

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 599 971**

51 Int. Cl.:

G21C 3/08 (2006.01)

G21C 3/58 (2006.01)

G21C 5/18 (2006.01)

G21C 3/28 (2006.01)

G21C 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2008 E 10166457 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.09.2016 EP 2228801**

54 Título: **Un elemento de combustible, un ensamblaje de combustible y un método de utilización de un ensamblaje de combustible**

30 Prioridad:

21.11.2008 US 116730 P
26.12.2007 WO PCT/RU2007/000732

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.02.2017

73 Titular/es:

THORIUM POWER, INC. (100.0%)
1600 TYSONS BLVD., SUITE 550
MCLEAN, VA 22102, US

72 Inventor/es:

BASHKIRTSEV, SERGEY MIKHAILOVICH;
KUZNETSOV, VALENTIN FEDOROVICH;
KEVROLEV, VALERY VLADIMIROVICH y
MOROZOV, ALEXEY GLEBOVICH

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 599 971 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un elemento de combustible, un ensamblaje de combustible y un método de utilización de un ensamblaje de combustible

5 La presente invención se refiere a un elemento de combustible, un ensamblaje de combustible y un método de utilización del ensamblaje de combustible.

La invención se refiere en general a diseños de reactores de agua ligera en los que se utiliza el torio como combustible y, en particular, a los diseños de ensamblajes de combustible sin chaqueta, que constituyen los núcleos de los reactores de agua a presión (PWR), tales como el VVER-1000.

10 La energía nuclear sigue siendo una fuente de energía importante en todo el mundo. Muchos países que carecen de recursos suficientes de combustibles fósiles autóctonos dependen principalmente de la energía nuclear para producir electricidad. En muchos otros países, la energía nuclear se utiliza como una fuente competitiva de electricidad que también aumenta la diversidad de los tipos de energía utilizados. Además, la energía nuclear también hace una contribución muy importante a la consecución de objetivos tales como el control de la contaminación por combustibles fósiles (tales como lluvia ácida y el calentamiento global) y conservación de
15 combustibles fósiles para las generaciones futuras.

Aunque la seguridad es sin duda un tema importante en el diseño y funcionamiento de los reactores nucleares, otra cuestión clave es el peligro de la proliferación de materiales que podrían utilizarse en armas nucleares. Este peligro es especialmente relevante para los países con gobiernos inestables, cuya posesión de armas nucleares podría representar una amenaza significativa para la seguridad mundial. La energía nuclear, por lo tanto, debe ser
20 generada y utilizada en una forma que no conduzca a la proliferación de las armas nucleares y el riesgo resultante de su uso.

Todos los reactores nucleares actuales crean grandes cantidades de material al que habitualmente se denominan como el plutonio de grado reactor. Un reactor típico de 1000 MW, por ejemplo, crea aproximadamente 200 a 300 kg por año de plutonio de grado reactor, que puede ser apropiado para la producción de armas nucleares. De ahí que el combustible descargado de los núcleos de los reactores convencionales es un material altamente proliferativo, y se requieren medidas de seguridad para evitar que el combustible descargado pueda caer en manos de personas no autorizadas. Existe un problema de seguridad similar con los enormes arsenales de plutonio para armas creadas en los EE.UU. y los países de la antigua Unión Soviética en el proceso de desmantelamiento de las armas nucleares.
25

Existen otros problemas en el funcionamiento de los reactores nucleares convencionales asociados a la constante necesidad de disponer de los residuos radiactivos de larga vida y el rápido agotamiento de la oferta mundial de materia prima de uranio natural.
30

Para resolver estos problemas, se han realizado intentos recientes para desarrollar reactores nucleares que utilizan cantidades relativamente pequeñas de uranio enriquecido no proliferativo (uranio enriquecido tiene un contenido de U-235 de 20% o menos) y no generan cantidades significativas de materiales proliferativos tales como el plutonio. Ejemplos de tales reactores se han revelado en las solicitudes internacionales WO-A-85/01826 y WO-A-93/16477, que describen reactores siembra-propagación rápidos que obtienen un porcentaje sustancial de su energía de zonas de propagación con combustible de torio. Las zonas de propagación rodean una zona de siembra que contiene barras de combustible de uranio enriquecido no proliferativo. El uranio en las barras de combustible de siembra libera neutrones que son capturados por el torio en las zonas de propagación, creando así el U-233 fisionable, que se quema en el lugar y libera calor para la planta de potencia del reactor.
35
40

El uso de torio como combustible de reactor nuclear es atractivo porque las reservas de torio en todo el mundo son considerablemente mayores que las reservas de uranio. Además, tanto de los reactores antes mencionados son "no proliferativos" en el sentido en que ni el combustible inicial cargado ni el combustible descargado al final de cada ciclo de combustible es apropiado para la producción de armas nucleares. Este resultado se consigue usando sólo uranio no proliferativo enriquecido como combustible de siembra, seleccionando las relaciones de volumen moderador/combustible para reducir al mínimo la producción de plutonio, y la adición de una pequeña cantidad de uranio enriquecido no proliferativo a la zona de propagación, en donde el componente U-238 se mezcla de manera uniforme con el U-233 residual al final del ciclo de propagación y se "desnaturaliza" (cambios en las propiedades naturales de) la U-233, como resultado de lo cual se convierte en inadecuado para la fabricación de armas nucleares.
45
50

