



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G21C 17/06 (2022.02)*

(21)(22) Заявка: 2021135565, 02.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.12.2021

Дата регистрации:  
23.05.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.12.2021

(45) Опубликовано: 23.05.2022 Бюл. № 15

Адрес для переписки:  
119017, Москва, ул. Большая Ордынка, 24,  
Госкорпорация "Росатом"

(72) Автор(ы):

Красников Юрий Викторович (RU),  
Степанов Александр Михайлович (RU),  
Стародубцев Алексей Валериевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой  
выступает Государственная корпорация по  
атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация  
"Росатом") (RU)

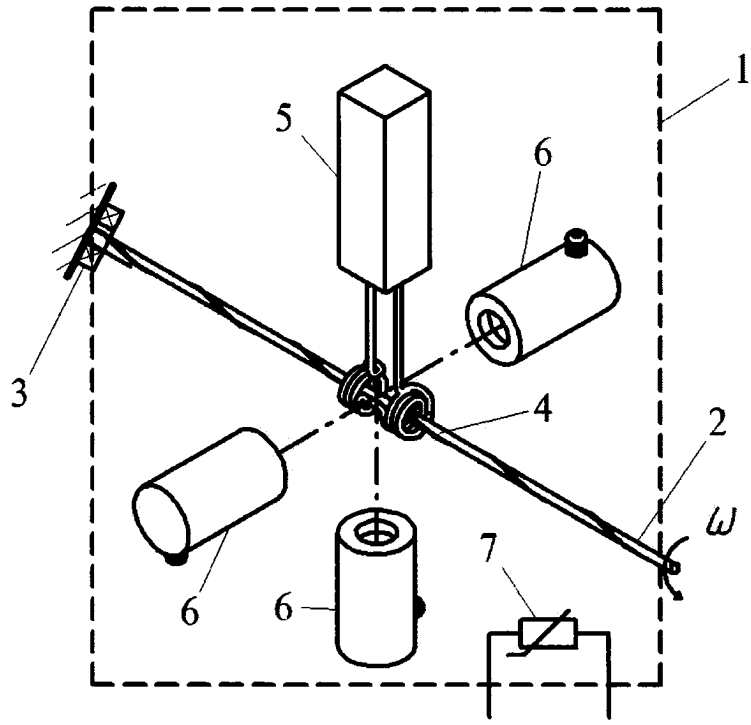
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2634309 C1, 25.10.2017. RU  
2552839 C1, 10.06.2015. RU 2552526 C1,  
10.06.2015. JP H034133 A, 10.01.1991.

(54) Способ измерения концентрации гелия в тепловыделяющем элементе

(57) Реферат:

Изобретение относится к атомной промышленности и может найти применение на предприятиях по изготовлению тепловыделяющих элементов при их контроле. Способ контроля содержания гелия в твэле заключается в индукционном нагреве зон твэла, отстоящих на равные расстояния от зоны контроля. Температура в зоне контроля контролируется при помощи нескольких установленных супротивно пирометров, а обмотка индукционного нагревателя выполняется двухсекционной, с одинаковыми секциями в зонах нагрева. При этом твэл вывешивается в

приводных люнетах, обеспечивающих его вращение с целью интегрирования результатов измерения температуры в контрольной зоне для твэлов с навивкой дистанционирующей проволоки или ленты. Градуировку осуществляют при помощи носителей образцовых газов, выполненных из твэльной трубы материала той же плавки, что и контролируемого твэла и по чертежу газовой полости. Изобретение позволяет исключить влияние температуры воздуха в установке и влияние навивки дистанционирующей проволоки и ленты на результаты измерения. 1 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G21C 17/06* (2022.02)

(21)(22) Application: **2021135565, 02.12.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**02.12.2021**

Registration date:  
**23.05.2022**

Priority:

(22) Date of filing: **02.12.2021**

(45) Date of publication: **23.05.2022** Bull. № 15

Mail address:

**119017, Moskva, ul. Bolshaya Ordynka, 24,  
Goskorporatsiya "Rosatom"**

(72) Inventor(s):

