



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102716** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G21C 3/00
G21C 1/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2011 09224	(72) Винахідник(и):	Башкірцев Сергій Михайлович (RU), Кузнєцов Валентін Фьодоровіч (RU), Кєвролев Валерій Владімірович (RU), Морозов Алексєй Глєбовіч (RU)
(22) Дата подання заявки:	25.12.2008	(73) Власник(и):	ТОРІУМ ПАУЕР ІНК., 1600 Tysons Blvd., Suite 550, McLean, VA 22102, United States of America (US)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	12.08.2013	(74) Представник:	Слободянюк Тарас Олександрович, реєстр. №217
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.08.2011, Бюл.№ 16	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 27726 C2; 16.10.2000; UA 47001 A; 17.06.2002; UA 56368 C2; 15.05.2003; RU 2170956 C1; 20.07.2001; RU 2176826 C2; 10.12.2001; RU 2222837 C2; 27.01.2004; GB 920343 A; 06.03.2963;
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	12.08.2013, Бюл.№ 15		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/RU2008/000801, 25.12.2008		

(54) ПАЛИВНА ЗБІРКА ЛЕГКОВОДНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (ВАРІАНТИ), ЛЕГКОВОДНИЙ ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР ТА ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ ПАЛИВНОЇ ЗБІРКИ

(57) Реферат:

Винахід стосується конструкції легководних ядерних реакторів, у яких як паливо застосовують торій, зокрема конструкцій безчохлових тепловіділяючих збірок у формі квадрата, з яких сформовані активні зони водо-водяних енергетичних реакторів, відомих як реактори типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і таке інше). Паливна збірка (1) легководного ядерного реактора має в плані квадратну форму і містить запальний модуль (2), відтворюючий модуль (3), що оточує вищезазначений запальний модуль, головку (4), хвостовик (5) запального модулю та хвостовик (6) відтворюючого модуля. Пучок паливних елементів запального модуля (2) розташований по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки та має чотирипелюстковий профіль, який утворює по довжині паливного елемента гвинтові дистанціюючі ребра. Відтворюючий модуль (3) містить каркас, у якому розташований пучок паливних елементів, виконаних з торію з доданням збагаченого урану. Паливні елементи відтворюючого модуля розташовані по двох рядах та стовпчиках квадратної координатної сітки. В іншому варіанті втілення винаходу паливна збірка легководного реактора має аналогічну конструкцію, при цьому паливні елементи відтворюючого модуля розташовані по трьох рядах та стовпчиках квадратної координатної сітки. Винахід стосується також паливних елементів, використовуваних в паливних збірках та легководних ядерних реакторів типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і таке інше), у яких використовуються паливні збірки.

UA 102716 C2

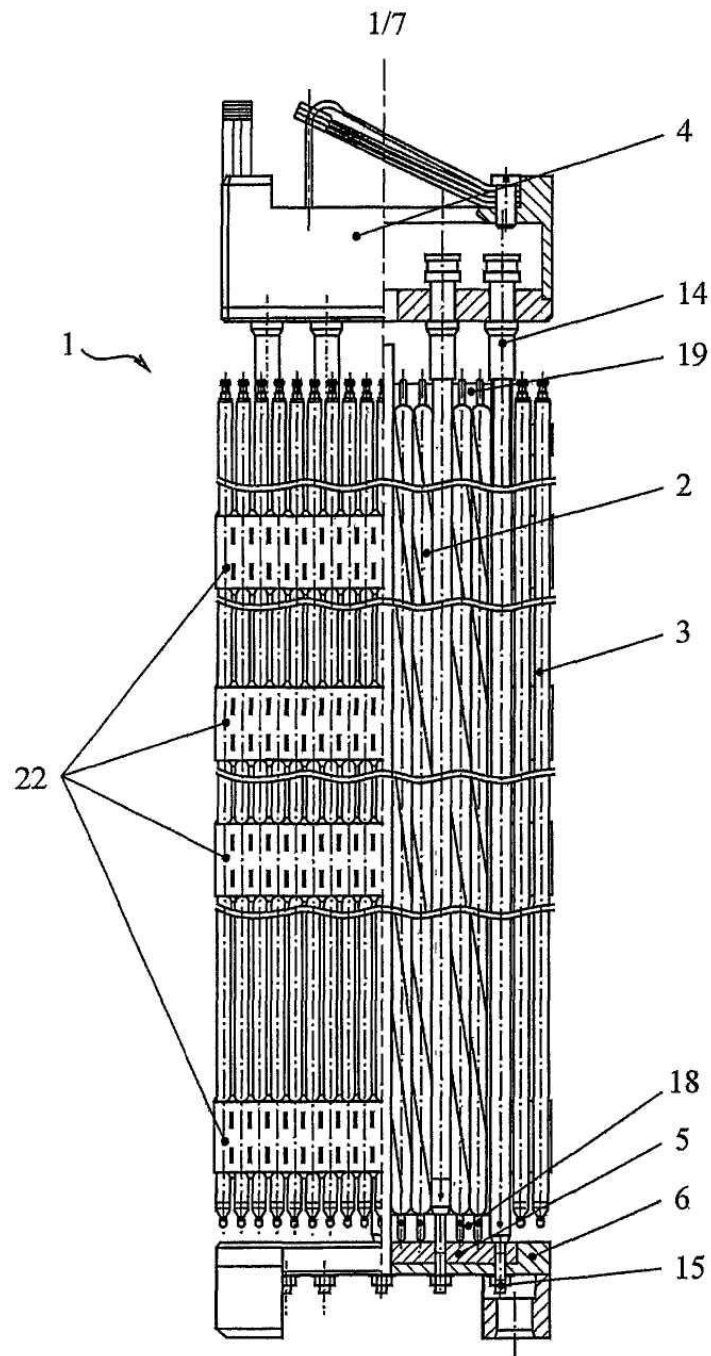


Fig. 1

Область техніки

Винахід відноситься в цілому до конструкцій легководних ядерних реакторів, в яких як паливо застосовується торій, зокрема, до конструкцій безчохлових тепловиділяючих складок у формі квадрата, з яких сформовані активні зони водо-водяних енергетичних реакторів, відомих як реактори типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі).

Попередній рівень техніки

Ядерна енергія залишається сьогодні важливим енергетичним ресурсом у всьому світі. Багато країн, що не мають достатніх місцевих копалин паливних ресурсів, вважаються, в основному, на ядерну енергію для отримання електрики. У багатьох інших країнах ядерна енергія використовується як конкуруюче джерело отримання електрики, який також збільшує різноманітність використовуваних видів енергії. Крім того, ядерна енергія також вносить дуже важливий внесок до досягнення таких цілей, як управління забрудненням навколишнього середовища, пов'язаним з вичерпним паливом (наприклад, кислотні дощі, глобальне потепління), і збереження вичерпного палива для майбутніх поколінь.

Не дивлячись на те, що безпека ясно є головним питанням при конструюванні і експлуатації ядерних реакторів, інше головне питання полягає в небезпеці розповсюдження матеріалів, які можуть використовуватися в ядерній зброї. Це особливо стосується країн з нестабільними урядами, чиє володіння ядерною зброєю може створити значну загрозу світовій безпеці. Тому ядерна енергія повинна вироблятися і використовуватися так, щоб це не приводило до розповсюдження ядерної зброї і ризику його використання, що виникає в результаті.

Все наявні в даний час ядерні реактори створюють велику кількість матеріалу, який прийнято називати реакторним плутонієм. Наприклад, звичайний реактор на 1000 Мвт створює близько 200 - 300 кг в рік реакторного плутонію, який може бути придатний для виготовлення ядерної зброї. Таким чином, паливо, вивантажене з активної зони звичайних реакторів, є матеріалом, що сильно розмножується, і потрібні запобіжні засоби для того, щоб вивантажене паливо не потрапило до рук тих осіб, які не мають права їм володіти. Схожа проблема безпеки існує також у зв'язку з величезними запасами збройового плутонію, які створені в США і в країнах колишнього СРСР при демонтажі ядерної зброї. Інша проблема, пов'язана з роботою звичайних ядерних реакторів, пов'язана з постійною необхідністю поховання довгоживучих радіоактивних відходів, а також з швидким виснаженням світових ресурсів природної уранової сировини.

Для вирішення вищезазначених проблем останнім часом були зроблені спроби створити ядерні реактори, які працюють на відносно невеликих кількостях непроліферативного збагаченого урану (збагачений уран має вміст U-235 20% або менш) і не виробляють значних кількостей матеріалів, що розмножуються, таких як плутоній. Приклади таких реакторів розкриті в міжнародних заявках WO 85/01826 і WO 93/16477, в яких представлені реактори з подвійною активною зоною, що містить запальну зону і зону відтворення, які отримують значний відсоток своєї потужності із зон відтворення з торієм як паливо. Зони відтворення оточують по колу запальну зону, в якій знаходяться паливні стрижні з непроліферативного збагаченого урану. Уран в паливних стрижнях запальної зони виділяє нейтрони, які захоплюються торієм в зонах відтворення, завдяки чому створюється здібний до ядерного ділення U-233, який згорає на місці і виділяє тепло для силової установки реактора.

