы и соотношения.

Константы: $\mu_1=28,97$ кг/кмоль, $\mu_2=18,016$ кг/кмоль, $\mu_3=2,016$ кг/кмоль, $R=8,31441 \cdot 10^3$ Дж/(кмоль·К).

Измеряемые параметры парогазовой среды: t , °С (Т, К), Р, Па, P_3 , Па, С, м/с.

Справочные величины, соответствующие определенной (данной) температуре парогазовой среды t °С (Т,К): x_1 , x_2 , x_3 , P_{2H} , Па, z_{2H} .

Расчетные формулы и соотношения:

$$P_1 = \frac{P_{1\text{норм.усл.}} \cdot T}{T_{\text{норм.усл.}}} \quad (1)$$

$$P_1 = 3,354 \cdot 10^2 \cdot T, \text{ Па} \quad (2)$$

$$z_2 = z_{2H} + \frac{(1 - z_{2H})(P_{2H} - P + P_3 + P_1)}{P_{2H}} \quad (3)$$

$$k_3 = P_3 / P, \quad (4)$$

$$k_2 = \frac{RT \cdot x_1 - C^2 \mu_1 + k_3 [C^2 (\mu_1 - \mu_3) + RT (x_3 - x_1)]}{R \cdot T (x_1 - x_2 \cdot z_2) - C^2 (\mu_1 - \mu_2)}$$

с учетом, что $\mu_1 - \mu_3 = 26,954$ кг/кмоль, $\mu_1 - \mu_2 = 10,954$ кг/кмоль, получаем

$$k_2 = \frac{RT \cdot x_1 - C^2 \mu_1 + k_3 [C^2 (\mu_1 - \mu_3) + RT (x_3 - x_1)]}{R \cdot T (x_1 - x_2 \cdot z_2) - C^2 \cdot 10,954} \quad (5)$$

$$k_1 = 1 - k_2 - k_3 \quad (6)$$

При $t_{\text{норм.усл.}} = 25^\circ\text{C}$ $P_{1\text{норм.усл.}} = 10^5$ Па (0,987атм).

При $t \leq 50^\circ\text{C}$ $z_2 = z_{2H} = 1,0$.

Пример 1.

Моделирование нормальных условий эксплуатации.

Измеряемые параметры: $T=298,15$ К; $P=1,013 \cdot 10^5$ Па; $P_3=0$ Па, $C=347,16$ м/с.

Справочные данные: $x_1=1,400$; $x_2=1,328$.

В результате расчета по формулам (2-6) получаем: $k_1=0,98$, $k_2=0,02$ и $k_3=0$.

Пример 2.

Моделирование аварийного режима.

Измеряемые параметры: $T=423,15$ К; $P=5,0 \cdot 10^5$ Па; $P_3=0,15 \cdot 10^5$ Па; $C=473,39$ м/с.

5 Справочные данные: $x_1=1,394$; $x_2=1,318$; $x_3=1,398$; $P_{2H}=4,7597 \cdot 10^5$ Па.

В результате расчета по формулам (2-6) получаем: $k_1=0,272$, $k_2=0,698$ и $k_3=0,03$.

Пример 3.

Моделирование аварийного режима.

10 Измеряемые параметры: $T=473,15$ К; $P=7,0 \cdot 10^5$ Па; $P_3=0,35 \cdot 10^5$ Па; $C=509,97$ м/с.

Справочные данные: $x_1=1,389$; $x_2=1,312$; $x_3=1,397$; $P_{2H}=1,551 \cdot 10^6$ Па;

В результате расчета по формулам (2-6) получаем: $k_1=0,223$, $k_2=0,727$ и $k_3=0,05$.

Пример конкретного исполнения газоанализатора

15 Комплексный анализ объемных концентраций компонентов парогазовой среды, состоящей из водорода, водяного пара и воздуха в предлагаемом изобретении реализуется совместным использованием в газоанализаторе четырех каналов для измерения парциального давления водорода, давления, температуры парогазовой
20 среды и скорости ультразвука в парогазовой среде, подключенных через интерфейс к общему вычислительному устройству - универсальному компьютеру типа IBM.

Компьютер по измеренным величинам по определенному алгоритму вычисляет объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха.

25 Аналоговые сигналы с выходов каналов измерения парциального давления водорода, давления и температуры парогазовой среды передаются в компьютер через интерфейс: на 8-канальный аналого-цифровой преобразователь-коммутатор (АЦП) ISP-7018, с которого через сетевой преобразователь ISP-7520 поступают на один из последовательных портов СОМ компьютера (прототип связи RS-232).

30 С выхода канала измерения скорости ультразвука в парогазовой среде цифровые коды, соответствующие скорости ультразвука, поступают на порт СОМ компьютера через модуль цифровой связи 7041.

