



УКРАЇНА

(19) UA (11) 72129 (13) C2
(51) МПК (2006)
G21C 17/06
G21C 19/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ТЕПЛОВИДІЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА РЕАКТОРА З РІДКИМ ТЕПЛОНОСІЄМ

1

(21) 20031212123

(22) 23.12.2003

(24) 25.02.2008

(72) ЗАМКОВИЙ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, UA, ЗАМКОВОЙ ВЛАДІМІР ВЛАДІМІРОВІЧ, ЗАМКОВИЙ ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, ТАРАСЕНКО ОЛЕГ ОПАНАСОВИЧ, UA, БРЕХАРЯ ГРИГОРІЙ ПАВЛОВИЧ, UA, ДЖУР ЄВГЕН ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ТОРКУТ НАТАЛЯ МИКОЛАЇВНА, UA, ГОГУН НАТАЛЯ ІВАНІВНА, UA
(73) ЗАМКОВИЙ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, UA, ЗАМКОВОЙ ВЛАДІМІР ВЛАДІМІРОВІЧ, ЗАМКОВИЙ ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, ТАРАСЕНКО ОЛЕГ ОПАНАСОВИЧ, UA, БРЕХАРЯ ГРИГОРІЙ ПАВЛОВИЧ, UA, ДЖУР ЄВГЕН ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, ТОРКУТ НАТАЛЯ МИКОЛАЇВНА, UA, ГОГУН НАТАЛЯ ІВАНІВНА, UA

(56) SU, а.с. №1111609, G21C17/04, G21C17/06, публ. 10.11.2001.

SU, а.с. №1101044, G21C17/04, G21C17/06, публ. 10.11.2001.

RU, патент №2147148, G21C17/07, G01M3/04, публ. 27.03.2000.

RU, патент №2186429, G21C17/07, G21C19/10, публ. 27.07.2002.

(57) 1. Спосіб для перевантаження і контролю герметичності щонайменше одного твела реактора з рідким теплоносієм, що включає операцію переміщення твела в зовнішню секцію з встановленими в ній системами подачі (наприклад басейнами витримки ядерного палива зі штатними системами розоходжування) та виміру ізотопного складу теплоносія і визначення вмісту радіонуклідів, який відрізняється тим, що спочатку вимірюють ізотопний склад теплоносія, що циркулює по системах реактора та зовнішній

2

секції, потім, після зняття перемички, переміщують твели в зовнішню секцію з одночасним періодичним виміром параметрів теплоносія, циркулюючого по об'єднаній системі, і визначають момент часу, в який відзначена різка зміна параметрів квазістаціонарних процесів у теплоносії реактора і зовнішній секції одночасно, за яким визначають час переміщення негерметичного твела і, тим самим, визначають тепловидільну збірку, що вміщує негерметичний твел.

2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що одночасно контролюють збірку твелів.

3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що переміщення твелів проводять під водою.

4. Пристрій для перевантаження і контролю герметичності тепловидільного елемента (твела) реактора з рідким теплоносієм, що містить зовнішню секцію, всередині якої розміщена внутрішня секція, систему контролю радіонуклідів, який відрізняється тим, що реактор з'єднаний із зовнішньою секцією за допомогою знімної перегородки, у реакторі та зовнішній секції встановлені індивідуальні системи подачі теплоносія з можливістю їхнього об'єднання і системи контролю для виміру вмісту радіонуклідів у теплоносії реактора і зовнішній секції з наступною математичною обробкою результатів вимірів.

5. Пристрій за п. 4, який відрізняється тим, що система контролю вмісту радіонуклідів додатково містить блок обробки і відображення інформації, підключений до виходу вимірювального пристрою.

6. Пристрій за п. 4, який відрізняється тим, що він додатково містить середню секцію, розміщену між зовнішньою та внутрішньою секціями.

Винахід відноситься до атомної енергетики, а саме до систем контролю герметичності оболонок твелів, і може бути використаний при проведенні планово-попереджувальних ремонтів на ядерних

енергетичних установках (ЯВУ) з рідким теплоносієм.