Desafortunadamente, ninguno de los diseños de reactores anteriormente mencionados es verdaderamente "no proliferativo." En particular, se ha descubierto que ambos diseños dan como resultado un nivel de producción de plutonio proliferativo en la zona de siembra, que es mayor que el nivel mínimo posible. El uso de una zona de siembra circular con ambas de una zona de propagación interior o central y una zona de propagación circundante exterior no puede proporcionar el funcionamiento del reactor como un reactor "no proliferativo", desde la zona de siembra delgada, anular tiene un "espesor óptico" pequeño correspondientemente, que resulta en un espectro de
55

siembra (neutrón) que domina el espectro más difícil considerablemente de las zonas interior y de propagación. Esto da lugar a una mayor proporción de neutrones epitermales en la zona de siembra y producción de una mayor que la cantidad mínima de plutonio proliferativo.

5 Además, ninguno de los diseños de reactores anteriores ha sido optimizado desde el punto de vista de los parámetros de funcionamiento. Por ejemplo, las relaciones moderador/volumen de combustible en la zona de siembra y la zona de propagación son especialmente críticos para minimizar la cantidad de plutonio en la zona de siembra, de modo que el calor adecuado se libere por las barras de combustible de siembra, y la conversión óptima de torio a U-233 en la zona de propagación está garantizada. La investigación muestra que las relaciones moderador/combustible preferidas indicadas en las solicitudes internacionales son demasiado altas en las zonas de combustible de siembra y demasiado bajas en las zonas de propagación.

Los diseños del núcleo de reactores anteriores tampoco no son especialmente eficaces en el consumo de uranio enriquecido no proliferativo en los elementos de combustible de siembra. Como resultado de ello, las barras de combustible descargado en el extremo de cada ciclo de combustible de siembra contenían tanto uranio residual que tenía que ser reprocesado para su reutilización en otro núcleo del reactor.

15 El reactor descrito en la solicitud WO-A-93/16477 también requiere un sistema de control del reactor mecánico complejo que hace que sea inadecuado para volver a montar un núcleo de reactor convencional. Del mismo modo, el núcleo del reactor descrito en la solicitud WO-A-85/01826 no puede fácilmente ser transferido en un núcleo convencional, debido a que sus parámetros de diseño no son compatibles con los parámetros básicos convencionales.

20 Por último, dos diseños de reactores anteriores fueron diseñados específicamente para quemar uranio enriquecido no proliferativo con torio y no son apropiados para el consumo de grandes cantidades de plutonio. Por lo tanto, ningún diseño proporciona una solución al problema de plutonio almacenado.

25 Un reactor con un núcleo que incluye un conjunto de ensamblajes de siembra-propagación, cada uno de los cuales contiene una región de siembra central que incluye elementos combustibles de siembra hechos de un material capaz de hacer fisión nuclear que contiene uranio-235 y uranio-238, una zona de propagación anular que rodea la región de siembra que incluye elementos combustibles de propagación que contienen principalmente el torio y el 10% en volumen o menos de uranio enriquecido, un moderador en la región de siembra, con una relación en volumen del moderador a combustible en el intervalo de 2.5 a 5.0, y un moderador en la región de propagación, con una relación de moderador con combustible en el intervalo de 1.5 a 2.0, se conoce de acuerdo con la patente RU 2176826. Cada uno de los elementos de combustible de siembra es de aleación de uranio-zirconio, y la zona de siembra constituye el 25-40% del volumen total de cada módulo de siembra-propagación.

30 El reactor conocido proporciona un funcionamiento óptimo desde el punto de vista de la economía y no es "proliferativo." Este reactor se puede utilizar para consumir grandes cantidades de plutonio con el torio sin generar desechos proliferativos. El reactor produce cantidades sustancialmente menores de residuos en caliente, lo que reduce significativamente la necesidad de lugares de almacenamiento de residuos a largo plazo. S

in embargo, los ensamblajes de siembra-propagación utilizados en el reactor no son apropiados para su uso en reactores de agua ligera existentes, tales como el VVER-1000.

35 Un ensamblaje de combustible para un reactor de agua ligera similar a la del reactor descrito anteriormente, que, en concreto, tiene una forma de sección transversal hexagonal, lo que hace posible instalar el ensamblaje de combustible a partir de los módulos de siembra-propagación en un reactor de agua ligera convencional, es conocido a partir de la descripción de la patente RU 2222837.

Aparte de la presentación de la forma de la sección transversal del ensamblaje, sin embargo, la descripción de la patente anteriormente mencionada no contiene información sobre la configuración del ensamblaje lo que permitiría su instalación en un reactor de agua ligera existente, como el VVER-1000 sin modificar el diseño del reactor.

45 Un ensamblaje de combustible para un reactor de agua ligera que incluye un haz de elementos de combustible y canales de guía en rejillas separadoras, una pieza posterior y una cabeza, en donde las rejillas espaciadoras están conectadas entre sí y con la pieza posterior por elementos dispuestos a lo largo de la longitud del ensamblaje de combustible, y la cabeza se compone de piezas posteriores superior e inferior, revestimiento situado entre las placas, y una unidad de resorte, y en donde las nervaduras exteriores en la carcasa de la cabeza están conectadas la una a la otra a lo largo de las proyecciones del borde y a lo largo de las partes inferiores de placas perforadas, se conoce de acuerdo con la patente RU 2294570.

