

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046858**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.04.26**

(21) Номер заявки  
**202490190**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.12.08**

(51) Int. Cl. **G21C 17/017** (2006.01)  
**G01B 11/16** (2006.01)  
**G01B 11/245** (2006.01)

---



---

(54) **СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОГИБА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КАНАЛА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

---

(31) **2021128446**

(32) **2021.09.29**

(33) **RU**

(43) **2024.02.22**

(86) **PCT/RU2021/000549**

(87) **WO 2023/055251 2023.04.06**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"РОССИЙСКИЙ КОНЦЕРН  
ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ  
ЭНЕРГИИ НА АТОМНЫХ  
СТАНЦИЯХ" (АО "КОНЦЕРН  
РОСЭНЕРГОАТОМ");  
ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ "НАУКА  
И ИННОВАЦИИ" (ЧАСТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "НАУКА И  
ИННОВАЦИИ"); АКЦИОНЕРНОЕ  
ОБЩЕСТВО "ОРДЕНА ЛЕНИНА  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**И КОНСТРУКТОРСКИЙ  
ИНСТИТУТ ЭНЕРГОТЕХНИКИ  
ИМЕНИ Н.А. ДОЛЛЕЖАЛЯ";  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"ПРОЛОГ" (RU)**

(72) Изобретатель:  
**Федоров Артем Николаевич,  
Подосинников Александр  
Александрович, Степанов Максим  
Алексеевич (RU)**

(74) Представитель:  
**Снегов К.Г. (RU)**

(56) **RU-C1-2626301  
RU-C2-2246144  
RU-C2-2361173  
RU-C1-2738751  
RU-C1-2726038  
US-A-5594819  
EP-A1-3542372  
KR-B1-101896850  
FR-B1-3045833**

(57) Способ измерения прогиба технологических каналов ядерных реакторов. В способе волоконно-оптический датчик снабжают гравитационным маятником, подвешенным с возможностью отклонения на нижнем конце волоконно-оптического датчика, перемещают гибкую полую несущую штангу с волоконно-оптическим датчиком вдоль центральной трубки тепловыделяющей сборки и с помощью фотоприемника и компьютера фиксируют сдвиг интерференционной картины отраженного светового сигнала в газовом зазоре между верхней торцевой поверхностью гравитационного маятника и нижней торцевой поверхностью, соединенных с фотоприемником и закрепленных на датчике волоконно-оптических линий, изменяющемся при перемещении волоконно-оптического датчика за счет отклонения гравитационного маятника от оси искривленной центральной трубки тепловыделяющей сборки. На основании зафиксированных сдвигов интерференционной картины отраженного светового сигнала регистрируют профилограммы изменений газового зазора для каждой волоконно-оптической линии каждого волоконно-оптического датчика, а на основании полученных профилограмм газового зазора рассчитывают величину и направление прогиба центральной трубки тепловыделяющей сборки от вертикальной оси, по которым судят о наличии и величине прогиба технологического канала ядерного реактора.

**B1****046858****046858****B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к измерительной технике и может быть использована при реализации способа измерения прогиба протяженных вертикально направленных каналов, и, в частности, для измерения прогиба технологических каналов ядерных реакторов, в том числе ядерного реактора типа РБМК (реактор большой мощности канальный).

### **Сведения о предшествующем уровне техники**

Наиболее близким техническим решением к заявляемому способу является способ измерения прогиба технологического канала ядерного реактора, включающий размещение в центральной трубке тепловыделяющей сборки несущего элемента как минимум с одним волоконно-оптическим датчиком, подачу светового сигнала по волоконно-оптическим линиям датчика и регистрацию прогиба центральной трубки тепловыделяющей сборки в виде профилограмм путем анализа отраженных световых сигналов (патент RU 2626301, дата публикации 25.07.2017, МПК G01B 5/20).

В известном способе используют волоконно-оптические датчики деформации, представляющие собой решетки Брэгга, внедренные на нескольких уровнях в структуру радиационно-стойкого кварцевого оптического волокна. Для создания светового сигнала используют лазерное излучение длиной волны от 800 до 1600 нм ( $800 \cdot 10^{-9}$  м до  $1600 \cdot 10^{-9}$  м), а в качестве несущего элемента применяют гибкий полый стержень, внутри которого размещены волоконно-оптические датчики деформации. При прогибе технологического канала происходит прогиб центральной трубки тепловыделяющей сборки, а, следовательно, и прогиб расположенного в центральной трубке гибкого стержня с волоконно-оптическими датчиками, при этом на волоконно-оптические датчики деформации действуют усилия растяжения или сжатия. При прохождении по волоконно-оптическим линиям датчиков деформации светового сигнала, инициированного узкополосным перестраиваемым лазером, длина волны, отраженной решеткой Брэгга, меняется. Это изменение регистрируется фотоприемником и анализируется при помощи программных средств, установленных на компьютере.