Перелік основних скорочень:

ТВЗ - тепловиділяюча збірка

Твел - тепловиділяючий елемент

(13) C2

(11) 72129

(19) UA

КГО - контроль герметичності оболонок твєлів
ВВЕР - водоводяний енергетичний реактор
АЕС - атомна енергетична станція
СВДЗ - система виявлення дефектних збірок
СВО-спецводоочистка

Для контролю стану герметичності оболонок тепловидільних елементів на даний час застосовуються методи, розроблені одночасно з реакторами типів ВВЕР. Найбільш розповсюдженим є спосіб заснований на детектуванні ізотопів йоду 131-135 та цезію-134,137 (реперні продукти розподілу), що виходять з твєлів через нещільні оболонки в ізольований об'єм води при саморозігріві палива („водяний метод”). При цьому тепловидільні збірки (ТВЗ) транспортуються з реактора в спеціальні контейнери, розташовані в басейні витримки і заповнені розчином борної кислоти, де паливо розігрівається за рахунок залишкового енерговиділення, чи за допомогою нагрівачів. Після цього роблять добір проби розчину та вимірюють активність присутніх у пробі реперних продуктів ділення. Далі аналізуючи розподіл вмісту реперних ізотопів у пробах роблять висновок про стан герметичності оболонок твєлів.

Відомий спосіб має наступні недоліки.

Проведення контролю герметичності оболонки (КГО) однієї ТВЗ займає близько 2 годин, що спричиняє збільшення тривалості робіт на реакторній установці. Для проведення КГО однієї ТВЗ необхідно біля двох кубометрів води з концентрацією бору 16 г/л, тобто проведення КГО всього завантаження реактора (163 ТВЗ) спричиняє витрату $16 \times 2 \times 163 = 5216$ кг бору. Витрачаються інші матеріальні ресурси необхідні для забезпечення працездатності устаткування.

В зв'язку з великою кількістю параметрів, що впливають на якість проби, велике значення має людський фактор, тобто якість проведення пробопідготовки, якість проведення спектрометричних вимірів, якість підготовки устаткування перед проведенням операцій по визначенню герметичності оболонок твєлів, величина забруднення внутрішніх поверхонь пробовідборної частини реперними ізотопами в попередні кампанії та її облік при визначенні активності проб, якість дезактивації внутрішніх поверхонь пробовідборної частини і т. ін.

Наведений вище спосіб не дає абсолютного значення негерметичності твєлів ТВЗ, що перевіряються, а визначає тільки ТВЗ, що виходять за критерій „три сігми”, ступінь негерметичності яких невідома.

Відомий також сухий метод, при якому вимірюють активність ксенону та криптону (реперні для цього методу ізотопи) в пробах повітря, що відбираються з ємкості в яку поміщають ТВЗ. Цей метод відрізняється більшою чутливістю ніж водяний, проте для його застосування потрібен розігрів ТВЗ.

До недоліків наведених вище способів відносяться недостатня їх вірогідність та необхідність розігріву ТВЗ до необхідної температури у випадку визначення герметичності оболонок пізніше 7 місяців після зупинки реактора.

Відомий спосіб контролю герметичності оболонок твєлів при відправленні ТВЗ на сухе зберігання [п. РФ №2147148, МПК⁷ G21C17/07, G01M3/04, опубл. 27.03.00], що включає переміщення твєлів у контейнер з водою, витримку не менше доби та подальше повне спорожнювання. При цьому в процесі спорожнювання відбирають проби води з контейнера в кілька етапів: під час часткового спорожнювання та після витримки. Визначають в пробах води збільшення питомої активності радіонуклідів Cs-134 та Cs-137, потім, проводячи вакуумування контейнера, визначають у відкачуємому повітрі наявність радіоактивних шляхетних газів і, якщо величина збільшення питомої активності радіонуклідів у воді контейнера не перевищує встановленого критерію і відсутні шляхетні гази у відкачуємому повітрі; то оболонки визнають герметичними-