50 El ensamblaje de combustible conocido se clasifica como un diseño para ensamblajes de combustible sin chaqueta, que constituyen los núcleos de los reactores de agua a presión (PWR) tales como el VVER-1000, y tiene propiedades de funcionamiento mejoradas debido al aumento de la rigidez, longitud de la cabeza reducida y el aumento de espacio libre entre el haz de barras de combustible y la cabeza, con un aumento simultáneo de la

longitud de las barras de combustible. Este diseño hace que sea posible aumentar la carga de combustible en el ensamblaje de combustible con mayor profundidad de agotamiento y por lo tanto para aumentar la potencia del núcleo del reactor y el ciclo de vida del ensamblaje de combustible.

5 Sin embargo, todos los elementos de combustible en este ensamblaje están hechos de material fisiónable utilizado tradicionalmente en reactores tales como la VVER-1000; en consecuencia, la creación de grandes cantidades de plutonio de grado reactor es un inconveniente característico de reactores con tales ensamblajes.

10 Un objeto de una o más realizaciones de la invención es la creación de un ensamblaje de combustible que, por una parte, genera un porcentaje sustancial de su potencia en una región de propagación alimentado con torio y no crea residuos de proliferación y, por otra parte, se puede instalar en un reactor de agua ligera existente, tales como el VVER-1000 sin necesidad de modificaciones sustanciales.

15 Se proporciona un ensamblaje de combustible para un reactor de agua ligera que tiene en planta la forma de un hexágono regular contiene un subensamblaje de siembra, un subensamblaje de propagación que lo rodea, una cabeza, una pieza posterior y una estructura de bastidor, en donde el subensamblaje de siembra contiene un haz de elementos de combustible, cada uno de los cuales tiene un núcleo compuesto de uranio enriquecido o plutonio de grado reactor, con el mencionado núcleo que está rodeado por un revestimiento de aleación de circonio y que tiene un perfil de tres lóbulos formando nervaduras separadoras en espiral; la pieza posterior del subensamblaje de siembra con una rejilla de soporte unida a este para contener los elementos de combustible del subensamblaje de siembra; un canal conectado a la pieza posterior del subensamblaje de siembra que tiene en planta la forma de un hexágono regular, con el canal colocado alrededor del haz de barras de combustible; una rejilla de guía unida a la parte superior del canal para la colocación de los elementos de combustible con el fin de permitir su movimiento axial libre; un tubo central que forma un canal de guía para acomodar los controles, y los tubos periféricos conectados a la rejilla de soporte, que forma canales de guía para la inserción de barras absorbentes y barras de control, y se coloca en la cabeza con la capacidad de desplazamiento axial elástico; el subensamblaje de propagación incluye una estructura de bastidor compuesta de seis unidades de ángulo longitudinal con rejillas separadoras unidas a estas, con una abertura en la zona central para acomodar el canal del subensamblaje de siembra; un haz de elementos combustibles que constan de torio con una adición de uranio enriquecido situado en la estructura del bastidor; y la pieza posterior del subensamblaje de propagación, a la que están unidos los elementos de combustible del subensamblaje de propagación, y que se puede acoplar con el tubo de soporte del reactor de agua ligera, con dicha pieza posterior del subensamblaje de propagación y la pieza posterior del subensamblaje de siembra estando unida por un mecanismo de bloqueo y la formación de la pieza posterior del ensamblaje de combustible.

La cabeza puede estar equipada con un elemento de presión que está en contacto con el canal del subensamblaje de siembra.

35 Se proporciona un ensamblaje de combustible que tiene en planta la forma de un hexágono regular contiene un subensamblaje de siembra, un subensamblaje de propagación que lo rodea, una cabeza, una pieza posterior que se puede acoplar con el tubo de soporte del reactor de agua ligera y una estructura de bastidor, en donde el subensamblaje de siembra contiene un haz de elementos de combustible, cada uno de los cuales tiene un núcleo compuesto de uranio enriquecido o plutonio de grado reactor, dicho núcleo está encerrado por un revestimiento de aleación de circonio y que tiene un perfil de tres lóbulos formando nervaduras separadoras en espiral ; la pieza posterior del subensamblaje de siembra con una rejilla de soporte unido a él para contener los elementos combustibles del subensamblaje de siembra; un canal conectado a la pieza posterior del subensamblaje de siembra que tiene en planta la forma de un hexágono regular, con el canal colocado al rededor del haz de barras de combustible; una rejilla de guía unida a la parte superior del canal para la colocación de elementos de combustible con el fin de permitir su movimiento axial libre; un tubo central que forma un canal de guía para dar cabida a los controles, y tubos periféricos, que forma canales de guía para la inserción de barras absorbentes y barras de control, y se colocan en la cabeza con la capacidad de desplazamiento axial elástico; el subensamblaje de propagación incluye una estructura de bastidor compuesto de seis unidades de ángulo longitudinal con rejillas separadoras unidas a ellos, con una abertura en la zona central para acomodar el canal del subensamblaje de siembra; un haz de elementos de combustible que consta de torio con una adición de uranio enriquecido situado en la estructura de bastidor y unido a la placa de unión inferior (la pieza posterior); y varios tubos de soporte unidos a la pieza posterior, con la cabeza equipada para permitir el desplazamiento axial elástico de los tubos de soporte.