Використання торію як паливо для ядерного реактора є привабливим, оскільки запаси торію в світі значного перевершують запаси урану. Крім того, обидва вказаних вище за реактор є непроліферативними в тому сенсі, що ні початкове завантажуване паливо, ані паливо, вивантажуване в кінці кожного паливного циклу, не підходять для виробництва ядерної зброї. Це досягається за рахунок того, що застосовується тільки непроліферативний збагачений уран як паливо запальної зони, причому вибираються відносини об'ємів сповільнювач/паливо, які зводять до мінімуму утворення плутонію, і додається невелика кількість непроліферативного збагаченого урану в зону відтворення, в якій компоненту U-238 однорідно змішується з тим, що залишається в кінці циклу відтворення U-233 і «денатурує» (змінює природні властивості) U-233, внаслідок цього він стає непридатним для виготовлення ядерної зброї.

На жаль, жодна з вказаних вище конструкцій реактора не є істинно «непроліферативною». Зокрема, виявлено, що обидві ці конструкції приводять до рівня утворення проліферативного плутонію в запальній зоні, що перевищує мінімально можливий рівень. Використання кругової запальної зони з внутрішньою або центральною зоною відтворення і зовнішньою навколишньою зоною відтворення не може забезпечити роботу реактора як «непроліферативного» реактора, оскільки тонка кругова запальна зона має відповідно невелику «оптичну товщину», яка приводить до того, що спектр (нейтронів) запальної зони домінуватиме над значно жорсткішим спектром внутрішньої і зовнішньої зон відтворення. Це приводить до виникнення в запальній

зоні більшої частки надтеплових нейтронів і більшому, ніж мінімальна кількість, виробництву плутонію, що розмножується.

Обидві ці попередні конструкції реактора, крім того, не оптимізовані, виходячи із стандартної точки робочих параметрів. Наприклад, відносини об'ємів сповільнювач/паливо в запальній зоні і зонах відтворення особливо критичні для отримання в запальній зоні мінімальної кількості плутонію, для того, щоб з паливних стрижнів запальної зони виділялася адекватна кількість тепла і забезпечувалося оптимальне перетворення торію в U-233 в зоні відтворення. Дослідження показали, що переважні значення відношення сповільнювач/паливо, вказані в цих міжнародних заявках, дуже високі в запальних зонах і дуже низькі в зонах відтворення.

Попередні конструкції активної зони реактора також не особливо ефективні при споживанні непроліферативного збагаченого урану в паливних елементах запальної зони. В результаті, паливні стрижні, вивантажені в кінці кожного циклу палива запальної зони, містили так багато урану, що залишився, що їх потрібно було переробляти для повторного використання в іншій активній зоні реактора.

Реактор, розкритий в заявці WO 93/16477, також вимагає складної механічної схеми управління реактором, яка робить невідповідним його для переоснащення ним активної зони звичайного реактора. Аналогічно, активна зона реактора, розкритого в заявці WO 85/01826, не може бути легко перенесена в звичайну активну зону, оскільки її конструктивні параметри не сумісні з параметрами звичайної активної зони.

І нарешті, обидві попередні конструкції реакторів були сконструйовані спеціально для спалювання непроліферативного збагаченого урану з торієм і вони не підходять для споживання великої кількості плутонію. Отже, жодна з цих конструкцій не забезпечує вирішення проблеми по накопиченому плутонію, що зберігається.

Відомий реактор по патенту RU 2176826 з активною зоною, що включає множина запально-відтворюючих модулів, кожен з яких містить центральну запальну зону, причому запальна зона включає паливні елементи запальної зони, виконані з матеріалу, що здібного до ядерного ділення, містить уран-235 і уран-238, кругову зону відтворення, навколишню запальну зону і що включає паливні елементи зони відтворення, що містять переважно торій і 10% за об'ємом або менш збагаченого урану, сповільнювач в запальній зоні, причому відношення об'ємів сповільнювача до палива знаходиться в діапазоні значень від 2,5 до 5,0, і сповільнювач в зоні відтворення, причому відношення сповільнювача до палива знаходиться в діапазоні значень 1,5-2,0. При цьому кожен з паливних елементів запальної зони складається з уран-цирконієвого (U-Zr) сплаву, а запальна зона складає 25-40% від загального об'єму кожного запально-відтворюючого модуля.

Відомий реактор забезпечує оптимальну роботу з погляду економічності і не є «проліферативним». Цей реактор може бути використаний для споживання великих кількостей плутонію з торієм, не створюючи при цьому відходів, що є проліферативними матеріалами. При цьому даний реактор проводить значно менші кількості високорадіоактивних відходів, унаслідок чого значно зменшуються потреби в місцях тривалого зберігання відходів.

Проте використовувані в даному реакторі запально-відтворюючі модулі не пристосовані для використання їх в існуючих легководних реакторах вказаного вище типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі).

З опису до патенту 1Ш 2222837 відома паливна збірка легководного реактора, аналогічного описаному вище реактору, яка має, зокрема, квадратну форму поперечного перетину, що дозволяє встановити вказану паливну збірку із запально-відтворюючих модулів в звичайний легководний реактор.

Проте окрім вказівки на форму поперечного перетину збірки, в описі до вказаного вище патенту не міститься інформація про конструктивне виконання збірки, що дозволяє встановити її в існуючий легководний реактор типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) без внесення яких-небудь змін до конструкції реактора.

Відома паливна збірка легководного реактора по патенту RU 22 94 57 0, що містить пучок тепловиділяючих елементів і направляючих каналів, розміщених в дистанціонуючих решітках, хвостовик і головку, причому дистанціонуючі решітки сполучені між собою і з хвостовиком елементами, розташованими по довжині тепловиділяючої збірки, а головка складається із сполучених верхньої і нижньої плит, обичайки, розташованої між згаданими плитами, і пружинного блоку, при цьому обичайка головки забезпечена зовнішніми ребрами, сполученими між собою по виступаючих частинах ободом і по нижніх частинах, - перфорованими пластинами.

Відома паливна збірка відноситься до конструкцій безчохлових тепловиділяючих складок, з яких сформовані активні зони водо-водяних енергетичних реакторів типу BBEP-1000, і володіє

підвищеними експлуатаційними якостями за рахунок підвищеної жорсткості, зменшеної довжини головки і збільшеного вільного простору між пучком тепловиділяючих елементів і головкою з одночасним збільшенням довжини тепловиділяючих елементів. Це дозволяє збільшити завантаження в паливну збірку палива з більшою глибиною вигорання і тим самим збільшити потужність активної зони реактора, а також тривалість експлуатації тепловиділяючої збірки.

Проте в цій збірці всі тепловиділяючі елементи виконані з традиційно використовуваного в легководних реакторах матеріалу, що ділиться, отже, реактору з такими складками властивий описаний вище недолік - утворення великої кількості реакторного плутонію. Крім того, дана збірка пристосована для реакторів типу ВВЕР-1000, тобто має шестикутну форму поперечного перетину, що не відповідає формі паливних складок, використовуваних в реакторах типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі).

Завданням винаходу є створення паливної збірки, яка, з одного боку, виробляє значну частину своєї потужності в зоні відтворення з торієм як паливо і не створює при її використанні відходів, що є проліферативними матеріалами, а, з іншого боку, може бути встановлена в існуючий легководний реактор типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) без необхідності його істотної модифікації.

Розкриття винаходу

Вказане завдання відповідно до одного з варіантів здійснення винаходу вирішується тим, що паливна збірка легководного ядерного реактора, що має в плані квадратну форму, містить запальний модуль, що включає пучок запальних паливних елементів, в поперечному перетині розташованих по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки, при цьому кожен із запальних паливних елементів містить сердечник, що включає збагачений уран або плутоній; і відтворюючий модуль, навколишній вищезазначений запальний модуль і пучок відтворюючих паливних елементів, що містить, кожен з яких містить керамічний торій, при цьому відтворюючі паливні елементи в поперечному перетині розташовані в двох кільцях квадратної форми по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.

Паливна збірка також містить направляючі канали, розташовані в запальному модулі так, щоб відповідати розташуванню направляючих каналів для стрижнів паливної збірки ядерного реактора типу Р/УЯ, що управляють, забезпечуючи їх взаємозамінюваність. Зокрема, паливна збірка містить тих, що 24 направляють каналу, розташованих в запальному модулі так, щоб відповідати розташуванню 24 направляючих каналів для стрижнів паливної збірки, що управляють, 17х17 ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.