Недостатком известного способа измерения прогиба технологического канала ядерного реактора является сложная и трудоемкая технология изготовления волоконно-оптического датчика деформации, связанная с технически сложным выполнением в радиационно-стойком кварцевом оптическом волокне микроскопических точек с измененным показателем преломления, образующих решетку Брэгга.

### **Сущность изобретения**

Задачей, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является создание способа измерения прогиба технологического канала тепловыделяющей сборки ядерного реактора, позволяющего исключить применение радиационно-стойкого кварцевого оптического волокна с микроскопическими точками с измененным показателем преломления, образующими решетку Брэгга, изготовление которого включает в себя сложную и трудоемкую технологическую операцию получения указанных микроскопических точек при одновременном сохранении возможности получения достоверной информации об изменении геометрических параметров технологического канала тепловыделяющей сборки ядерного реактора в процессе его эксплуатации.

Техническим результатом настоящего изобретения является упрощение проведения измерений прогиба технологического канала ядерного реактора при одновременном сохранении точности измерения.

Указанный технический результат в заявляемом способе измерения прогиба технологического канала ядерного реактора, включающем размещение внутри центральной трубки тепловыделяющей сборки закреплённого на конце гибкой полый несущей штанги, по крайней мере, одного волоконно-оптического датчика, подачу светового сигнала по подключённым к датчику волоконно-оптическим линиям, регистрацию отраженных световых сигналов с помощью соединённого с волоконно-оптическими линиями фотоприёмника и определение прогиба технологического канала ядерного реактора на основе анализа параметров светового сигнала с помощью подключённого к фотоприёмнику компьютера, достигается тем, что волоконно-оптический датчик снабжают гравитационным маятником, подвешенным с возможностью отклонения на нижнем конце волоконно-оптического датчика, перемещают гибкую полую несущую штангу с волоконно-оптическим датчиком вдоль центральной трубки тепловыделяющей сборки и с помощью фотоприёмника и компьютера фиксируют сдвиг интерференционной картины отражённого светового сигнала в газовом зазоре между верхней торцевой поверхностью гравитационного маятника и нижней торцевой поверхностью соединённых с фотоприёмником и закреплённых на датчике волоконно-оптических линий, изменяющемся при перемещении волоконно-оптического датчика за счёт отклонения гравитационного маятника от оси искривлённой центральной трубки тепловыделяющей сборки, на основании зафиксированных сдвигов интерференционной картины отражённого светового сигнала регистрируют профилограммы изменений газового зазора для каждой волоконно-оптической линии каждого волоконно-оптического датчика, а на основании полученных профилограмм газового зазора рассчитывают величину и направление прогиба центральной трубки тепловыделяющей сборки от вертикальной оси, по которым судят о наличии и величине прогиба технологического канала ядерного реактора.

### **Перечень фигур, чертежей и иных материалов**

Сущность настоящего изобретения поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлена общая схема устройства для осуществления способа измерения прогиба тех-

нологического канала ядерного реактора,

на фиг. 2 изображен общий вид волоконно-оптического датчика для проведения измерений,

на фиг. 3 представлена схема расположения волоконно-оптического датчика в прямой центральной трубке тепловыделяющей сборки для осуществления способа измерения прогиба технологического канала ядерного реактора,

на фиг. 4 показана схема расположения волоконно-оптического датчика в центральной трубке тепловыделяющей сборки с прогибом.

#### **Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения**

Способ измерения прогиба технологического канала ядерного реактора осуществляется следующим образом.