Найбільш близьким за технічною суттю та ефекту, що досягається, є пристрій для перевантаження і контролю герметичності тепловидільного елемента реактора з рідким теплоносієм [п.РФ №2186429, МПК⁷ G21C17/06, G21C19/10, опубл. 27.07.02], що містить зовнішню секцію, усередині якої розміщена внутрішня секція, систему контролю радіонуклідів. Пристрій додатково містить блок керування, систему подачі газу, що включає компресор, вихід якого з'єднаний з газового ємністю, вихід якої підключений до входу трубопровода, вихід якого підключений до входу форсунки, а система контролю вмісту радіонуклідів у газі включає трубопровід, вимірювальний пристрій та побудник витрати газу.

До недоліків наведених вище способів відносяться велике значення людського фактора в зв'язку з великим числом параметрів, що впливають на якість проби і крім того пристрій включає спеціальне технологічне устаткування, що вимагає значних матеріальних витрат на його розробку та виготовлення, а також обслуговування.

Також близьким по технічній суті й ефекту, що досягається, є спосіб перевантаження і контролю герметичності, щонайменше одного твєлу реактора з рідким теплоносієм [п. РФ № 2186429, МПК⁷ G21C17/06, Q21C19/10, опубл. 27.07.02], що включає операцію переміщення твєлів в додатковий пристрій, охарактеризований раніше, та визначення змісту радіонуклідів.

Відомому способу притаманні всі недоліки наведені для інших аналогічних способів.

Задачею, яка має бути вирішена в разі запровадження пропонованого пристрою та способу, є визначення герметичності оболонок твєлів безпосередньо в процесі їхнього перевантаження, що дозволить підвищити точність вимірів, знизити час їхнього проведення і спростити пристрій, при цьому заощаджуються матеріальні ресурси, здійснюється контроль виходу ізотопів за межі першого і другого бар'єрів безпеки і зменшується час простою блока в ремонті.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб для перевантаження і контролю

герметичності щонайменше одного твела реактора з рідким теплоносієм включає операцію переміщення твела в зовнішню секцію з встановленими в ній системами подачі (наприклад басейнами витримки ядерного палива зі штатними системами розохолодження) та виміру ізотопного складу теплоносія і визначення вмісту радіонуклідів. Відрізняється спосіб тим, що спочатку вимірюють ізотопний склад теплоносія, що циркулює по системах реактора та зовнішній секції, потім, після зняття перемички, переміщують твели в зовнішню секцію з одночасним періодичним виміром параметрів теплоносія, циркулюючого по об'єднаній системі, і визначають момент часу, в який відзначена різка зміна параметрів квазістаціонарних процесів у теплоносії реактора і зовнішній секції одночасно, за яким визначають час переміщення негерметичного твела і, тим самим, визначають тепловидільну збірку, що вміщує негерметичний твел.

Поставлена задача також вирішується тим, що пристрій для перевантаження і контролю герметичності тепловидільного елемента (твела) реактора з рідким теплоносієм містить зовнішню секцію, всередині якої розміщена внутрішня секція, систему контролю радіонуклідів. відрізняється пристрій тим, що реактор з'єднаний із зовнішньою секцією за допомогою знімної перегородки, у реакторі та зовнішній секції встановлені індивідуальні системи подачі теплоносія з можливістю їхнього об'єднання і системи контролю для виміру вмісту радіонуклідів у теплоносії реактора і зовнішній секції з наступною математичною обробкою результатів вимірів.

Система контролю вмісту радіонуклідів додатково містить блок обробки та відображення інформації, підключений до виходу вимірювального пристрою. Пристрій додатково містить середню секцію, розміщену між зовнішньою та внутрішньою секціями.

Переміщення твелів проводять підводою. За рахунок з'єднання реактора з зовнішньою секцією за допомогою з'ємної перегородки заявляється можливість спростити пристрій для перевантаження і контролю герметичності тепловидільного елемента реактора з рідким теплоносієм і поєднати дві операції технологічного процесу, а встановлення в реакторі і в зовнішній секції індивідуальних систем подачі теплоносія з можливістю їхнього об'єднання дозволить спростити систему контролю, контролювати зміну концентрації радіонуклідів у теплоносії реактора і зовнішній секції до і після їхнього об'єднання, здійснювати контроль усіх процесів та підвищити точність вимірів.

