

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 9712

(13) С1

(46) 2007.08.30

(51) МПК (2006)

G 01N 25/72

G 01N 25/18

## (54) СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

(21) Номер заявки: а 20050225

(22) 2005.03.10

(43) 2006.11.30

(71) Заявители: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(72) Авторы: Сычик Василий Андреевич; Сычик Андрей Васильевич; Шамкалович Владимир Иванович; Кащев Владимир Петрович (ВУ)

(73) Патентообладатели: Белорусский национальный технический университет; Сычик Василий Андреевич (ВУ)

(56) RU 2243519 C2, 2004.

RU 2083973 C1, 1997.

SU 1627955 A1, 1991.

SU 565239, 1977.

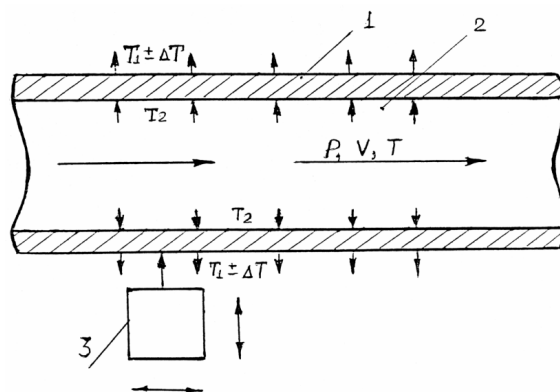
JP 2057953 A, 1990.

JP 2001050921 A, 2001.

JP 2003083923 A, 2003.

(57)

Способ диагностики целостности трубопроводов ядерного реактора, включающий изменение температуры теплоносителя, измерение теплового поля поверхности трубопровода и определение наличия дефектов, **отличающийся** тем, что температуру теплоносителя изменяют циклически в заданном временном интервале путем изменения мощности реактора на 0,1-5 %; тепловое поле, по которому определяют скорость изменения температуры и конечное ее значение на поверхности трубопровода, измеряют во времени, а наличие дефектов определяют путем диагностирования участков с локальным изменением температуры.



Изобретение относится к средствам неразрушающего контроля и может быть использовано в системах профилактического анализа целостности трубопроводов, например реакторов, и прогнозирования появления в них дефектов.

Известен способ диагностики целостности трубопроводов [1], контроль состояния с помощью которого осуществляется путем установки излучателя электромагнитных сигнала-

ВУ 9712 С1 2007.08.30

лов вблизи трубопровода с одной стороны диагностируемой трубопровода, а чувствительного к излучению приемника - по другую сторону трубопровода. Интенсивность поступающих в приемник сигналов является величиной, характеризующей качество контролируемого трубопровода в процессе перемещения вдоль его излучателя и приемника.

Данный способ обладает сложной системой обеспечения диагностики трубопроводов и возможностью появления ложных сигналов при наличии загрязнений на трубах.

Также известен способ диагностики целостности трубопроводов [2], в котором используется несколько рядов фотодетекторов, обеспечивающих контроль поверхности трубопроводов и дистанционное измерение температуры в определенных зонах этой поверхности. Данный способ обладает невысокой точностью диагностики и также сложной системой обеспечения диагностики трубопроводов.

Прототипом предлагаемого изобретения является способ диагностики целостности трубопроводов, например реакторов [3]. Способ-прототип включает следующие приемы: нагревают контролируемую область трубопровода токами высокой частоты при помощи индукционного нагревателя, сканируют тепловым измерительным прибором по исследуемой области и производят измерение температуры, по которой диагностируют наличие или отсутствие дефектов.

Недостатками прототипа являются:

1. Сложная система диагностирования трубопроводов, включающая громоздкие и сложные системы СВЧ-нагрева.

2. Невысокая точность диагностики целостности трубопроводов, обусловленная действием СВЧ полей на тепловой измерительный прибор, а также выявлением дефектов по сигналу, полученному при непрерывном измерении температуры.

3. Невысокая разрешающая способность, обусловленная действием СВЧ-полей на полупроводниковые чувствительные структуры теплоизмерительного прибора.

Техническим результатом изобретения является повышение точности диагностики целостности трубопроводов.

Поставленная задача достигается тем, что в способе диагностики целостности трубопроводов ядерного реактора, включающем изменение температуры теплоносителя, измерение теплового поля поверхности трубопровода и определение наличия дефектов, температуру теплоносителя изменяют циклически в заданном временном интервале путем изменения мощности реактора на 0,1-5 %; тепловое поле, по которому определяют скорость изменения температуры и конечное ее значение на поверхности трубопровода, измеряют во времени, а наличие дефектов определяют путем диагностирования участков с локальным изменением температуры.

Вследствие того, что в предложенном способе диагностики целостности трубопроводов реакторов вводят операции изменения мощности реактора на 0,1-5 %, измерения теплового поля на поверхности трубопровода, а целостность трубопровода оценивают по локальным изменениям температуры во времени, достигается поставленная задача - существенно повышается точность измерения. Погрешность диагностирования целостности трубопроводов реакторов снижается более чем в три раза, с  $\Delta = 20\%$  до  $\Delta \leq 6\%$ .

В известных технических решениях признаков, сходных с заявляемым, не обнаружено. Следовательно, предложенное техническое решение - способ диагностики целостности трубопроводов реакторов - обладает существенными отличиями.