**Krasnikov Yuriy Viktorovich (RU),  
Stepanov Aleksandr Mikhajlovich (RU),  
Starodubtsev Aleksej Valerievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaya Federatsiya, ot imeni katoroj  
vystupaet Gosudarstvennaya korporatsiya po  
atomnoj energii "Rosatom" (Goskorporatsiya  
"Rosatom") (RU)**

(54) **METHOD FOR MEASURING HELIUM CONCENTRATION IN A FUEL ELEMENT**

(57) Abstract:

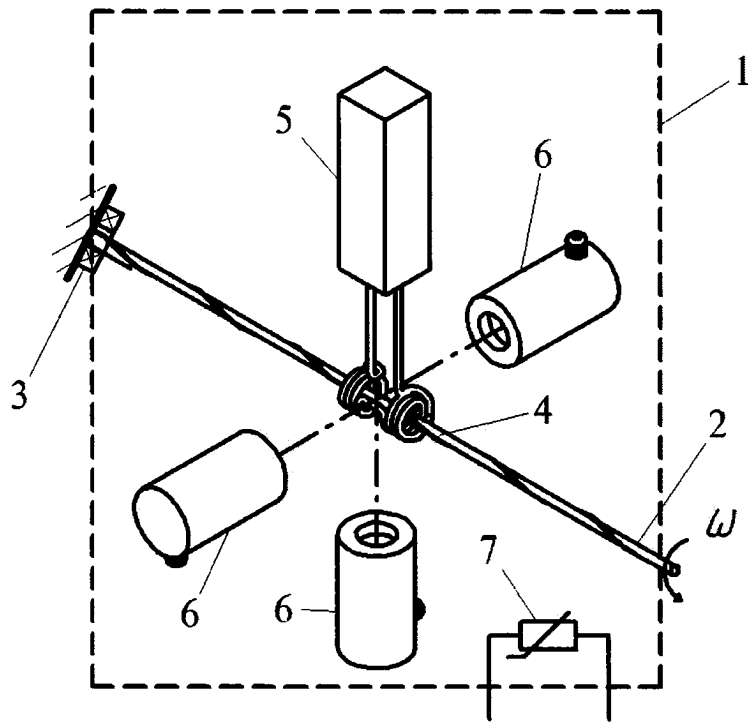
FIELD: nuclear industry.

SUBSTANCE: invention relates to the nuclear industry and can be used in enterprises for the manufacture of fuel elements during their control. The method for controlling the helium content in a fuel element consists in induction heating of the fuel element zones spaced at equal distances from the control zone. The temperature in the control zone is controlled by several pyrometers installed oppositely, and the winding of the induction heater is made in two sections, with identical sections in the heating zones. In this case, the fuel rod is hung out in drive steady rests, which ensure

its rotation in order to integrate the results of temperature measurement in the control zone for fuel rods with a winding of a spacer wire or tape. Graduation is carried out with the help of reference gas carriers made from a fuel rod pipe of the material of the same heat as the controlled fuel rod and according to the drawing of the gas cavity.

EFFECT: invention makes it possible to eliminate the influence of the air temperature in the installation and the influence of the winding of the spacer wire and tape on the measurement results.

1 cl, 1 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к атомной энергетике и может быть использовано при изготовлении тепловыделяющих элементов (ТВЭлов) на этапе проведения контроля концентраций гелия в них, в частности, в условиях конвейерного производства ТВЭлов.

Известен «Способ контроля тепловыделяющих элементов» /патент РФ №2552526/.

5      Способ контроля тепловыделяющих элементов, включает определение давления гелия под оболочкой тепловыделяющего элемента после его герметизации, при котором удерживают тепловыделяющий элемент на позиции измерения в течение всего времени контроля, осуществляют локальный импульсный нагрев тепловыделяющего элемента в области компенсационного объема, регистрируют временную зависимость  
10      температуры участков оболочки в месте нагрева и на противоположной стороне оболочки в течение всего времени контроля, по ней судят о давлении гелия и состоянии тепловыделяющего элемента, согласно которому перед локальным нагревом тепловыделяющий элемент выдерживают до выравнивания его температуры с температурой окружающей среды, а после завершения контроля создают температуру  
15      окружающей среды ниже 0°С, перед локальным нагревом тепловыделяющий элемент выдерживают до выравнивания его температуры с новой температурой окружающей среды, повторяют цикл нагрев-измерения и сравнивают полученные временные зависимости давлений при разных температурах с калибровочными зависимостями для разных давлений гелия и разными уровнями содержания воздуха в нем.