Внутри центральной трубки тепловыделяющей сборки размещают гибкую полую несущую штангу, на конце которой закреплён, по крайней мере, один волоконно-оптический датчик. Световой сигнал подают по подключённым к датчику волоконно-оптическим линиям, регистрируют отраженный световой сигнал с помощью соединённого с волоконно-оптическими линиями фотоприёмником. На основе анализа параметров светового сигнала определяют прогиб технологического канала ядерного реактора с помощью подключённого к фотоприёмнику компьютера. Волоконно-оптический датчик снабжают гравитационным маятником, подвешенным с возможностью отклонения на нижнем конце волоконно-оптического датчика, перемещают гибкую полую несущую штангу с волоконно-оптическим датчиком вдоль центральной трубки тепловыделяющей сборки и с помощью фотоприёмника и компьютера фиксируют сдвиг интерференционной картины отражённого светового сигнала в газовом зазоре между верхней торцевой поверхностью гравитационного маятника и нижней торцевой поверхностью соединённых с фотоприёмником и закреплённых на датчике волоконно-оптических линий, изменяющемся при перемещении волоконно-оптического датчика за счёт отклонения гравитационного маятника от оси искривлённой центральной трубки тепловыделяющей сборки. На основании зафиксированных сдвигов интерференционной картины отражённого светового сигнала регистрируют профилограммы изменений газового зазора для каждой волоконно-оптической линии каждого волоконно-оптического датчика, а на основании полученных профилограмм газового зазора рассчитывают величину и направление прогиба центральной трубки тепловыделяющей сборки от вертикальной оси, по которым судят о наличии и величине прогиба технологического канала ядерного реактора.

Предлагаемое изобретение поясняется примером конкретного выполнения, описанными ниже. Приведенный пример не является единственно возможными, но наглядно демонстрирует возможность достижения данной совокупностью существенных признаков заявленного технического результата.

Пример.

Гибкую полую несущую штангу 1 с закреплённым на ее конце как минимум одним волоконно-оптическим датчиком 2 устанавливают в центральной трубке 3 тепловыделяющей сборки. Затем подключают волоконно-оптический датчик 2 к перенастраиваемому лазеру 4 и фотоприёмнику 5, которые, в свою очередь, подключают через блок 6 первичной обработки информации к компьютеру 7. Корпус волоконно-оптического датчика 2 жестко соединен посредством втулки 8 с гибкой полый несущей штангой 1. Трубка 9 и крышка 10 корпуса волоконно-оптического датчика 2 обеспечивают герметичность полости волоконно-оптического датчика 2, которая заполнена инертным газом. После установки гибкой полый несущей штанги 1 в исходное положение - гибкая полый несущая штанга 1 полностью опущена в центральную трубку 3 тепловыделяющей сборки - начинают подъем гибкой полый несущей штанги 1. Измерение прогиба проводят при перемещении гибкой полый несущей штанги 1 в центральной трубке 3 тепловыделяющей сборки, при этом на волоконно-оптический датчик 2 по волоконно-оптическим линиям 11 подают световой сигнал от перестраиваемого лазера 4, а отраженный волоконно-оптическим датчиком 2 сигнал принимают фотоприёмником 5.

При наличии прогиба технологического канала и, соответственно, прогиба центральной трубки 3 тепловыделяющей сборки, гравитационный маятник 12 волоконно-оптического датчика 2 за счет гибкого элемента 13 отклоняется на угол, пропорциональный углу отклонения волоконно-оптического датчика 2 от вектора силы тяжести.

То есть при подъеме гибкой полый несущей штанги 1 происходит отклонение волоконно-оптического датчика 2 относительно поля силы тяжести и, как следствие, отклонение гравитационного маятника 12 на угол  $\alpha$  (фиг. 4) относительно центральной оси волоконно-оптического датчика 2. В результате происходит изменение геометрических параметров газового зазора 14, а именно происходит изменение расстояний между отражающей поверхностью гравитационного маятника 12 и торцами волоконно-оптических линий 11 (величина зазора  $X_1^1 \neq X_2^1$  на фиг. 4), что вызывает сдвиг интерференционной картины, который регистрируют посредством фотоприёмника 5 и анализируют при помощи специализированных программных средств, установленных на компьютере 7. В результате измерений для каждой волоконно-оптической линии 11 регистрируют профилограммы газового зазора 14. На основании полученных профилограмм газового зазора 14 рассчитывают профилограммы величины и направления отклонения центральной трубки 3 тепловыделяющей сборки от вертикальной оси, а затем рассчитывают

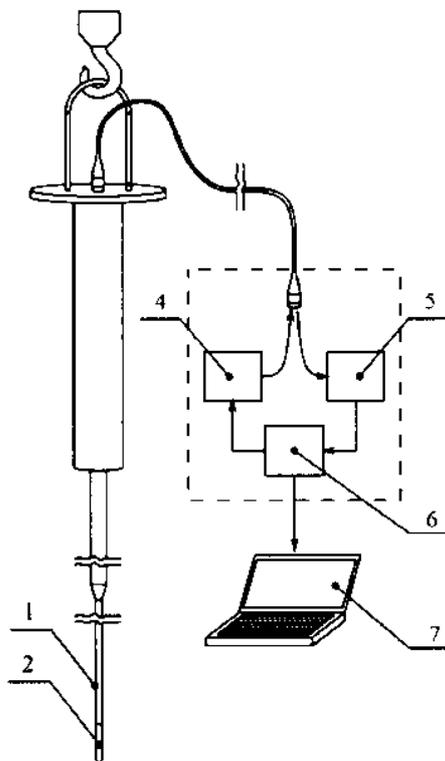
величины и направления прогиба технологического канала, в котором размещена тепловыделяющая сборка.