Кожен з множини запальних паливних елементів має чотирипелюстковий профіль, створюючий гвинтові дистанціюючі ребра.

Переважаю паливні елементи відтворюючого модуля в поперечному перетині паливної збірки розташовані в двох крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 19 рядів і 19 стовпців, а запальні паливні елементи розташовані по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 13 рядів і 13 стовпців.

При цьому паливна збірка містить кожух, що має квадратну форму в поперечному перетині і відокремлює паливні елементи запального модуля від паливних елементів відтворюючого модуля. З кожухом сполучений хвостовик запального модуля, на якому закріплені опорні решітки для фіксації запальних паливних елементів. Крім того, на кожусі в його верхній частині закріплені решітки прямої для установки запальних паливних елементів з можливістю їх вільного осьового переміщення.

Переважна кількість запальних паливних елементів складає 144 елементи, а відтворюючих паливних елементів - 132 елементи.

Відтворюючий модуль містить хвостовик відтворюючого модуля, подовжньо розташовані кутові елементи і декілька подовжньо розташованих стійок, при цьому хвостовик відтворюючого модуля жорстко пов'язаний з вказаними кутовими елементами і стійками, утворюючи каркас відтворюючого модуля. При цьому кількість кутових елементів, як і кількість стійок переважно рівна чотирьом.

На каркасі закріплені дистанціюючі решітки, в центральній зоні кожною з яких виконаний отвір для розташування в ній запального модуля. Запальний і відтворюючий модулі сполучені між собою за допомогою засобу роз'ємного з'єднання, що дозволяє спільно вводити вказані модулі в активну зону ядерного реактора і виводити їх з активної зони як єдиний блок, а також забезпечити можливість розділення запального і відтворюючого модулів.

Вказане завдання згідно іншому варіанту здійснення винаходу вирішується тим, в паливній збірці на відміну від описаного вище варіанту її виконання відтворюючі паливні елементи в поперечному перетині розташовані в трьох кільцях квадратної форми по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.

При цьому частина направляючих каналів розташована в запальному модулі, а інша частина - у відтворюючому модулі, при цьому всі направляючі канали розташовані так, щоб відповідати розташуванню направляючих каналів для стрижнів паливної збірки ядерного реактора типу PWR, що управляють, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.

5 Паливні елементи запального і відтворюючого модулів в паливній збірці по другому варіанту її виконання в поперечному перетині паливної збірки розташовані по 17 рядам і 17 стовпцям квадратної координатної сітки, причому запальні паливні елементи розташовані в середній частині цієї сітки в 11 рядах і 11 стовпцях.

10 Паливна збірка по даному варіанту, так само як і збірка по першому варіанту містить кожух, що має квадратну форму в поперечному перетині і відокремлює паливні елементи запального модуля від паливних елементів відтворюючого модуля. При цьому що 16 направляють каналу розташовані усередині кожуха, а 8 - зовні так, щоб відповідати розташуванню 24 стрижнів паливної збірки, що управляють, 17x17 ядерного реактора типу РМПЗ., забезпечуючи їх взаємозамінюваність. З кожухом також сполучений хвостовик запального модуля, на якому закріплені опорні решітки для фіксації запальних паливних елементів. Крім того, на кожусі в його 15 верхній частині також закріплені решітки напрямної для установки запальних паливних елементів з можливістю їх вільного осьового переміщення.

У даному варіанті виконання паливної збірки на відміну від описаного вище варіанту множина запальних паливних елементів включає множина перших запальних паливних 20 елементів, в поперечному перетині паливної збірки розташованих в 9 рядах і 9 стовпцях середньої частини квадратної координатної сітки, і множина других запальних паливних елементів, розташованих в крайніх рядах і стовпцях середньої частини квадратної координатної сітки, причому кожен з множини перших запальних паливних елементів має більший діаметр описаного кола в порівнянні з діаметром описаного кола кожного з других запальних паливних 25 елементів. При цьому множина перших запальних паливних елементів містить 72 елементи, а множина других запальних паливних елементів містить 36 елементів.

Другі запальні паливні елементи в кожній з двох рядів і кожному з двох стовпців в поперечному перетині запального модуля зміщені у напрямку до центру кожуха, а для запобігання поперечному зсуву запальних паливних елементів на внутрішній поверхні кожуха 30 між двома сусідніми другими запальними паливними елементами розташовані засоби обмеження поперечного переміщення запальних паливних елементів. Ці засоби можуть бути виконані у вигляді пукльовок на кожусі запального модуля або у вигляді подовжніх розташованих в кожусі стрижнів.

Множина відтворюючих паливних елементів в даному варіанті виконання збірки включає 15 35 6 відтворюючих паливних елементів, в поперечному перетині паливної збірки розташованих в трьох крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.

Відтворюючий модуль в даному варіанті виконання, так само як і в першому варіанті, містить хвостовик відтворюючого модуля, проте в даному варіанті вказаний хвостовик для утворення каркаса відтворюючого модуля жорстко пов'язаний з розташованими у відтворюючому модулі 40 направляючими каналами. На каркасі також закріплені дистанціюючі решітки, в центральній зоні кожною з яких виконаний отвір для розташування в ній запального модуля.

Як і в збірці по першому варіанту виконання, запальний і відтворюючий модулі сполучені між собою за допомогою засобу роз'ємного з'єднання, що дозволяє спільно вводити вказані модулі в активну зону ядерного реактора і виводити їх з активної зони як єдиний блок, а також 45 забезпечити можливість розділення запального і відтворюючого модулів.

Розміри, форма, а також нейтронні і теплогідрравлічні властивості паливної збірки як по першому, так і по другому варіантах її виконання відповідають розмірам і формі, а також нейтронним і теплогідрравлічним властивостям традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність. При цьому вихідна потужність паливної збірки 50 при розміщенні її в ядерному реакторі замість традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR без внесення яких-небудь додаткових змін до конструкції реактора знаходиться в межах проектного діапазону реактора, розрахованого на експлуатацію з традиційними паливними складами.

Вказане завдання відповідно до винаходу вирішується також тим, що паливний елемент 55 паливної збірки ядерного реактора містить сердечник, що включає збагачений уран або плутоній і оболонку, що охоплює його, і має чотирипелюстковий профіль. Пелюстки профілю утворюють гвинтові дистанціюючі ребра, при цьому крок аксіальної завивки гвинтових дистанціюючих ребер складає від 5% до 30% довжини паливного елемента.

60 Оболонка виконана з цирконієвого сплаву, а уздовж подовжньої осі сердечника розташований витіснювач, що має в поперечному перетині практично квадратну форму.

Витіснювач виконаний з цирконію або його сплаву, а сердечник - з уран-цирконієвого (U-Zr) сплаву з об'ємним вмістом урану до 30%, при цьому уран збагачений до 20% по ізотопу урану-235. Сердечник також може бути виконаний з плутоній-цирконієвого (Pu-Zr) сплаву з об'ємним вмістом енергетичного плутонію до 30%.

5 Окрім цього вказане завдання відповідно до винаходу вирішується тим, що в легководному реакторі, що містить множина паливних складок, принаймні, одна або всі паливні складки виконані відповідно до одного або іншим варіантом здійснення винаходу.

Короткий опис креслень

10 Особливості і достоїнства справжнього винаходу будуть очевидні з подальшого детального опису його переважних варіантів здійснення з урахуванням креслень, що додаються, на яких:

Фіг. 1 представляє загальний вид паливної збірки відповідно до першого варіанту здійснення винаходу;

Фіг. 2 - схемне зображення поперечного перетину паливної збірки в 15 відповідності з першим варіантом здійснення винаходу;

15 Фіг. 3 - загальний вид паливної збірки відповідно до другого варіанту здійснення винаходу;

Фіг. 4 - схемне зображення поперечного перетину паливної збірки відповідно до другого варіанту здійснення винаходу;

Фіг. 5 - схемне зображення розташування паливних елементів запального модуля в його периферійній області відповідно до другого варіанту здійснення винаходу.

20 Фіг. 6 - схемне зображення в перспективі паливного елемента запального модуля;

Фіг. 7 - схемне зображення поперечного перетину паливного елемента запального модуля;

Фіг. 8 - схемне зображення одне з варіантів вузла з'єднання хвостовиків запального і відтворюючого модулів;

25 Фіг. 9 - схемне зображення розташування паливного елемента відтворюючого в дистанціонуючих решітках;

Фіг. 10 - схемне зображення поперечного перетину активної зони реактора, що містить паливні складки, виконані відповідно до винаходу.