35 Канал измерения парциального давления водорода в парогазовой среде - газоанализатор водорода содержит датчик водорода, выполненный в виде удлиненного трубчатого корпуса, внутри которого расположена рабочая камера с чувствительным элементом, состоящим из электроизоляционного основания, на котором намотан проводник из палладиевого сплава.

40 С помощью соединительных проводов проводник подключен к вторичной аппаратуре - электронному блоку, сигналы с которого поступают на компьютер через электронные модули ISP-7018, ISP-7520.

Канал измерения давления парогазовой среды использует измерительный преобразователь Сапфир-22 ДА, сигналы с которого по соединительным проводам поступают на компьютер через электронные модули ISP-7018, ISP-7520.

45 В канале измерения температуры парогазовой среды используется малоинерционная термопара ТХА, сигналы с которой поступают на компьютер через электронные модули ISP-7018, ISP-7520.

50 Канал измерения скорости ультразвука в парогазовой среде содержит датчик скорости ультразвука и вторичную электронную аппаратуру, связанную с датчиком коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом.

Датчик скорости ультразвука выполнен в виде трубчатого металлического корпуса с диаметром 49 мм, длиной 70 мм с прорезями доступа анализируемой парогазовой среды в пространство между излучающим импульсы ультразвука и приемным

пьезопреобразователем из пьезокерамики ЦТС-26, являющимися чувствительными элементами датчика.

Пьезопреобразователи расположены в электроизоляционных держателях, закрепленных на концах корпуса датчика на расстоянии l друг от друга.

Электрические сигналы с электронного блока возбуждают ультразвуковые импульсы в излучающем пьезопреобразователе, которые, пройдя анализируемую парогазовую среду, через интервал времени t поступают на приемный пьезопреобразователь.

Электронный блок принимает, обрабатывает электрические сигналы с приемного пьезопреобразователя и получает цифровой код, соответствующий скорости ультразвука в парогазовой среде, который поступает на компьютер через модуль цифровой связи 7041.

Технический результат изобретения состоит в обеспечении непрерывного автоматического контроля с высокой точностью в реальном масштабе времени локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде.

Разработка изобретения связана с требованиями обеспечения водородной взрывобезопасности АЭС.

Формула изобретения

1. Способ определения локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука, включающий измерение парциального давления водорода, отличающийся тем, что в зоне контроля параметров парогазовой среды одновременно с измерением парциального давления водорода дополнительно измеряют скорость ультразвука в парогазовой среде на частоте $f=0,1-1,0$ МГц, давление и температуру парогазовой среды и определяют объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде по соотношениям:

$$k_3 = P_3 / P, \quad (1)$$

$$k_2 = \frac{RT \cdot x_1 - c^2 \cdot \mu_1 + k_3 [c^2(\mu_1 - \mu_3) + RT(x_3 - x_1)]}{RT(x_1 - x_2 \cdot z_2) - c^2(\mu_1 - \mu_2)}, \quad (2)$$

$$k_1 = 1 - k_2 - k_3, \quad (3)$$

где c - скорость ультразвука в парогазовой среде, м/с;

k - объемная концентрация компонента парогазовой среды;

P - давление парогазовой среды, Па;

$R=8,31441 \cdot 10^3$ - универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T - температура парогазовой среды, К;

$z_2=0,9 \div 1,0$ - эмпирический коэффициент сжимаемости, определяемый по параметрам водяного пара;

μ - молекулярная масса компонента парогазовой среды, кг/кмоль;

x - показатель адиабаты компонента парогазовой среды при температуре T ;

нижние индексы «1», «2» и «3» соответствует воздуху, водяному пару и водороду.

2. Газоанализатор для определения локальных объемных концентраций водорода, водяного пара и воздуха в парогазовой среде с использованием ультразвука, содержащий канал для измерения парциального давления водорода, включающий датчик парциального давления водорода, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, отличающийся тем, что газоанализатор дополнительно снабжен каналом для измерения давления, включающим датчик давления, линию

связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, каналом для измерения температуры, включающим датчик температуры, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с указанного датчика, каналом для измерения скорости ультразвука, включающим датчик измерения ультразвука, линию связи и вторичный преобразователь сигнала с данного датчика, причем каналы для измерения парциального давления водорода, давления, температуры и скорости ультразвука функционируют независимо друг от друга и их выходы подключены к вычислительному устройству, которое по определенному алгоритму по измеренным парциальному давлению водорода, давлению, температуре среды и скорости ультразвука определяет объемные концентрации водорода, водяного пара и воздуха.

15

20

25

30

35

40

45

50