На чертеже представлена структурная схема способа диагностики целостности трубопроводов реактора.

Диагностику целостности трубопроводов реактора посредством предложенного способа осуществляют следующим образом.

Протекающая по трубопроводу 1 реактора вода 2 является теплоносителем, получает от тепловыделяемых элементов количество теплоты

$$Q_p = \bar{\alpha} \Delta T_p S, \quad (1)$$

# ВУ 9712 С1 2007.08.30

где  $\bar{\alpha}$  - средний по активной зоне коэффициент теплоотдачи,  $В(м^2 \cdot К)$ ;  $\Delta T_p$  - средний температурный напор между поверхностью тепловыделяющего элемента и теплоносителем,  $К$ ;  $S$  - площадь поверхности тепловыделяющихся элементов,  $м^2$ .

Подогретая тепловыделяющими элементами вода, протекая по трубопроводу 1, нагревает его. При этом процесс нагрева с учетом преобладающего кондуктивного теплообмена между теплой водой и трубопроводом реализуется в соответствии с зависимостью:

$$P = \frac{T_2 - T_1}{R_T}, \quad (2)$$

где  $P$  - тепловой поток, поступающий в трубопровод от подогретой воды;  $T_1, T_2$  - температура холодной и горячей поверхностей стенок трубопровода соответственно;  $R_T$  - тепловое сопротивление.

Изменение температуры трубопровода реакторов во времени подчиняется зависимости:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \nabla^2 T, \quad (3)$$

где  $T$  - температура трубопровода;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности;  $c$  - удельная теплоемкость тела;  $\gamma$  - плотность тела, значение которой зависит от однородности ее структуры.

Как следует из (3), для участков трубопровода с различной однородностью его структуры, обусловленной отсутствием и наличием дефектов (трещин, микропор, дислокаций и т.д.) при циклическом изменении температуры теплоносителя скорость изменения температуры и ее конечное значение для участков трубопровода 1 реакторов с однородной, бездефектной и неоднородной, дефектной структурой будет различной, более высокой для бездефектных участков трубопровода 1 и более низкой для его дефектных участков.

Путем изменения мощности реактора ( $P = 1$  МВт) в допустимом диапазоне  $0,1 \div 5$  % (ее уменьшения) в заданном временном интервале обеспечивается снижение температуры теплоносителя (воды 2) в среднем на  $1 \dots 24$  °С. Осуществляя измерение теплового поля поверхности трубопровода во времени в соответствии с выражением (3), с помощью устройства контроля тепловых полей 3, например тепловизора, которое перемещают вдоль трубопровода 1 реактора, выявляют участки трубопровода с локальным изменением температуры во времени, которые являются участками трубопровода 1 с дефектной структурой.

Конкретный пример исполнения способа диагностики целостности трубопроводов реакторов.

1. Тепловыделяемые элементы нагревают теплоноситель - воду 2, текущую под давлением  $60-65$  атм. в трубопроводе 1 первого контура ядерного реактора мощностью  $1$  МВт до температуры  $260-270$  °С, которая имеет указанное рабочее значение в процессе работы реактора.

2. Изменяют, то есть уменьшают в процессе диагностики целостности трубопровода 1 первого контура реактора мощность реактора на  $1$  %, в результате чего температуру воды 2 снижают до  $250-260$  °С.

3. Перемещают вдоль трубопровода устройство контроля тепловых полей 3, например тепловизор с разрешающей способностью по температуре (предельной чувствительностью)  $\frac{\Delta T}{\Delta t} \cong 0,1$  °С/сек.

4. Выявляют локальные участки, где скорость изменения температуры  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  и его конечное значение ниже. Определяют участки трубопровода 1 первого контура реактора, где однородность структуры трубопровода нарушается, то есть диагностируют целостность трубопровода реактора в процессе работы ядерного реактора.

# ВУ 9712 С1 2007.08.30

По указанной на чертеже структурной схеме реализации предложенного способа точность диагностирования целостности трубопроводов с применением в качестве устройств для контроля тепловых полей трубопроводов тепловизоров резко возрастает, достигая величины погрешности диагностирования  $\Delta = \pm 5 \%$ .

Существенно повышается разрешающая способность и точность выявления размеров участков трубопроводов с дефектной структурой.

Таким образом, вследствие того, что в предложенном способе диагностики целостности трубопроводов реакторов вводят операции изменения мощности реактора на  $0,1 \div 5 \%$ , измерения теплового поля на поверхности трубопровода, а целостность трубопроводов реакторов оценивают по локальным изменениям температуры во времени, достигается поставленная цель - более чем в три раза повышается точность диагностирования целостности трубопроводов реакторов.

Предлагаемый способ диагностики целостности трубопроводов реакторов в сравнении с базовым способом-прототипом и другими известными способами-аналогами обладает следующими преимуществами:

1. Существенно повышается разрешающая способность и точность выявления локальных участков трубопроводов реакторов с дефектной структурой.

2. Более чем в три раза (с  $\Delta \geq 20 \%$  до  $\Delta \leq 6 \%$ ) снижается погрешность диагностирования целостности трубопроводов реакторов.

Источники информации:

1. Заявка Франции 2374628, МПК G 01N 19/00, 1983.
2. Заявка ЕВП 0058452, МПК G 01N 25/78, 1992.
3. Патент США 480928, МПК G 01N 25/72, 1987.