Індивідуальні системи подачі дозволяють контролювати параметри теплоносія (ізотопний склад, витрата і т.ін.), що циркулює по системах реактора та додаткового пристрою. За рахунок періодичних вимірів параметрів теплоносія, циркулюючого по об'єднаній системі можливо точно визначити ТВЗ з негерметичними твелами в процесі перевантаження. Крім того можливо оцінити стан першого та другого захисних бар'єрів

у цілому та контролювати вихід ізотопів за межі першого та другого захисних бар'єрів за час ППР.

Зняття перемички дозволяє переміщати ТВЗ в додатковий пристрій завдяки чому відбувається скорочення часу на перевантаження, зменшується витрата розчину борної кислоти, при цьому підвищується безпека експлуатації та ступінь визначення негерметичності твелів.

На фіг.1 схематично зображений пристрій для реалізації пропонованого способу.

Пристрій для перевантаження та контролю герметичності тепловидільного елемента реактора з рідким теплоносієм містить у собі наступні елементи:

Розщільнена реакторна установка (РУ) (1), у стадії готовності до перевантаження палива, з розміщеними у ній тепловидільними збірками (ТВЗ) (2), заповнена певною кількістю теплоносія (3). Циркуляція теплоносія через реактор (1) здійснюється за допомогою системи розохолодження (4). Параметри теплоносія (витрата, обсяг, температура, хім. склад і т. ін) контролюються штатними вимірювальними пристроями. Басейн витримки (БВ) (5), розділений на відсіки перегородками (6), заповнений певною кількістю теплоносія (7), циркуляція якого через басейн здійснюється за допомогою штатної системи розохолодження (8). Параметри теплоносія (витрата, обсяг, температура, хім. склад контролюються штатними, вимірювальними пристроями, Реактор та басейн витримки розділені перемичкою (9).

Системи розохолодження, призначені для відводу тепла від ТВЗ, здійснюють циркуляцію теплоносія через БВ і РУ та дозволяють змінювати схеми розохолодження. За допомогою системи (4) можливо розохолоджувати РУ за схемою знизу нагору, згори донизу, по одній петлі, по всіх чотирьох петлях, змінювати витрату теплоносія, здійснювати продувку, підживлення теплоносія. За допомогою системи (8) можливо розохолоджувати БВ через кожен відсік автономно, одночасно через три відсіки, змінювати витрату теплоносія, здійснювати продувку, підживлення теплоносія.

Запропонований спосіб може бути реалізований, наприклад, на реакторі типу ВВЕР-1000, за допомогою пристрою таким чином:

В активній зоні реактора ВВЕР-1000 знаходиться 163 тепловидільних збірки (ТВЗ). Кожна ТВЗ складається з 312 твелів, в кожному з яких знаходиться близько 1,5 кг диоксиду урану у вигляді пігулок, укладених у герметично запаяну цирконієву оболонку. При роботі реактора на потужності у пігулках відбувається ланцюгова реакція ділення. Продукти ділення накопичуються у матеріалі пігулок, та під оболонками твелів. На момент зупинки реактора на перевантаження під оболонками твелів знаходяться продукти розподілу напрацьовані за кампанію. При нормальній роботі реактора витікання продуктів ділення з-під оболонок твелів у теплоносії першого контуру не відбувається. При порушенні цілісності цирконієвої оболонки (другий бар'єр безпеки, ступінь герметичності якого є одним з параметрів, регламентованими правилами

ядерної безпеки) відбувається витікання продуктів ділення та розпаду в теплоносії першого контуру. На працюючому реакторі витікання конкретних ізотопів не має стаціонарного характеру і залежить від часу роботи реактора, його потужності, ефективності роботи фільтрів СВО, витрати теплоносія на очищення, продувку, підживлення і т.ін. При зупинці реактора на перевантаження витік конкретних ізотопів має квазістаціонарний характер і визначається в основному розмірами дефектів, кількістю напрацьованих продуктів ділення та розпаду за кампанію, залишковим тепловиділенням палива та фізико-хімічними властивостями конкретних ізотопів (період напіврозпаду, летючість, здатність вступати в хімічні сполуки і т.ін.).