20      Недостаток способа-аналога заключается в его низкой производительности. Она обусловлена многократным проведением время затратных операций «выдержки ТВЭла до выравнивания его температуры с температурой окружающей среды», «создание температуры окружающей среды ниже 0°С», что не позволяет использовать способ для оценки концентрации гелия в смеси с загрязняющим газом при сплошном контроле  
25      ТВЭлов в жестких временных рамках их конвейерного производства.

Наиболее близким аналогом является патент №2634309.

Для решения поставленной задачи в способе измерения концентрации гелия в ТВЭле, включающего подачу ТВЭла в установку на позицию измерения, проведение локального импульсного нагрева участка оболочки ТВЭла в области его компенсационного объема,  
30      измерение временных температурных зависимостей и определение концентрации гелия в ТВЭле, предлагается:

- дополнительно, перед подачей ТВЭла в установку на позицию измерения измеряют температуру воздуха в установке, после размещения ТВЭла на позицию измерения измеряют температуру оболочки ТВЭла;
- 35      - дополнительно измеряют температурные зависимости стандартных образцов в зависимости от температуры воздуха в установке, температуры оболочки и эффекта взаимодействия этих температур;
- объемную концентрацию гелия в контролируемом ТВЭле ( $C_x$ ) определяют по формуле

$$40 \quad C_x = (C_0 - C_1) \frac{P_0(t_{в,x}; t_{об,x}) - P_x(t_{в,x}; t_{об,x})}{P_0(t_{в,x}; t_{об,x}) - P_1(t_{в,x}; t_{об,x})}$$

где  $C_0, C_1$  - объемные концентрации гелия в стандартных образцах;  $P_0(t_{в,x}; t_{об,x})$ ,  $P_1(t_{в,x}; t_{об,x})$  - функциональные параметры временных температурных зависимостей  
45       $t_{в,x}, t_{об,x}$  стандартных образцов, соответственно с концентрацией  $C_0$  и  $C_1$  при температуре воздуха в установке  $t_в$  и температуре оболочки ТВЭла  $t_{об}$ ;  $P_x(t_{в,x}; t_{об,x})$  - параметр временной температурной зависимости контролируемого ТВЭла с неизвестной концентрацией гелия ( $x$ ), при измеренной температуре воздуха в установке  $t_{в,x}$  и

температуре оболочки твэла  $t_{об.х}$ .

Недостатками способа-прототипа является следующее:

- влияние температуры воздуха в установке на результаты измерения;
- сплошность реализации набора контрольных образцов с известной концентрацией гелия в силу его сверхтекучести;
- влияние навивки дистанционирующей проволоки и ленты на результаты измерения.

Для решения поставленной задачи в способе измерения концентрации гелия в твэле, включающего подачу твэла в позицию измерения, проведение локального импульсного нагрева участка оболочки твэла в области компенсационного объема измерение временных температурных зависимостей и определение концентрации гелия в твэле предлагается:

- индукционный нагреватель выполнить двухсекционным и выполнить нагрев в двух точках, симметричных относительно контрольного сечения;
- в плоскости контрольного сечения температуру измерять несколькими измерителями с получением среднего значения по  $n$  измерителем в каждый текущий момент времени

$$\bar{P}(\tau) = \frac{\sum_1^n P_i(\tau)}{n}$$

- в качестве контрольных образцов использовать носитель контрольного газа, заправляемый эталонным газом с нужной концентрацией перед контрольным измерением;

- твэл с навивкой дистанционирующей проволокой или лентой в процессе измерения вращать вокруг продольной оси с определенной угловой скоростью;
- объемную концентрацию гелия в контролируемом твэле определить по формуле

$$C_x = (C_0 - C_1) \frac{\bar{P}_0(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau) - \bar{P}_x(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau)}{\bar{P}_0(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau) - \bar{P}_1(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau)}$$

где  $C_0, C_1$  - объемные концентрации гелия в носителе контрольного газа;

$\bar{P}_0(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau), \bar{P}_1(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau)$  - средние функциональные параметры временных температурных зависимостей  $t_{в.х}, t_{об.х}$  эталонных концентраций гелия в носителе контрольного газа с концентрацией  $C_0, C_1$ , при температуре  $t_B$  в установке и температуре оболочки твэла  $t_{об}$ ;

$\bar{P}_x(t_{в.х}; t_{об.х})(\tau)$  - средний временной параметр температурной зависимости контролируемого твэла с неизвестной концентрацией гелия ( $x$ ), при температуре воздуха в установке  $t_{в.х}$  и температуре оболочки твэла  $t_{об.х}$ .