Варіанти здійснення винаходу

30 На Фіг. 1 показана паливна збірка, позначена загальною позицією 1, відповідно до першого варіанту здійснення винаходу. Паливна збірка 1 містить запальний модуль 2, відтворюючий модуль 3, головку 4, хвостовик 5 запального модуля і хвостовик 6 відтворюючого модуля. Як показано на Фіг. 2, запальний модуль 2 містить пучок паливних елементів 7, а відтворюючий модуль 3 - пучок паливних елементів 8. Кожен з паливних елементів 7 має чотирипелюстковий профіль, створюючий по довжині паливного елемента гвинтові дистанціонуючі ребра 9 (Фіг. 6), містить сердечник 10 (Фіг. 7), що включає збагачений уран або плутоній, і оболонку, що охоплює його, 11 з цирконієвого сплаву. Усередині сердечника 10 розташований витіснювач 12. Всі паливні елементи 7 мають контакт з кожним сусіднім паливним елементом 7 в точках того, що стосується гвинтових дистанціонуючих ребер 9. Точки дотику гвинтових дистанціонуючих ребер 9 відстоять один від одного в осьовому напрямі на відстані рівному 25% від величини кроку гвинтової лінії.

40 Кожен з паливних елементів 8 має в плані кругу форму і виконаний з торію з додаванням збагаченого урану. Паливні елементи 7 і 8 в поперечному перетині розташовані по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки так, що вся паливна збірка має в плані форму квадрата. Зокрема паливні елементи запального модуля 7 розташовані по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 13 рядів і 13 стовпців, а паливні елементи відтворюючого модуля 8 розташовані в двох крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 19 рядів і 19 стовпців.

50 Профілі кожного паливного елемента 7 мають однаковий діаметр описаного кола, що становить, наприклад, 12,6 мм. Кількість паливних елементів 7 складає 144 штуки. Паливні елементи 8 мають однаковий діаметр, що становить, наприклад, 8,6 мм, і розташовані по сторонах квадрата в двох рядах і стовпцях квадратної координатної сітки. Кількість паливних елементів 8 складає 132 штуки.

55 В центрі запального модуля 2 розташована трубка 13, яка утворює направляючий канал для розміщення в ньому засобів контролю. В межах запального модуля 2 розташовані направляючі канали 14 для введення поглинаючих стрижнів і стрижнів аварійного захисту, встановлені в головці 4 з можливістю осьового зсуву і пов'язані з хвостовиком 5 запального модуля 2 і хвостовиком 6 відтворюючого модуля 3 за допомогою різьбового з'єднання 15 або цангового з'єднання 16 (Фіг. 8).

60 Пучок паливних елементів 7 запального модуля 2 оточений кожухом 17, закріпленим у хвостовику 5. Нижні кінцеві ділянки паливних елементів 7 запального модуля 2 встановлені в

опорній решітці 18, а верхні їх кінцеві ділянки - в направляючій решітці 19 (Фіг. 1). Паливний елемент 7 запального модуля 2 може бути виготовлений методом сумісного пресування (витискування через матрицю) у вигляді єдиної складальної одиниці. Крок гвинтової лінії гвинтових дистанціюючих ребер 9 вибраний з умови взаємного розташування осей суміжних паливних елементів 7 на відстані, рівному діаметру описаного кола в поперечному перетині паливного елемента, і складає від 5% до 30% довжини паливного елемента.

Відтворюючий модуль 3 містить каркас, утворений чотирма кутовими елементами 20 і чотирма стійками 21, закріпленими на хвостовику 6. На каркасі закріплені дистанціюючі решітки 22, крізь отвори в яких проходять паливні елементи 8 (Фіг. 9). Дистанціюючі решітки 22 мають в центральній зоні отвір для розташування в ній запального модуля 2.

На Фіг. 3 показана паливна збірка, позначена загальною позицією 1', відповідно до другого варіанту здійснення винаходу. Ця збірка містить запальний модуль 2', відтворюючий модуль 3', головку 4, хвостовик 5' запального модуля і хвостовик 6' відтворюючого модуля. Як показано на Фіг. 4, запальний модуль 2' містить пучок паливних елементів 7', а відтворюючий модуль 3' - пучок паливних елементів 8'.

Аналогічно паливній збірці відповідно до першого варіанту здійснення винаходу, кожен з паливних елементів 7' має чотирипелюстковий профіль, створюючий по довжині паливного елемента гвинтові дистанціюючі ребра 9 (Фіг. 6), містить сердечник 10 (Фіг. 7), що включає збагачений уран або плутоній, і оболонку, що охоплює його, 11 з цирконієвого сплаву. Усередині сердечника 10 розташований витіснювач 12. Кожен з паливних елементів 8' має в плані кругу форму і виконаний з різних керамічних композицій з торію і урану.

Паливні елементи 7' і 8' в поперечному перетині розташовані по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки так, що вся паливна збірка має в плані форму квадрата. Зокрема паливні елементи запального 7' і відтворюючого модулів 8' розташовані по 17 рядам і 17 стовпцям квадратної координатної сітки, причому паливні елементи 7' розташовані в середній частині цієї сітки в 11 рядках і 11 стовпцях.

Профілі паливних елементів 7', розташовані в крайніх рядах і стовпцях 5 квадратної координатної сітки, мають однаковий діаметр описаного кола, що становить, наприклад, 10,3 мм. Профілі решти паливних елементів 7' мають однаковий і більший діаметр описаного кола, що становить, наприклад, 12,6 мм. Кількість паливних елементів 7', розташованих в крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки, складає 36 штук (по 9 штук в 10 кожному крайньому ряду і стовпці квадратної координатної сітки), а число решти паливних елементів 7' складає 72 штуки. Паливні елементи 8' мають однаковий діаметр, що становить, наприклад, 9,5 мм, і розташовані в трьох рядах і стовпцях квадратної координатної сітки. Кількість паливних елементів 8' складає 156 штук.

Аналогічно паливній збірці відповідно до першого варіанту здійснення винаходу, в центрі запального модуля 2' розташована трубка 13, яка утворює направляючий канал для розміщення в ній засобів контролю. В межах запального модуля 2' розташована одна частина направляючих каналів 14 для введення поглинаючих стрижнів і стрижнів аварійного захисту, встановлених в головці 4 з можливістю осьового зсуву і пов'язаних з хвостовиком 5' запального модуля 2' за допомогою різьбового з'єднання 15 або цангового з'єднання 16 (Фіг. 8). Інша частина периферійних направляючих каналів 14' розташована в межах відтворюючого модуля 3', встановлена в головці 4 з можливістю осьового зсуву і пов'язана з хвостовиком 6' відтворюючого модуля 3' за допомогою різьбового з'єднання 15 або цангового з'єднання 16 (Фіг. 8).

Аналогічно паливній збірці відповідно до першого варіанту здійснення, винаходи пучок паливних елементів 7' запального модуля 2' оточений кожухом 17', закріпленим на хвостовику 5'. Нижні кінцеві ділянки 30 паливних елементів 7' запального модуля 2' встановлені в опорних решітках 18, а верхні їх кінцеві ділянки - в направляючих решітках 19 (Фіг. 3).

Аналогічно паливній збірці відповідно до першого варіанту здійснення винаходу, відтворюючий модуль 3' містить каркас, утворений периферійними направляючими каналами 14' для введення поглинаючих стрижнів і стрижнів аварійного захисту, встановленими в головці 4 з можливістю осьового зсуву. На каркасі закріплені дистанціюючі решітки 22, крізь отвори в яких проходять паливні елементи 8' (Фіг. 9). Дистанціюючі решітки 22 мають в центральній зоні отвір для розташування в ній запального модуля 2'.

Кожух 17' запального модуля 2' і каркас відтворюючого модуля 3' можуть бути зв'язані за допомогою фіксаторів, розташованих у верхній частині паливної збірки 1', як це показано на Фіг. 3, за допомогою кулькового фіксатора 23, що взаємодіє з обичайкою 24, закріпленою на каркасі відтворюючого модуля 3'.

Як вказано вище і як показано на Фіг. 4, паливні елементи 7' крайніх рядів і стовпців квадратної координатної сітки запального модуля 2' мають менший діаметр описаного кола порівняно з рештою паливних елементів 7' запального модуля 2'. Для стабілізації відносного положення паливних елементів 7' в кожусі 17' на його внутрішній поверхні розташовані засоби обмеження поперечного переміщення паливних елементів 7'.

На Фіг. 5 показана схема розташування паливних елементів запального модуля в його периферійній області відповідно до другого варіанту здійснення винаходу. Всі паливні елементи 7' мають контакт з кожним сусіднім паливним елементом 7' в точках того, що стосується гвинтових дистанціюючих ребер 9, віддалених один від одного в осьовому напрямі на відстані рівному 25% від величини кроку гвинтової лінії. Точки контакту паливного елемента 7' з кожухом 17' запального модуля 2' можуть бути розташовані в областях пукльовок 25 (у деформованих областях кожуха 17'), як це показано в правій частині Фіг. 5. Як альтернатива можуть бути використані дистанціюючі стрижні 26, як це показано у верхній частині Фіг. 5, розташовані в осьовому напрямі і закріплені на хвостовику 6'. Суцільними і пунктирними лініями на Фіг. 5 показані чотирипелюсткові профілі паливних елементів 7' в різних перетинах для ілюстрації розташування вказаних точок контакту.