На момент зупинки реактора на перевантаження під оболонками твєлів знаходяться більш ніж 500 ізотопів, що є продуктами ділення та радіоактивного розпаду. Кожний з цих ізотопів має конкретні фізико-хімічні властивості (так наприклад період напіврозпаду ізотопів знаходиться в межах від 0,76 с (Rb-99) до $9,3 \cdot 10^5$ років (Cd-113)). Найбільш рухливими з них, вміст яких у теплоносії першого контуру можна вимірювати гамма-спектрометричними методами, є-ізотопи йоду, ксенону, цезію, церію, барію, ніобію, цирконію, стронцію і т.ін. Після зупинки реактора на перевантаження і розушлінення першого контуру досліджується система являє собою дві автономні підсистеми, розділених перемичкою:

А) Реактор (1) з розміщеними в ньому 163 ТВЗ (2) серед яких може знаходитися ТВЗ з негерметичними твєлами. Циркуляція теплоносія через реактор здійснюється за допомогою системи (4).

Б) Басейн витримки (5) з розміщеними в ньому ТВЗ (10), вивантаженими з реактора (1) у попередні кампанії. Циркуляція теплоносія через басейн здійснюється за допомогою системи (8).

Ізотопний склад теплоносія істотно відрізняється в зазначених підсистемах.

В підсистемі А) він визначається надходженням продуктів ділення та розпаду з негерметичних твєлів, ефективністю роботи фільтрів і забрудненням активної зони реактора у попередні кампанії.

В підсистемі Б) - забрудненням у попередні кампанії та надходженням довгоживучих ізотопів з негерметичних твєлів ТВЗ вивантажених у БВ (5) у попередні кампанії.

Перевантаження палива відбувається під водою (при заповнених реакторі і басейні витримки). Після зняття перемички (9) підсистеми А) і Б) з'єднуються в одну систему. В об'єднаній системі відбувається вирівнювання ізотопного складу теплоносія за рахунок процесів масообміну та процесів дифузії. При стаціонарних процесах (об'єднана система працює в стаціонарному режимі – витрата теплоносія та схеми розхолодження незмінні) розподіл ізотопів по всьому обсягу системи повинен мати квазістаціонарний характер і визначатися надходженням у систему ізотопів з негерметичних

твєлів, виведенням їх з системи за рахунок очищення, підживлення, продувки, випару через відкриті поверхні БВ, РУ, процесів сорбції-десорбції на внутрішніх поверхнях трубопроводів та фізико-хімічними властивостями ізотопів.

На підставі викладеного вважається доцільним запропонувати спосіб КГО, сутність якого полягає в переміщенні ТВЗ із реактора в басейн витримки та одночасного з переміщенням контролю параметрів теплоносія циркулюючого по системах А) і Б) з наступною математичною обробкою результатів вимірів.

Покрокова послідовність операцій пропонованого способу може бути наступною:

Перед зупинкою блока на перевантаження по відомих методиках оцінюється стан оболонок твєлів. При наявності в активній зоні реакторної установки ТВЗ, що містять негерметичні твєли, виконуються наступні операції:

До зняття перемички між реактором та басейном витримки вимірюється ізотопний склад теплоносія, що циркулює по системах (4) і (6).

Після зняття перемички між РУ та БВ виконується періодичний вимір параметрів теплоносія, що циркулює по системах (4) та (8).

Аналізуються результати вимірів параметрів теплоносія. За даними аналізу параметрів визначаються концентрації реперних ізотопів (продукти ділення та радіоактивного розпаду характерні для опроміненого ядерного палива, що знаходяться під оболонками твєлів) та динамічні характеристики процесу зміни вмісту продуктів ділення та розпаду в РУ та БВ.