Предлагаемый способ может быть использован при измерении прогиба технологических каналов ядерных реакторов, в том числе ядерного реактора типа РБМК (реактор большой мощности канальный).

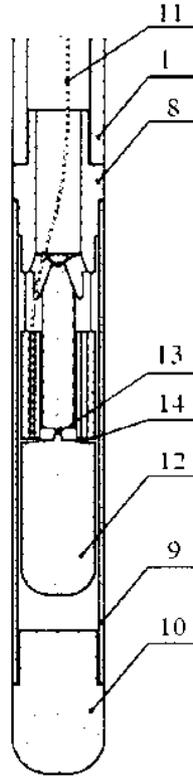
Использование предлагаемого способа позволяет с необходимой точностью определить прогиб центральной трубки тепловыделяющей сборки и на его основании рассчитать прогиб технологического канала ядерного реактора типа РБМК (реактор большой мощности канальный).

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

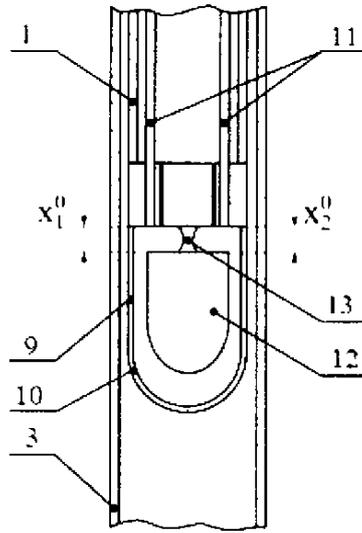
Способ измерения прогиба технологического канала ядерного реактора, включающий размещение внутри центральной трубки тепловыделяющей сборки закреплённого на конце гибкой полый несущей штанги, по крайней мере, одного волоконно-оптического датчика, подачу светового сигнала по подключённым к датчику волоконно-оптическим линиям, регистрацию отраженных световых сигналов с помощью соединённого с волоконно-оптическими линиями фотоприёмника и определение прогиба технологического канала ядерного реактора на основе анализа параметров светового сигнала с помощью подключённого к фотоприёмнику компьютера, отличающийся тем, что волоконно-оптический датчик снабжают гравитационным маятником, подвешенным с возможностью отклонения на нижнем конце волоконно-оптического датчика, перемещают гибкую полую несущую штангу с волоконно-оптическим датчиком вдоль центральной трубки тепловыделяющей сборки и с помощью фотоприёмника и компьютера фиксируют сдвиг интерференционной картины отражённого светового сигнала в газовом зазоре между верхней торцевой поверхностью гравитационного маятника и нижней торцевой поверхностью соединённых с фотоприёмником и закреплённых на датчике волоконно-оптических линий, изменяющемся при перемещении волоконно-оптического датчика за счёт отклонения гравитационного маятника от оси искривлённой центральной трубки тепловыделяющей сборки, на основании зафиксированных сдвигов интерференционной картины отражённого светового сигнала регистрируют профилограммы изменений газового зазора для каждой волоконно-оптической линии каждого волоконно-оптического датчика, а на основании полученных профилограмм газового зазора рассчитывают величину и направление прогиба центральной трубки тепловыделяющей сборки от вертикальной оси, по которым судят о наличии и величине прогиба технологического канала ядерного реактора.



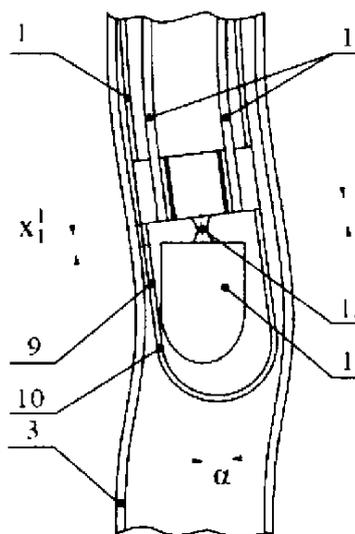
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