Сущность предложенного способа измерения концентрации гелия в твэле поясняется графическим материалом.

На фигуре 1 изображена установка для реализации способа.

На фигуре 1 приняты следующие обозначения: 1 - корпус установки; 2 - тепловыделяющий элемент (твэл); 3 - узел фиксации и обеспечения вращения твэла; 4 - компенсационный объем; 5 - индукционный нагреватель; 6 - дистанционный измеритель температуры в контрольном сечении; 7 - измеритель температуры воздуха.

Способ осуществляют следующим образом.

Физической основой способа измерения концентрации гелия в смеси с воздухом, находящейся под оболочкой твэла, является существенное различие теплопроводностей гелия и воздуха.

Это различие свойств газов проявляется при канальном импульсном нагреве участка

оболочки и скорости изменения температуры в контролируемом сечении твэла, отстоящим от участка нагрева в виде функциональной зависимости от концентрации гелия в твэле.

Способ использует относительный метод измерения, при котором концентрация гелия в контролируемом твэле определяется относительно стандартных образцов. В качестве стандартных образцов используют имитатор твэла, оснащенный заправочным и стравливающим штуцерами, заправляемый эталонными газами (смесь гелия и азота) с известной концентрацией гелия, т.е. имитатор является носителем контрольного газа. Для формирования шкалы измерений гелия от 90 до 100% через 2%, исходя из предельно допустимой концентрации 94%.

Температурные условия проведения измерений с контролируемыми твэлами характеризуются непостоянством температур воздуха в установке и начальных температур твэла.

С целью минимизации влияния воздушного теплопереноса применяется двухсекционный индуктивный нагреватель, осуществляющий теплоперенос в твэле к контрольному сечению с двух сторон, тем самым вдвое повышая информативность полезного сигнала относительно воздушного теплопереноса.

Для снижения случайной составляющей погрешности при измерении функции температуры во времени в контрольном сечении применены несколько бесконтактных измерителей температуры с определением среднего значения по их показаниям в каждый момент времени.

С целью минимизации шунтирующего действия навитой на твэл дистанционирующей проволоки или ленты осуществляется вращение твэла вокруг продольной оси при помощи приводных люнетов с базой шага навивки дистанционирующей проволоки, с определенной угловой скоростью, определяемой динамикой теплопереноса в зоне между точками нагрева и контрольным сечением.

Исходные временные зависимости теплопереноса от концентрации гелия в носителе контрольного газа в диапазоне 90÷100% через 2% и от температуры воздуха и начальной температуры твэла получают в процессе классического многофакторного эксперимента. Данные зависимости используются в методике измерений, реализуемой вычислительным устройством измерительной установки.

При измерениях с контролируемыми твэлами может транспортной системой производственной линии вводиться в установку на позицию измерения, определяемую выдвигаемым узлом фиксации и обеспечения вращения твэла 3. При помощи измерителя температуры воздуха в корпусе установки 7 измерителя температуры внутри установки, а при помощи дистанционных измерителей 6 определяется среднее значение исходной температуры поверхности твэла в контрольном сечении.

При помощи индукционного нагревателя 5 производится, нагрев твэла в течение нормированного интервала времени, в точках, равноотстоящих от контрольного сечения. В контрольном сечении получается временная зависимость температуры  $\bar{P}_x(\tau)$ , которая используется для определения концентрации гелия в твэле. При измерениях с твэлами, оснащенными дистанционирующей проволокой или лентой дополнительно обеспечивается вращение твэла вокруг продольной оси. При этом в методике измерений используются температурные зависимости, полученные при помощи носителя контрольного газа, исполненного с дистанционирующей проволокой и лентой с концентрацией 90÷100% через 2% гелия в носителе при его вращении. Вращение позволяет усреднять в контрольном сечении температуру поверхности твэла, возмущаемую в зоне дистанционирующей проволоки в виде зоны с пониженной

температурой при экстремуме температурной зависимости  $P_{ix}(\tau)$ .