Desplazador de circonio o aleación de circonio que tiene la forma de la sección transversal de un triángulo regular que se encuentra principalmente a lo largo del eje longitudinal del núcleo en al menos una de las realizaciones de la invención para promover la distribución de temperatura más uniforme en el volumen del núcleo.

55 El paso axial de bobinado de las nervaduras espaciadoras en espiral también varía de 5% a 20% de la longitud de la varilla de combustible en al menos una de las realizaciones de la invención.

Además, las barras de combustible del subensamblaje de siembra en al menos una realización de la invención tienen una orientación circunferencial de tal manera que los perfiles de tres lóbulos de cualquiera de las dos barras

de combustible adyacentes tienen un eje de simetría común que pasa por los ejes de los dos elementos de combustible adyacentes en al menos una sección transversal del haz de barras de combustible.

5 También en al menos una de las realizaciones de la invención, el núcleo preferiblemente se compone de una aleación U-Zr con hasta 30% en volumen de uranio, con hasta 20% de enriquecimiento con el isótopo U-235, y el núcleo se compone de aleación Pu-Zr con hasta un 30% en volumen de plutonio de grado reactor.

10 La presente invención proporciona un elemento de combustible para uso en un ensamblaje de combustible de un reactor nuclear tal como se establece en la reivindicación 1. El elemento de combustible incluye un núcleo que comprende material fisiónable. El elemento de combustible tiene un perfil de múltiples lóbulos que forma nervaduras en espiral. Puede haber tres nervaduras. El elemento de combustible puede incluir un revestimiento que rodea el núcleo, y el revestimiento puede incluir una aleación de circonio. El elemento de combustible puede incluir un desplazador con una forma de sección transversal en forma de un triángulo regular, el desplazador extiende a lo largo de un eje longitudinal del núcleo. El desplazador puede comprender circonio o una aleación de circonio.

15 Una o más realizaciones de la presente invención proporcionan un elemento de combustible para uso en un ensamblaje de combustible de un reactor nuclear. El elemento de combustible incluye un desplazador central que se extiende a lo largo de un eje longitudinal del elemento de combustible. El desplazador incluye proyecciones que se extienden lateralmente hacia fuera. El elemento de combustible incluye también un núcleo que se extiende lateralmente hacia fuera desde el desplazador. El núcleo incluye material fisiónable e incluye una pluralidad de nervaduras que se extienden lateralmente hacia fuera. Las proyecciones están alineadas con respectivas nervaduras. Las proyecciones y sus respectivas nervaduras pueden tener giros emparejados a lo largo de sus ejes longitudinales. En una sección transversal del elemento de combustible que es perpendicular al eje longitudinal, el núcleo puede rodear el desplazador. La pluralidad de nervaduras puede incluir nervaduras iguales espaciadas circunferencialmente, en donde una forma en sección transversal del desplazador tiene la forma de un polígono regular que tiene una esquina de cada una de dichas nervaduras. Por ejemplo, la pluralidad de nervaduras puede incluir tres nervaduras iguales espaciadas circunferencialmente, en donde una forma en sección transversal del desplazador tiene la forma de un triángulo regular. Los vértices del triángulo equilátero se pueden alinear con los lóbulos del núcleo.

20 Una o más realizaciones de la presente invención proporcionan un ensamblaje de combustible para uso en un reactor nuclear. El ensamblaje de combustible incluye un subensamblaje de siembra que comprende un bastidor de siembra y una pluralidad de elementos de combustible de siembra soportado por el bastidor de siembra. El ensamblaje de combustible también incluye un subensamblaje de propagación que comprende un bastidor de propagación y una pluralidad de elementos de combustible de propagación soportados por el bastidor de propagación. El ensamblaje de combustible incluye además un mecanismo de bloqueo que bloquea de manera liberable los bastidores de siembra y de propagación juntos. El ensamblaje de siembra se puede separar del subensamblaje de propagación cuando se libera el mecanismo de bloqueo. El subensamblaje de propagación puede rodear lateralmente el subensamblaje de siembra. El subensamblaje de propagación puede incluir una abertura central en la que se ajusta al subensamblaje de siembra. La pluralidad de elementos de combustible de siembra puede incluir material fisiónable, y la pluralidad de elementos de combustible de propagación puede comprender torio.

30 En un método de utilización de un ensamblaje de combustible de acuerdo con una o más de las realizaciones anteriores los subensamblajes de siembra y de propagación están unidos el uno al otro. El método incluye, de forma secuencial:

(a) colocar el ensamblaje de combustible en un núcleo de un reactor nuclear;

(b) quemar al menos una parte del material fisiónable en el núcleo del reactor nuclear;

(c) separar el subensamblaje de combustible de siembra del subensamblaje de propagación; y

45 (d) fijar un nuevo subensamblaje de siembra al subensamblaje de propagación, el nuevo subensamblaje de siembra que comprende material fisiónable adicional.

El método también puede incluir:

(e) quemar al menos una parte del material fisiónable adicional en el núcleo del reactor nuclear.