Паливні складки відповідно до справжнього винаходу мають паливні елементи запального модуля з сердечником 10, що включає збагачений уран або плутоній. Переважно сердечник 10 виконаний з уран-цирконієвого (U-Zr) сплаву, причому об'ємний вміст урану в паливній композиції складає до 30% при збагаченні по ізотопу урану-235 до 20% або з плутоній-цирконієвого (Pu-Zr) сплаву з об'ємним вмістом плутонію до 30%. Витіснювач 12, розташований уздовж подовжньої осі сердечника 10, в поперечному перетині має практично квадратну форму. Крок гвинтової лінії гвинтових дистанціюючих ребер 9 складає від 5% до 30% довжини паливного елемента.

Активна зона реактора має таку ж геометричну конфігурацію і розміри, що і в звичайному легководному реакторі типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі), так що можна переоснастити цей реактор такими складками і сформувати активну зону з необхідного числа паливних складок. На Фіг. 10 показаний приклад активної зони 27 легководного реактора, яка має в цілому круговий поперечний перетин і декілька паливних складок, кожна з яких має квадратний поперечний перетин.

Монтаж паливної збірки 1 відповідно до першого варіанту здійснення винаходу виконується в наступній послідовності. У нижніх опорних решітках 18 запального модуля 2 розміщують паливні елементи 7, трубку 13 і направляючі канали 14. Опорні решітки 18 закріплюють на хвостовику 5 запального модуля 2. Верхні кінці паливних елементів 7, трубки 13 і що направляють канали 14 розташовують у верхніх направляючих решітках 19. Далі на пучок паливних елементів надягають кожух 17 і кріплять його до хвостовика 5 і направляючих решіток 19. Головку 4 встановлюють на верхній кінець трубки 13 і верхні кінці направляючих каналів 14 і фіксують трубку 13 і направляючі канали 14 в головці 4 з можливістю осьового переміщення.

На хвостовику 6 відтворюючого модуля 3 закріплюють каркас, утворений кутковими елементами 20 і стійками 21, на яких розташовують дистанціюючі решітки 22. Паливні елементи 8 відтворюючого модуля 3 розташовують в дистанціюючих решітках 22. Далі головку 4 і пов'язаний з нею за допомогою трубки 13 і направляючих каналів 14 запальний модуль 2 з паливними елементами 7 вводять в отвір в дистанціюючих решітках 22 і пропускають нижні ділянки трубки 13 і периферійних направляючих каналів 14 через хвостовик 6 відтворюючого модуля з подальшою їх фіксацією за допомогою різьбового з'єднання 15 або цангового з'єднання 16. Таким чином, запальний модуль 2 і відтворюючий модуль 3 зв'язуються один з одним.

Зібрана паливна збірка 1 встановлюється в активну зону 27 реактора. Розбирання паливної збірки 1 після її видалення з активної зони 27 реактора здійснюється в зворотній послідовності.

Монтаж паливної збірки 1' відповідно до другого варіанту виконання винаходу здійснюється різним чином залежно від способу відносної фіксації запального модуля 2' і відтворюючого модуля 3'.

1. У разі використання кулькового фіксатора 23 проводиться його кріплення на кожух 17'. Подальший монтаж запального модуля 2' здійснюється аналогічно монтажу запального модуля 2 по першому варіанту здійснення винаходу. У нижніх опорних решітках 18 запального модуля 2' розміщують паливні елементи 7', трубку 13 і направляючі канали 14. Опорні решітки 18 закріплюють на хвостовику 5' запального модуля 2'. Верхні кінці паливних елементів 7', трубки 13 і що направляють канали 14 розташовують у верхніх направляючих решітках 19. Далі на пучок паливних елементів надягають кожух 17' і кріплять його до хвостовика 5' і направляючих решіток 19. Головку 4 встановлюють на верхній кінець трубки 13 і верхні кінці направляючих

каналів 14 і фіксують трубку 13 і направляючі канали 14 в головці 4 з можливістю осьового переміщення.

Периферійні направляючі канали 14' встановлюють в хвостовику 6 відтворюючого модуля 3' і закріплюють на направляючих каналах 14' дистанційуючих решіток 22, утворюючи каркас відтворюючого модуля 3'. Паливні елементи 8' відтворюючого модуля 3' розташовують в дистанційуючих решітках 22 і обичайці 24.

Далі головку 4 і пов'язаний з нею за допомогою трубки 13 і периферійних направляючих каналів 14' запальний модуль 2' з паливними елементами 7' вводять в отвір в дистанційуючих решітках 22 і закріплюють направляючі канали 14' в головці 4 з можливістю осьового переміщення. Відносна фіксація запального модуля 2' і каркаса відтворюючого модуля 3' забезпечується кульковим фіксатором 23.

Зібрана паливна збірка 1 встановлюється в активну зону 27 реактора. Демонтаж паливної збірки Г після її видалення з активної зони 27 30 реактора здійснюється в зворотній послідовності.

2. У разі використання різьбового або цангового з'єднання монтаж і демонтаж паливної збірки Г здійснюється аналогічно монтажу/демонтажу паливної збірки по першому варіанту здійснення винаходу, тобто хвостовик 5 запального модуля 2' і хвостовик 6 відтворюючого модуля 3' з'єднуються між собою за допомогою різьбового з'єднання 15 або цангового з'єднання 16.

Функціонування паливних складок 1 і 1' в активній зоні 27 реактора здійснюється аналогічно тому, як це відбувається у відомих реакторах типу 5 PWR (наприклад, AP-1 TOB, EPR і так далі).

Використання справжнього винаходу дозволяє добитися економії природного урану за рахунок наявності в конструкції паливної збірки торієвої частини (відтворюючий модуль), оскільки торій в процесі вигорання накопичує вторинне ядерне паливо у вигляді урану-233, згорання якого вносить істотний внесок в енерговироблення активної зони з такими складками. Це приводить до поліпшення характеристик нерозповсюдження і спрощення проблем поводження з відпрацьованими паливними складками, оскільки в значній мірі знижується (на 80%) накопичення традиційного для реакторів PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) вторинного ядерного пального (плутонію, придатного для виготовлення ядерної зброї), а нове вторинне ядерне паливо - уран-233 (вірніше те, що залишається після його згорання в торієвому відтворюючому модулі «на місці») є непридатним для виготовлення ядерної зброї із-за забруднення ізотопом урану-232 і парними ізотопами плутонію. При цьому вдається добитися спрощення проблем поводження з відпрацьованими паливними складками шляхом зниження об'ємів відходів за рахунок збільшення призначеного ресурсу палива і за рахунок зниження вмісту у вивантаженому паливі ізотопів з тривалою радіаційною токсичністю.

Конструкція паливної збірки відповідно до справжнього винаходу дозволяє використовувати її в реакторах типу PWR. (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) за рахунок як механічної, так і гідравлічної і нейтронно-фізичної сумісності з конструкцій штатних паливних складок.

Механічна сумісність з штатною паливною збіркою реактора PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) забезпечується:

- наявністю силового каркаса, що забезпечує стійкість до формозмінення при тривалій експлуатації і високих вигораннях палива; ідентичністю приєднувальних розмірів;

- використанням конструкції хвостовика, головки і силового каркаса, сумісних з аналогічними частинами штатних паливних складок;

- сумісністю конструкції запального модуля з конструкцією штатних органів регулювання і перевантажувальних пристроїв.

Повна гідравлічна характеристика паливної збірки відповідно до даного винаходу практично співпадає з характеристикою штатною 5 паливної збірки за рахунок наявності системи два утворених запальним і відтворюючим модулями паралельних каналів, об'єднаних загальними роздаючим (напірним) та збірним колекторами. При цьому запальний і відтворюючий модулі гідравлічно зв'язані між собою на нижньому вхідному і верхньому вихідному ділянках. Таке виконання паливної збірки забезпечує збереження опору активної зони реактора типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR і так далі) з паливними складками згідно винаходу на рівні штатного значення. Таким чином, установка паливних складок відповідно до даного винаходу в реактор типу PWR (наприклад, AP-1000, EPR. і так далі) не приведе до зміни витрати теплоносія в першому контурі реактора. При цьому співвідношення гідравлічних опорів між входом в збірку, активною частиною відтворюючого модуля і виходом із збірки в паливних складках згідно винаходу і штатної паливної збірки близькі, що забезпечує гідравлічну сумісність паливних складок згідно винаходу з штатними складками і відсутність нештатних (додаткових) перетічок

теплоносія між ними. Це дозволяє використовувати в реакторі частину паливних складок відповідно до справжнього винаходу одночасно з штатними паливними складками реактора.