Переміщуються ТВЗ, що перевіряються, із реактора в БВ.

При переміщенні ТВЗ, що містять негерметичні твєли з реактора в БВ змінюється швидкість надходження продуктів ділення та радіоактивного розпаду в обсяги реактора і БВ (в РУ - зменшується, в БВ - збільшується), що спричиняє зміну параметрів квазістаціонарних процесів, що відбуваються в РУ та БВ (швидкість зміни параметрів істотно змінюється, причому одночасно в РУ та БВ).

Визначається момент часу а який відзначена різка зміна параметрів квазістаціонарних процесів у РУ та БВ одночасно. Така різка зміна параметрів буде вказувати на те, що в даний момент часу відбувалась операція по переміщенню ТВЗ з негерметичними твєлами і тим самим буде визначена сама ТВЗ.

За результатами обробки результатів вимірів оцінюється стан захисних бар'єрів у цілому та кількість радіоактивних ізотопів, що вийшли за межі оболонок твєлів.

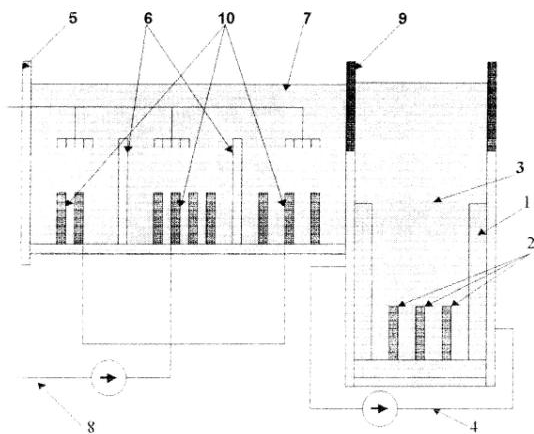
При обробці результатів вимірів використовується наступний математичний апарат: при визначенні активності ізотопів застосовуються стандартні методи теорії ймовірностей та математичної статистики, що використовуються в спектрометрії, при аналізі параметрів квазістаціонарних процесів та визначенні ТВС, що містять негерметичні твєли, застосовуються методи регресійного аналізу та методи теорії багатофакторного експерименту.

У порівнянні з відомими методами пропонований дозволяє визначити негерметичні твели безпосередньо в процесі перевантаження, при цьому:

- значно скорочується час перевантаження ТВЗ (при повному контролі всіх 163 ТВЗ реактора ВВЕР-1000 - біля 2-х тижнів), що значно скорочує терміни перевантаження і впливає на зменшення часу простою блока в ремонті;
- заощаджуються матеріальні ресурси, необхідні для забезпечення працездатності СВДЗ (бор, дистилат, інші ресурси необхідні для установок СВО);
- створюються передумови для безпосереднього визначення ступеня негерметичності твелів та відповідності її встановленим межах безпеки експлуатації, а також дня уточнення самих меж;
- створюються передумови для доробки програм, що визначають кількість негерметичних твелів на працюючому реакторі;
- визначається не тільки негерметична ТВЗ, так само оцінюється стан першого та другого захисних бар'єрів в цілому під час перентаження палива та контролюється вихід ізотопів за межі першого та другого бар'єрів безпеки під час ПНР;
- при застосуванні пропонованого методу одночасно з застосовуванням на даний час, можливо суттєво скоротити обсяг ТВЗ, що перевіряються.

Запропонований пристрій та спосіб дозволяють точно визначити наявність та кількість ТВЗ з дефектними гаслами, що мають нещільність оболонок з прямим контактом теплоносія з паливом при об'єднанні двох операцій - при перевантаженні палива одночасно робити контроль твелів.

Таким чином запропоновані пристрій і спосіб в порівнянні з існуючими дозволяють підвищити безпеку АЕС та реакторних установок завдяки безупинному контролю над кількістю дефектів оболонок твелів та їх розвитком під час перевантаження активної зони реактора, по яких оцінюється можливість роботи реактора на номінальній потужності без небезпеки для персоналу та населення.



Фіг.