50 Se proporciona un ensamblaje de combustible para un reactor de agua ligera que tiene en planta la forma de un hexágono regular, que incluye un subensamblaje de siembra, un subensamblaje de propagación que lo rodea, una placa de unión superior (la cabeza), una placa de unión inferior (la pieza posterior) y una estructura de bastidor, en donde el subensamblaje de siembra contiene un haz de elementos de combustible, cada uno de los cuales tiene un núcleo compuesto de uranio enriquecido o plutonio de grado reactor, el dicho núcleo estando rodeado por un revestimiento de aleación de circonio y que tiene un perfil de tres lóbulos que forma nervaduras separadoras en

5 espiral; la placa inferior de unión (la pieza posterior) del subensamblaje de siembra con una rejilla de soporte unida a este para contener los elementos combustibles del subensamblaje de siembra; un canal conectado a la placa de unión inferior (la pieza posterior) del subensamblaje de siembra que tiene en planta la forma de un hexágono regular, con el canal colocado al rededor del haz de barras de combustible; una rejilla de guía unida a la parte superior del canal para la colocación de elementos de combustible con el fin de permitir su movimiento axial libre; un tubo central que forma un canal de guía para acomodar los controles, y los tubos periféricos conectados a la rejilla de soporte, cuyos canales de guía de forma para la inserción de barras absorbentes y barras de control, y se coloca en la placa de unión superior (la cabeza) con la capacidad de desplazamiento axial elástico; el subensamblaje de propagación incluye una estructura de bastidor compuesta de seis unidades de ángulo longitudinal con rejillas separadoras unidas a ellos, con una abertura en la zona central para acomodar el canal del subensamblaje de siembra; un haz de elementos combustibles que constan de torio con una adición de uranio enriquecido situado en la estructura de bastidor; y la placa inferior de unión (la pieza posterior) del subensamblaje de propagación, a la que están unidos los elementos de combustible del subensamblaje de propagación, y que se puede acoplar con el tubo de soporte del reactor de agua ligera, con dicha placa de unión inferior (la pieza posterior) del subensamblaje de propagación y la placa de unión inferior (la pieza posterior) del subensamblaje de siembra estando unida por un mecanismo de bloqueo y la formación de la placa de unión inferior (la pieza posterior) del ensamblaje de combustible.

Preferiblemente, un desplazador hecho de circonio o aleación de circonio con una forma de sección transversal en forma de un triángulo regular se coloca a lo largo del eje longitudinal del núcleo.

20 En una realización, el paso de la torsión axial de nervaduras espaciadoras en espiral es desde 5% a 20% de la longitud del elemento de combustible.

Preferiblemente, los elementos de combustible del subensamblaje de siembra se colocan en la periferia de tal manera que en al menos una sección transversal del haz de barras de combustible, los tres perfiles de lóbulos de cualquiera de los dos elementos de combustible adyacentes tienen un eje de simetría común que pasa a través los ejes de estos elementos de combustible adyacentes.

25 En una realización, el núcleo está compuesto de aleación U-Zr, con fracción de uranio de hasta 30% en volumen, dicho uranio está enriquecido hasta el 20% en isótopo de uranio U-235.

En una realización, el núcleo está compuesto de una aleación de Pu-Zr, con fracción de plutonio de grado reactor de hasta 30% en volumen.

30 Preferiblemente, la placa de unión superior (la cabeza) está equipada con un elemento de presión que está en contacto con el canal del subensamblaje de siembra.

Se proporciona un ensamblaje de combustible para un reactor de agua ligera que tiene en planta la forma de un hexágono regular, que incluye un subensamblaje de siembra, un subensamblaje de propagación que lo rodea, una placa de unión superior (la cabeza), una placa de unión inferior (la pieza posterior) que puede ser acoplada con el tubo de soporte del reactor de agua ligera y una estructura de bastidor, en donde el subensamblaje de siembra contiene un haz de elementos de combustible, cada uno de los cuales tiene un núcleo compuesto de uranio enriquecido o plutonio de grado reactor, con dicho núcleo que está encerrado por un revestimiento de aleación de circonio y que tiene un perfil de tres lóbulos formando nervaduras separadoras en espiral; la placa inferior de unión (la pieza posterior) del subensamblaje de siembra con una rejilla de soporte unida a él para contener los elementos combustibles del subensamblaje de siembra; un canal conectado a la placa de unión inferior (la pieza posterior) del subensamblaje de siembra que tiene en planta la forma de un hexágono regular, con el canal colocado al rededor del haz de barras de combustible; una rejilla de guía unida a la parte superior del canal para la colocación de elementos de combustible con el fin de permitir su movimiento axial libre; un tubo central que forma un canal de guía para acomodar los controles, y tubos periféricos, que forma canales de guía para la inserción de barras absorbentes y barras de control, y se coloca en la placa de unión superior (la cabeza) con capacidad de desplazamiento axial elástico; el subensamblaje de zona de propagación incluye una estructura de bastidor compuesta de seis unidades de ángulo longitudinal con rejillas separadoras unidas a ellos, con una abertura en la zona central para acomodar el canal del subensamblaje de la combustible primario; un haz de elementos combustibles que constan de torio con una adición de uranio enriquecido situado en la estructura de bastidor y unido a la placa de unión inferior (la pieza posterior); y varios tubos de soporte unidos a la placa de unión inferior (la pieza posterior), con la placa de unión superior (la cabeza) equipada para permitir el desplazamiento axial elástico de los tubos de soporte.