Нейтронно-фізична сумісність з штатною паливною збіркою забезпечується наступним:

- призначений ресурс по вигоранню досягається за рахунок використання спеціально підібраних паливних композицій і композицій з вигоряючим поглиначем;
- штатна потужність паливної збірки досягається за рахунок використання спеціально підбраного вмісту паливного завантаження в паливних композиціях запального і відтворюючого модулів;
- задоволення вимог по нерівномірності профілю енерговиділення досягається за рахунок використання спеціально підбраного вмісту паливного завантаження в різних рядах і стовпцях квадратної координатної сітки паливних елементів запального модуля і вмісту паливного завантаження у відтворюючому модулі;
- збереження ефектів реактивності в діапазоні, характерному для штатних паливних складок досягається за рахунок використання спеціально підібраних характеристик паливних композицій;
- можливість регулювання рівня потужності і скидання потужності штатними органами регулювання забезпечується сумісністю конструкції двосекційної паливної збірки з штатним розміщенням технологічних каналів (труб) для переміщення органів регулювання.

Перевагою цього винаходу є також те, що двосекційна паливна збірка відповідно до винаходу є розбірною, що дозволяє забезпечити незалежне перевантаження запального модуля. Частіше перевантаження запального модуля дозволяє створити найбільш сприятливі умови (по нейтронному балансу і тривалості опромінювання) для торію, поміщеного у відтворюючий модуль збірки.

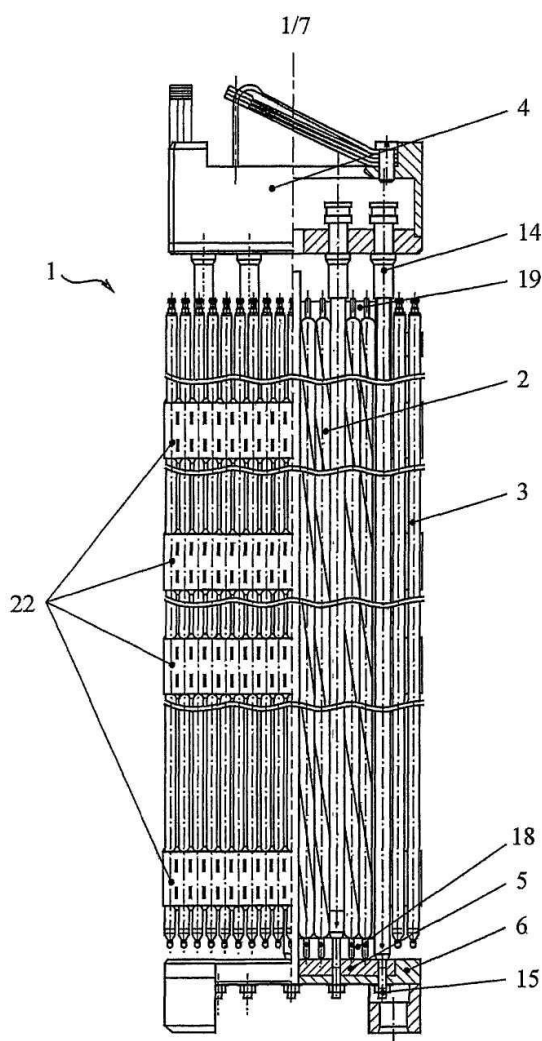
25 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Паливна збірка легководного ядерного реактора, яка має в плані квадратну форму і яка містить:
 - запальний модуль, який включає пучок запальних паливних елементів, в поперечному перерізі розташованих по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки, при цьому кожен із запальних паливних елементів містить сердечник, який включає збагачений уран або плутоній;
 - відтворюючий модуль, що оточує вищезазначений запальний модуль і містить пучок відтворюючих паливних елементів, кожен з яких містить керамічний торій, при цьому відтворюючі паливні елементи в поперечному перерізі розташовані в двох кільцях квадратної форми по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.
2. Паливна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що містить направляючі канали, розташовані в запальному модулі так, щоб відповідати розташуванню направляючих каналів для управляючих стрижнів паливної збірки ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
3. Паливна збірка за п. 2, яка **відрізняється** тим, що містить 24 направляючих канали, розташованих в запальному модулі так, щоб відповідати розташуванню 24 направляючих каналів для управляючих стрижнів паливної збірки 17×17 ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
4. Паливна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що кожен з множини запальних паливних елементів має чотирипелюстковий профіль, утворюючий гвинтові дистанціюючі ребра.
5. Паливна збірка за п. 4, яка **відрізняється** тим, що паливні елементи відтворюючого модуля в поперечному перерізі паливної збірки розташовані в двох крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 19 рядів і 19 стовпців, а запальні паливні елементи розташовані по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки з 13 рядів і 13 стовпців.
6. Паливна збірка за п. 5, яка **відрізняється** тим, що містить кожух, що має квадратну форму в поперечному перерізі і відокремлює паливні елементи запального модуля від паливних елементів відтворюючого модуля.
7. Паливна збірка за п. 6, яка **відрізняється** тим, що містить сполучений з кожухом хвостовик запального модуля.
8. Паливна збірка за п. 7, яка **відрізняється** тим, що містить опорні решітки, закріплені на хвостовику запального модуля для фіксації запальних паливних елементів.
9. Паливна збірка за п. 6, яка **відрізняється** тим, що містить закріплену на кожусі в його верхній частині направляючу решітку для установки запальних паливних елементів з можливістю їх вільного осьового переміщення.

10. Паливна збірка за п. 5, яка **відрізняється** тим, що множина запальних паливних елементів містить 144 елементи.
11. Паливна збірка за п. 5, яка **відрізняється** тим, що множина відтворюючих паливних елементів містить 132 елементи.
- 5 12. Паливна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що відтворюючий модуль містить хвостовик відтворюючого модуля і подовжньо розташовані кутові елементи і декілька подовжньо розташованих стійок, при цьому хвостовик відтворюючого модуля жорстко пов'язаний з вказаними кутовими елементами і стійками, утворюючи каркас відтворюючого модуля.
- 10 13. Паливна збірка за п. 12, яка **відрізняється** тим, що кількість кутових елементів рівна чотирьом.
14. Паливна збірка за п. 13, яка **відрізняється** тим, що кількість стійок рівна чотирьом.
15. Паливна збірка за п. 12, яка **відрізняється** тим, що містить закріплені на каркасі дистанціонуючі решітки, в центральній зоні кожної з яких виконаний отвір для розташування в ньому запального модуля.
- 15 16. Паливна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що містить засіб з'єднання запального і відтворюючого модулів для їх сумісного введення в активну зону ядерного реактора і виведення з активної зони як єдиного блока.
17. Паливна збірка за п. 16, яка **відрізняється** тим, що засіб з'єднання запального і відтворюючого модулів виконаний роз'ємним для забезпечення можливості розділення
- 20 запального і відтворюючого модулів.
18. Паливна збірка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що її розміри, форма, а також нейтронні і теплогідрравлічні властивості відповідають розмірам і формі, а також нейтронним і теплогідрравлічним властивостям традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
- 25 19. Паливна збірка за п. 18, яка **відрізняється** тим, що вихідна потужність при розміщенні її в ядерному реакторі замість традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR без внесення яких-небудь додаткових змін до конструкції реактора знаходиться в межах проектного діапазону реактора, розрахованого на експлуатацію з традиційними паливними збірками.
- 30 20. Паливна збірка легководного ядерного реактора, яка має в плані квадратну форму і яка містить:
- запальний модуль, який включає пучок запальних паливних елементів, в поперечному перерізі розташованих по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки, при цьому кожен із запальних паливних елементів містить сердечник, що включає збагачений уран або плутоній;
 - відтворюючий модуль, який оточує вищезазначений запальний модуль і містить пучок
- 35 відтворюючих паливних елементів, кожен з яких містить керамічний торій, при цьому відтворюючі паливні елементи в поперечному перерізі розташовані в трьох кільцях квадратної форми по рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.
21. Паливна збірка за п. 20, яка **відрізняється** тим, що містить направляючі канали, частина з яких розташована в запальному модулі, а інша частина - у відтворюючому модулі, при цьому всі
- 40 направляючі канали розташовані таким чином, щоб відповідати розташуванню направляючих каналів для управляючих стрижнів паливної збірки ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
22. Паливна збірка за п. 21, яка **відрізняється** тим, що містить 24 направляючих каналів, частина з яких розташована в запальному модулі, а інша частина - у відтворюючому модулі, при
- 45 цьому всі 24 направляючих канали розташовані таким чином, щоб відповідати розташуванню 24 управляючих стрижнів паливної збірки 17×17 ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
23. Паливна збірка за п. 20, яка **відрізняється** тим, що кожен з множини запальних паливних елементів має чотирипелюстковий профіль, створюючий гвинтові дистанціонуючі ребра.
- 50 24. Паливна збірка за п. 23, яка **відрізняється** тим, що паливні елементи запального і відтворюючого модулів в поперечному перерізі паливної збірки розташовані по 17 рядах і 17 стовпцям квадратної координатної сітки, причому запальні паливні елементи розташовані в середній частині цієї сітки в 11 рядах і 11 стовпцях.
25. Паливна збірка за п. 24, яка **відрізняється** тим, що містить кожух, який має квадратну
- 55 форму в поперечному перерізі і відокремлює паливні елементи запального модуля від паливних елементів відтворюючого модуля.
26. Паливна збірка за п. 25, яка **відрізняється** тим, що містить 24 направляючих канали, 16 з яких розташовані усередині кожуха, а 8 - зовні таким чином, щоб відповідати розташуванню 24
- 60 управляючих стрижнів паливної збірки 17×17 ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.