Предлагаемая схема измерения и последовательности действий позволили повысить точность измерения с 13% у прототипа до 2%.

Источники информации

- 5 1. Патент РФ №2552526 G21C 17/06, опубл. 10.06.2015 г.  
 . Патент РФ №2634309 G21C 17/00, опубл. 25.10.2017 г.

(57) Формула изобретения

Способ измерения концентрации гелия в тепловыделяющем элементе (ТВэле),  
 10 включающий подачу ТВэла в установку на позицию измерения, проведение локального импульсного нагрева участка в оболочки ТВэла в области его компенсационного объема, измерение временных температурных зависимостей и определение концентрации гелия в ТВэле, отличающийся тем, что импульсный нагрев осуществляют на участках ТВэла, симметрично отстоящих от сечения измерения температуры оболочки ТВэла, измерения  
 15 в данном сечении осуществляют несколькими измерителями до и после нагрева в течение заданного интервала времени, при этом осуществляют вращение ТВэла, выполненного с навивкой дистанционирующей проволоки или ленты, определяют средние значения температур в сечении по всем измерителям для каждого момента временной зависимости, объемную концентрацию гелия в контролируемом ТВэле ( $C_x$ ) определяют по формуле:

$$20 \quad C_x = (C_0 - C_1) \frac{\overline{P_0}(t_{в,х}; t_{об,х})(\tau) - \overline{P_x}(t_{в,х}; t_{об,х})(\tau)}{\overline{P_0}(t_{в,х}; t_{об,х})(\tau) - \overline{P_1}(t_{в,х}; t_{об,х})(\tau)}$$

Где:

25  $C_0, C_1$  - объемы концентрации гелия в носителе контрольного газа;  $\overline{P_0}, \overline{P_1}$  - средние значения параметров временных температурных зависимостей носителя контрольных газов с заданной концентрацией гелия, полученные в контрольных сечениях по нескольким измерителям

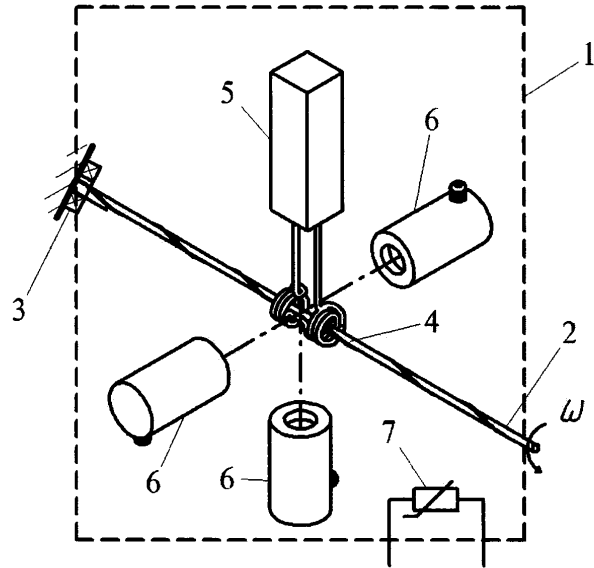
$$30 \quad \overline{P_0}(\tau) = \frac{\sum_1^n P_{0i}(\tau)}{n};$$

$n$  - количество измерителей в сечении, соответственно, с концентрацией  $C_0$  и  $C_1$ , при исходных температурах воздуха в установке  $t_{в}$  и температуре оболочки контролируемого  
 35 ТВэла  $t_{об}$ ;

$\overline{P_x}(t_{в,х}; t_{об,х})(\tau)$  - среднее значение параметра временной температурной зависимости в контрольном сечении ТВэла при температуре воздуха в установке  $t_{в,х}$  и температуре оболочки ТВэла  $t_{об,х}$  по  $n$  измерителям;

40  $\tau$  - текущее время.





Фиг. 1