Preferiblemente, un desplazador hecho de circonio o aleación de circonio con una forma de sección transversal en forma de un triángulo regular se coloca a lo largo del eje longitudinal del núcleo.

55 En una realización, el paso de la torsión axial de nervaduras espaciadoras en espiral es de 5% a 20% de la longitud del elemento de combustible.

Preferiblemente, los elementos de combustible del subensamblaje de siembra se colocan en la periferia de tal manera que en al menos una sección transversal del haz de barras de combustible, los tres perfiles de lóbulos de cualquiera de los dos elementos de combustible adyacentes tienen un eje de simetría común que pasa a través los ejes de estos elementos de combustible adyacentes.

- 5 Preferiblemente, el núcleo se compone de aleación U-Zr, con fracción de uranio de hasta 30% en volumen, siendo dicho uranio enriquecido hasta el 20% en isótopo de uranio U-235.

En una realización, el núcleo está compuesto de una aleación de Pu-Zr, con fracción de plutonio de grado reactor de hasta 30% en volumen.

- 10 De acuerdo con un sexto aspecto de la presente invención, se proporciona un reactor de agua ligera que contiene una serie de ensamblajes de combustible, que se distingue por el hecho de que contiene al menos un ensamblaje de combustible de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente invención que incluye opcionalmente una o más de las características preferidas asociadas con el cuarto aspecto.

- 15 Preferiblemente, todos los ensamblajes de combustible son ensamblajes de combustible de acuerdo con el cuarto aspecto de la presente invención incluyendo opcionalmente una o más de las características preferidas asociadas con el cuarto aspecto.

Se proporciona un reactor de agua ligera que contiene una serie de ensamblajes de combustible, que se distingue por el hecho de que contiene al menos un ensamblaje de combustible de acuerdo con el quinto aspecto de la presente invención incluye opcionalmente una o más de las características preferidas asociadas con el quinto aspecto .

- 20 Preferiblemente, todos los ensamblajes de combustible se construyen de acuerdo con el quinto aspecto de la presente invención e incluyen opcionalmente una o más de las características preferidas asociadas con el quinto aspecto.

- 25 Se proporciona un elemento de combustible para uso en un ensamblaje de combustible de un reactor nuclear, el elemento de combustible que comprende un núcleo que comprende un material fisionable, en donde el elemento de combustible tiene un perfil de múltiples lóbulos que forma nervaduras que se curvan o giran a lo largo de la longitud del elemento de combustible. En una realización, las nervaduras son nervaduras en espiral.

Objetos adicionales y/o alternativos, características, aspectos y ventajas de una o más realizaciones de la presente invención se harán evidentes en la siguiente descripción, los dibujos que le acompañan, y las reivindicaciones adjuntas.

- 30 Las características y ventajas de diversas realizaciones de esta invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas de la misma junto con los dibujos adjuntos.

Los ejemplos de realizaciones de la presente invención se describirán ahora en detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 35 La figura 1 es una ilustración esquemática en sección transversal de un núcleo de reactor nuclear que contiene un ensamblaje de combustible construido de acuerdo con una realización de esta invención;

La figura 2 es una vista lateral general de un ensamblaje de combustible de acuerdo con la primera realización de la invención, incluyendo vistas en corte;

La figura 3 es la cabeza del ensamblaje de combustible de acuerdo con la figura 2 en una vista ampliada en sección longitudinal;

- 40 La figura 4 es la pieza posterior del ensamblaje de combustible de acuerdo con la figura 2 en una vista en sección ampliada longitudinal;

La figura 5 es una vista en sección transversal de una barra de combustible de siembra;

La figura 6 es la vista en sección transversal A-A del ensamblaje de combustible de acuerdo con la figura 2;

- 45 La figura 7 es una vista lateral general de un ensamblaje de combustible de acuerdo con la segunda realización de la invención, incluyendo vistas en corte;

La figura 8 es la cabeza del ensamblaje de combustible de acuerdo con la figura 7, en una vista ampliada en sección longitudinal;

La Figura 9 es la pieza de cola del ensamblaje de combustible según la Fig. 7 en vista ampliada en sección longitudinal.

La figura 1 muestra el núcleo 1 de un reactor nuclear que contiene un conjunto de ensamblajes 2 de combustible que incluye una región de siembra y una región de propagación, que forman una configuración hexagonal, en donde los mismos ensamblajes de combustible tienen en planta la forma de un hexágono regular. El núcleo 1 tiene la misma configuración geométrica y dimensiones como el núcleo de un reactor de agua ligera VVER-1000 convencional, de modo que el reactor puede ser reajustado con tales conjuntos para formar un núcleo de 163 ensamblajes 2 de combustible. La diferencia entre el núcleo 1 y el núcleo del reactor VVER-1000 se encuentra en la composición y estructura de los ensamblajes 2 de combustible, como se describirá con mayor detalle a continuación. El núcleo 1 y los ensamblajes 2 de combustible que se presentan han sido desarrollados para su uso en un reactor de agua ligera VVER-1000 convencional; sin embargo, un núcleo similar y ensamblajes de combustible pueden ser creados para el uso en otros reactores estándar o diseñados especialmente sin ir más allá del alcance de esta invención.

El núcleo 1 está rodeado por un reflector 3, que preferiblemente se compone de un conjunto de ensamblajes 4 de reflectores. Cada ensamblaje 4 de reflector contiene preferiblemente una mezcla de agua y el metal del recipiente de cesta/de alta presión de núcleo. Además, el ensamblaje 4 de reflector fácil puede estar compuesto principalmente de óxido de torio.