27. Паливна збірка за п. 25, яка **відрізняється** тим, що містить сполучений з кожухом хвостовик запального модуля.
28. Паливна збірка за п. 27, яка **відрізняється** тим, що містить опорну решітку, закріплену на хвостовику запального модуля для фіксації запальних паливних елементів.
- 5 29. Паливна збірка за п. 28, яка **відрізняється** тим, що містить закріплену на кожусі в його верхній частині направляючу решітку для установки запальних паливних елементів з можливістю їх вільного осьового переміщення.
30. Паливна збірка за п. 25, яка **відрізняється** тим, що множина запальних паливних елементів включає множину перших запальних паливних елементів в поперечному перерізі паливної збірки, розташованих в 9 рядах і 9 стовпцях середньої частини квадратної координатної сітки, і множину других запальних паливних елементів, розташованих в крайніх рядах і стовпцях середньої частини квадратної координатної сітки, причому кожен з множини перших запальних паливних елементів має більший діаметр описаного кола в порівнянні з діаметром описаного кола кожного з других запальних паливних елементів.
- 10 31. Паливна збірка за п. 30, яка **відрізняється** тим, що множина перших запальних паливних елементів містить 72 елементи, а множина других запальних паливних елементів містить 36 елементів.
32. Паливна збірка за п. 31, яка **відрізняється** тим, що другі запальні паливні елементи в кожному з двох рядів і кожному з двох стовпців в поперечному перерізі запального модуля зміщені у напрямку до центру кожуха.
- 20 33. Паливна збірка за п. 32, яка **відрізняється** тим, що на внутрішній поверхні кожуха між двома сусідніми другими запальними паливними елементами розташовані засоби обмеження поперечного переміщення запальних паливних елементів.
34. Паливна збірка за п. 33, яка **відрізняється** тим, що засоби обмеження поперечного переміщення запальних паливних елементів виконані у вигляді пукльовок на кожусі запального модуля.
- 25 35. Паливна збірка за п. 33, яка **відрізняється** тим, що засоби обмеження поперечного переміщення запальних паливних елементів виконані у вигляді подовжньо розташованих в кожусі стрижнів.
- 30 36. Паливна збірка за п. 24, яка **відрізняється** тим, що множина відтворюючих паливних елементів включає 156 відтворюючих паливних елементів в поперечному перерізі паливної збірки, розташованих у трьох крайніх рядах і стовпцях квадратної координатної сітки.
37. Паливна збірка за п. 21, яка **відрізняється** тим, що відтворюючий модуль містить хвостовик відтворюючого модуля, жорстко пов'язаний з розташованими у відтворюючому модулі направляючими каналами, утворюючи каркас відтворюючого модуля.
- 35 38. Паливна збірка за п. 37, яка **відрізняється** тим, що містить закріплені на каркасі дистанціонуючі решітки, в центральній зоні кожної з яких виконаний отвір для розташування в ньому запального модуля.
39. Паливна збірка за п. 20, яка **відрізняється** тим, що містить засіб з'єднання запального і відтворюючого модулів для їх сумісного введення в активну зону ядерного реактора і виведення з активної зони як єдиного блока.
- 40 40. Паливна збірка за п. 39, яка **відрізняється** тим, що засіб з'єднання запального і відтворюючого модулів виконаний роз'ємним для забезпечення можливості розділення запального і відтворюючого модулів.
- 45 41. Паливна збірка за п. 20, яка **відрізняється** тим, що її розміри, форма, а також нейтронні і теплогідравлічні властивості відповідають розмірам та формі, а також нейтронним і теплогідравлічним властивостям традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR, забезпечуючи їх взаємозамінюваність.
42. Паливна збірка за п. 41, яка **відрізняється** тим, що вихідна потужність при розміщенні її в ядерному реакторі замість традиційної паливної збірки ядерного реактора типу PWR без внесення яких-небудь додаткових змін до конструкції реактора знаходиться в межах проектного діапазону реактора, розрахованого на експлуатацію з традиційними паливними збірками.
- 50 43. Паливний елемент паливної збірки легководного ядерного реактора, який містить сердечник, що включає збагачений уран або плутоній, і оболонку, яка охоплює його, при цьому вказаний паливний елемент має чотирипелюстковий профіль, пелюстки якого утворюють гвинтові дистанціонуючі ребра, причому крок аксіальної завивки гвинтових дистанціонуючих ребер складає від 5 % до 30 % довжини паливного елемента.
- 55 44. Паливний елемент за п. 43, який **відрізняється** тим, що оболонка виконана з цирконієвого сплаву.

45. Паливний елемент за п. 43, який **відрізняється** тим, що містить витіснювач, розташований уздовж подовжньої осі сердечника і що має в поперечному перерізі практично квадратну форму.
46. Паливний елемент за п. 45, який **відрізняється** тим, що витіснювач виконаний з цирконію або його сплаву.
- 5 47. Паливний елемент за п. 43, який **відрізняється** тим, що сердечник виконаний з уран-цирконієвого (U-Zr) сплаву з об'ємним вмістом урану до 30 %, при цьому уран збагачений до 20 % за ізоотопом урану-235.
48. Паливний елемент за п. 43, який **відрізняється** тим, що сердечник виконаний з плутоній-цирконієвого (Pu-Zr) сплаву з об'ємним вмістом енергетичного плутонію до 30 %.
- 10 49. Легководний ядерний реактор, який містить множину паливних збірок, і відрізняється тим, що містить принаймні одну паливну збірку за п. 1-19.
50. Легководний реактор за п. 49, який **відрізняється** тим, що всіма паливними збірками є паливні збірки за пп. 1-19.
51. Легководний реактор, який містить множину паливних збірок і відрізняється тим, що містить принаймні одну паливну збірку за п. 20-42.
- 15 52. Легководний реактор за п. 51, який **відрізняється** тим, що всіма паливними збірками є паливні збірки за пп. 20-42.