La figura 2 muestra una vista general de la primera configuración alternativa para cada uno de los ensamblajes 2 de combustible.

Un ensamblaje 2 de combustible contiene un subensamblaje 5 de siembra, un subensamblaje 6 de propagación que lo rodea, una cabeza 7, y una pieza posterior 8 con su parte 9 de soporte en contacto con el tubo de soporte del reactor (no mostrado). El ensamblaje de combustible tiene en planta la forma de un hexágono regular. El subensamblaje 5 de siembra contiene un haz 10 de barras de combustible que incluye un número de barras, tal como 108, colocadas sobre una rejilla 11 de soporte, que está unida a la pieza posterior del subensamblaje 5 de siembra. Un canal 12 con una sección transversal hexagonal está conectada a la pieza posterior del subensamblaje 5 de combustible de siembra y encierra el haz 10 de barras de combustible. Una rejilla 13 de guía para la colocación de elementos 10 de combustible con el fin de permitir su movimiento axial libre la une a la parte superior del canal 12. Cada uno de los elementos de combustible de siembra que tiene un núcleo 14, que incluye uranio enriquecido o plutonio de grado reactor. El núcleo se compone principalmente de aleación U-Zr, con una concentración de uranio de 25% o menos en volumen en la composición del combustible y 19.7% de uranio-235 enriquecido. El núcleo 14 está encerrado por el revestimiento 15 de aleación de circonio y tiene un perfil de tres lóbulos formando nervaduras 16 separadoras en espiral (figura 5). Un desplazador 17 de circonio o aleación de circonio con la forma en sección transversal de un triángulo regular que se coloca a lo largo del eje longitudinal del núcleo. Las barras 10 de combustible de siembra pueden ser fabricadas como una única unidad de montaje por el empalme de presión (extrusión a través de una boquilla). El paso axial de bobinado de los nervaduras espaciadoras en espiral 16 se selecciona de acuerdo a la condición de la colocación de los ejes de las barras 10 de combustible adyacentes con una separación igual a la anchura a través de las esquinas en la sección transversal de una barra de combustible y es 5% a 20% de la longitud de la varilla de combustible. La estabilidad de la disposición vertical de las barras 10 de combustible se proporciona: en la parte inferior - por la rejilla 11 de soporte; en la parte superior - por la rejilla 13 de guía; con relación a la altura del núcleo - por un sistema de bandas (no se muestra) separado de manera uniforme en el canal con relación a la altura del haz. Los elementos 10 de combustible de siembra tienen una orientación circunferencial de tal manera que los tres perfiles con lóbulos de cualquiera de dos barras de combustible adyacentes tienen un eje de simetría común que pasa a través de los dos elementos de combustible adyacentes (Fig. 5) en al menos una sección en cruz del haz de la barra de combustible.

Además, el subensamblaje de siembra contiene un tubo 18 central que forma un canal de guía para acomodar los controles, y tubos 19 periféricos unidos a la rejilla 13 de soporte que los canales de guía de forma para la inserción de elementos de absorción de control basado en carburo de boro (B_4C) y titanato de disprosio ($Dy_2O_3 \cdot TiO_2$) (no mostrado) y las barras de absorbente quemable a base de carburo de boro y óxido de gadolinio (Gd_2O_3) (no mostradas) y se colocan en la cabeza 7 con la capacidad de desplazamiento axial elástico. Los tubos 19 periféricos que forman los canales de guía están hechos de aleación de circonio.

La cabeza 7 (figura 3) se compone de una unidad de resorte, que incluye resortes 20 precomprimidos, una placa 21 superior de revestimiento 22 y una placa 23 inferior. El revestimiento 22 se compone de dos partes telescópicas: la parte 24 superior conectada rígidamente a la placa 21 superior, y la parte 25 inferior conectada rígidamente a la placa 23 inferior. La unidad de resorte que incluye los resortes 20 que se coloca dentro del revestimiento 22. Los tubos 19 periféricos encajan en las fundas 26 y son capaces de actuar sobre los extremos inferiores de las fundas (debido a la presencia de un paso en la superficie exterior del tubo 19, por ejemplo). Las fundas 26 tienen bridas contra las que los resortes de compresión de la unidad de muelle 20 se apoyan. Los otros extremos de los muelles 20 se apoyan contra la placa 21 superior. Los extremos superiores de los tubos 19 pasan libremente a través de las aberturas en la placa 21 superior y las fundas 26 pasan a través de aberturas en la placa 23 inferior. Los tubos 19 tienen topes 27 en los extremos superiores. El tubo 18 central se instala en una manera similar a los tubos 19