Фіг. 1

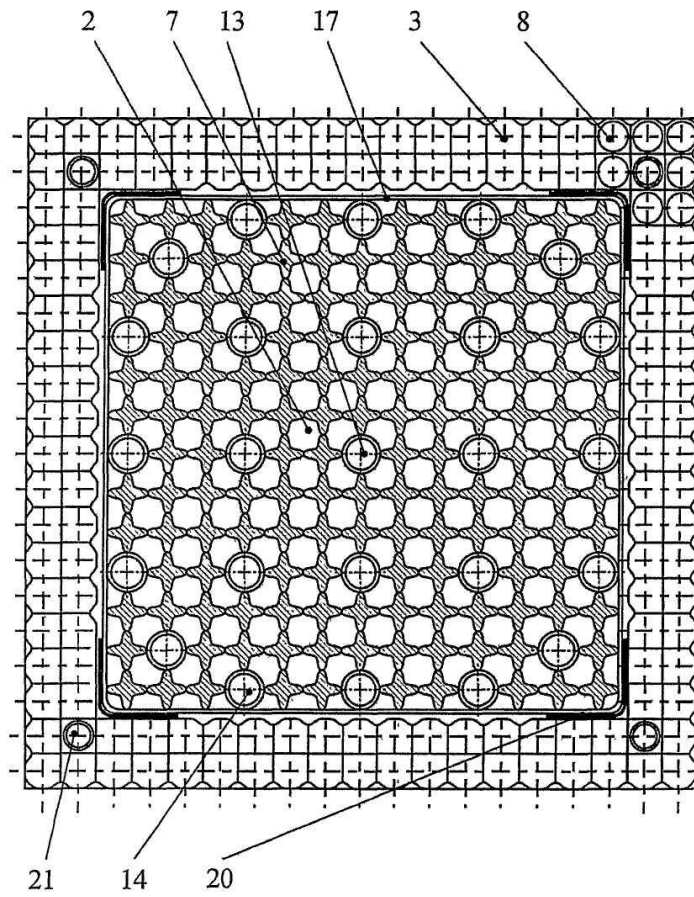


Fig. 2

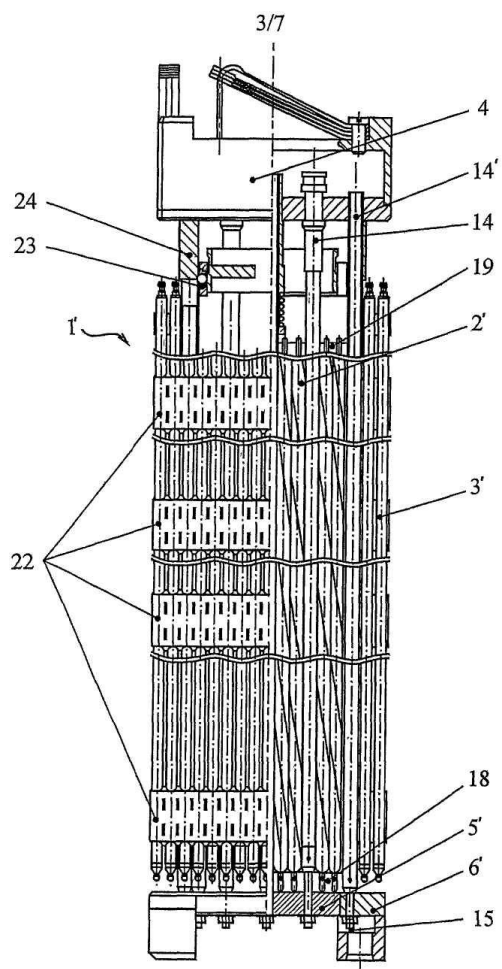


Fig. 3

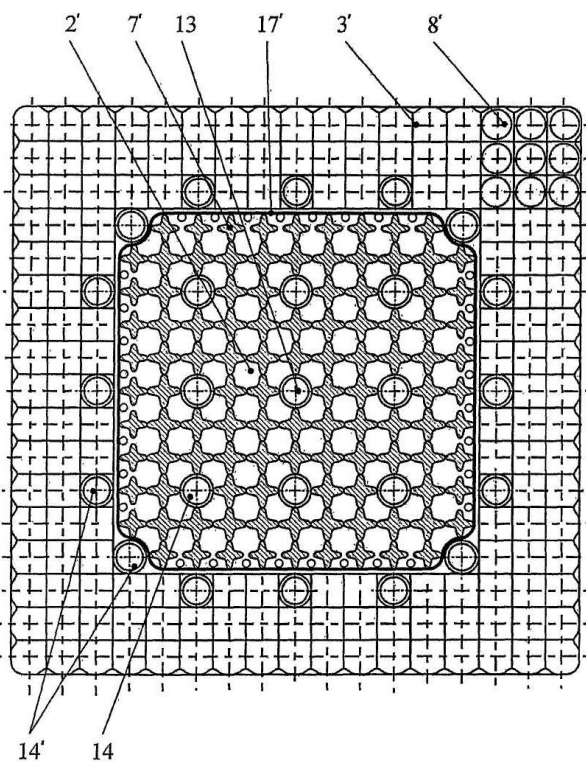


Fig. 4

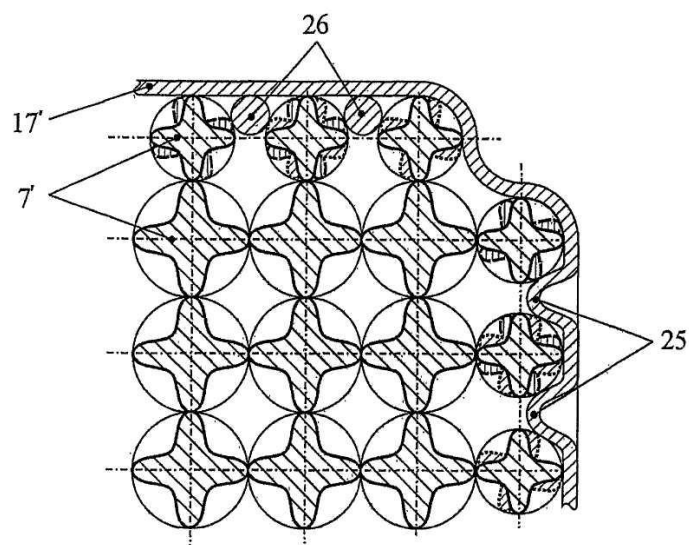
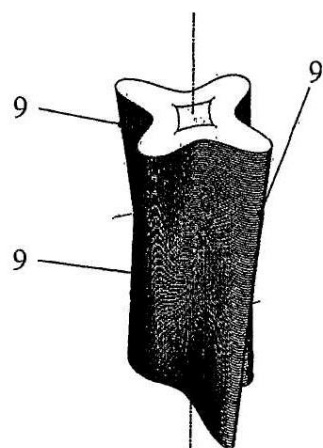
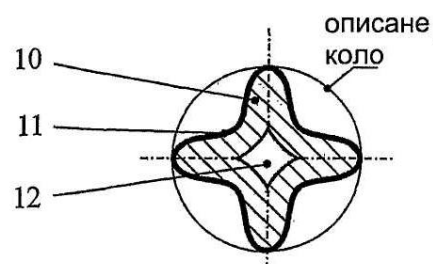


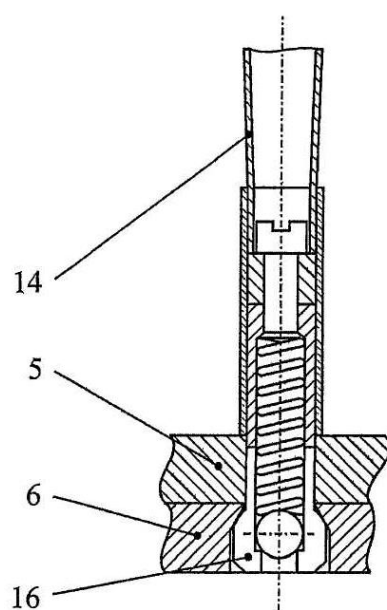
Fig. 5



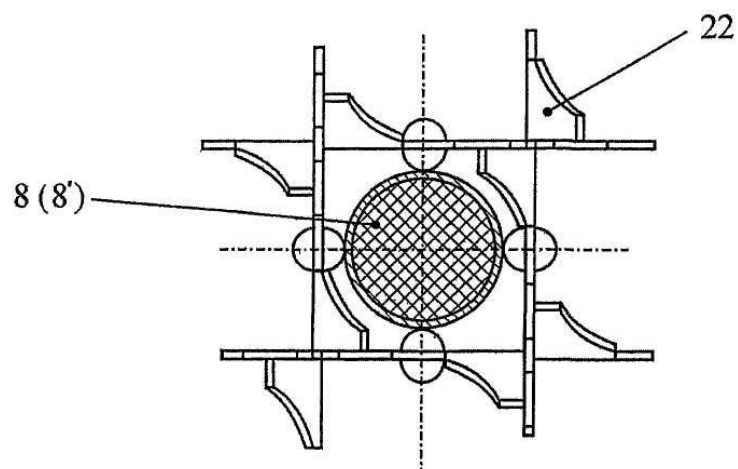
Фіг. 6



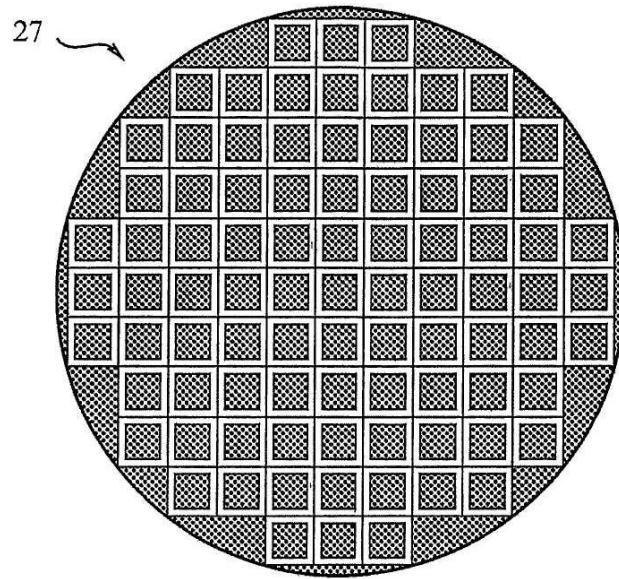
Фіг. 7



Фіг. 8



Фіг. 9



Фіг. 10

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601