- 5 periféricos, excepto los que pasan libremente a través de la placa inferior sin el uso de una funda. El resorte 20 a través del cual pasa el tubo 18 centrales se apoya directamente contra la placa 23 inferior de la cabeza 7. Un soporte 28 con un tope 29 en el extremo superior está unido a la placa 23 inferior para limitar la distancia entre las placas 21 y 23; el soporte 28 pasa libremente a través de una abertura en la placa 21 superior. Un elemento 30 de presión en contacto con el canal 12 del subensamblaje 5 de siembra está unido a la placa 23 inferior. Por lo tanto una carga aplicada a la placa 21 superior con el canal 12 fijo contra el movimiento axial se transmite a la rejilla 11 de soporte, tanto por medio de los tubos 19 periféricos y directamente a través del canal 12.
- 10 La cabeza puede ser construida sin las fundas 26. En ese caso, todos los resortes 20 de la unidad de resortes se apoyan contra la placa 23 inferior, y los tubos 19 periféricos pasan libremente a través de aberturas coincidentes en la placa 23 inferior (similar a la del tubo 18 central). La carga entera se aplica a la placa 21 superior con el canal 12 fijo contra el movimiento que se transmite a la rejilla 11 de soporte directamente a través del canal 12.
- 15 La pieza posterior del subensamblaje 5 de siembra tiene un dispositivo 31 de bloqueo unido a la carcasa que incluye una pared 32 cilíndrica con aberturas 33, las bolas 34 colocadas en las aberturas, y un elemento 35 de bloqueo con una ranura 36 anular capaz de un movimiento axial. El dispositivo 31 de bloqueo, que permite la conexión del subensamblaje 5 de siembra con la pieza 37 posterior del subensamblaje de propagación, puede también ser construida en cualquier otra forma; Sólo es importante que proporcione una conexión desmontable de la pieza posterior de los subensamblajes de siembra y de propagación.
- 20 El subensamblaje 6 de propagación incluye una estructura 38 de bastidor, un haz de barras 39 de combustible situadas en el bastidor, y una pieza 40 posterior.
- 25 La estructura 38 del bastidor está compuesta de seis unidades 41 de ángulo longitudinal con rejillas 42 separadoras unidas a ellas mediante soldadura por puntos de resistencia. Cada rejilla 42 separadora es una rejilla de panal que forman un ensamblaje de células (específicamente 228) unidas a la llanta en hexágonos interior y exterior. La rejilla 42 separadora proporciona el espaciamiento requerido de las barras 39 de combustible y la longitud requerida de contacto con ellas para permitir que las barras 39 de combustible puedan deslizarse en las celdas de la cuadrícula espaciadora cuando se expanden en forma longitudinal debido a la radiación y el calor, las fuerzas mínimas posibles de deslizamiento para las barras de combustible para reducir las tensiones internas en el haz, y la tensión inicial requerida para evitar la corrosión de contacto de los elementos de combustible durante el funcionamiento. Las rejillas 42 espaciadoras tienen una abertura en la zona central para acomodar el canal 12 del subensamblaje 5 de siembra.
- 30 Las unidades de ángulo están conectadas de manera rígida en la parte inferior de la pieza 40 posterior del subensamblaje 6 de propagación, a la que la rejilla 43 de soporte del subensamblaje de propagación para mantener las barras 39 de combustible unidas. La rejilla 43 de soporte del subensamblaje 6 de propagación proporciona resistencia mecánica bajo cargas en la forma en que las condiciones de funcionamiento son normales, en la forma en que se violan las condiciones normales de funcionamiento, y en los accidentes de diseño y también proporciona las resistencias hidráulicas requeridas de acuerdo con los cálculos.
- 35 El haz 39 de barras de combustible del subensamblaje de propagación incluye un ensamblaje de elementos de combustible (específicamente 228 elementos) hechos de una composición que incluye 12% en volumen de UO_2 y 88% en volumen de ThO_2 con 19.7% de U-235 de enriquecimiento.
- 40 La relación entre el volumen de todos los elementos combustibles del subensamblaje de siembra $V_{siembra}$ con el volumen de todos los elementos combustibles del subensamblaje de propagación V_{blanco} es aproximadamente 0.72.
- 45 La pieza 40 posterior del subensamblaje de propagación incluye una rejilla 43 de soporte, una carcasa 44 y un anillo 46 conectado rígidamente a ella por los apoyos 45; el anillo interactúa con el dispositivo 31 de bloqueo. Los extremos de los elementos 39 de combustible de propagación están unidos a la rejilla 43 de soporte. La rejilla 43 de soporte proporciona resistencia mecánica en las formas de cargas con condiciones normales de funcionamiento, formas con violaciones de las condiciones de funcionamiento normales, y el diseño de accidentes y también proporciona la resistencia hidráulica necesaria para el flujo de refrigerante (agua). La carcasa 44 puede estar acoplado con el tubo de soporte (no mostrado) del reactor de agua ligera y actúa como un dispositivo de guía para el suministro de líquido refrigerante a las áreas de los subensamblajes de siembra y de propagación.
- 50 Las figuras 7-9 muestran la segunda alternativa para la construcción de cada uno de los ensamblajes 2 de combustible.
- 55 Este diseño alternativo difiere del diseño que se muestra en las figuras 2-4 en que los subensamblajes de siembra y de propagación no están conectados rígidamente entre sí. Como se muestra en la figura 9, la pieza posterior del subensamblaje de siembra tiene una placa 47 cilíndrica inferior del enlace en lugar del dispositivo 31 de bloqueo, y la carcasa 44 en la pieza 40 posterior del subensamblaje 6 de propagación que carece de los apoyos 45 y el anillo 46 se muestra en la figura 4. El revestimiento 22 de la cabeza 7 (figura 8), en contraste con la versión mostrada en la figura 3, se construye en una sola pieza, y una unidad 48 de resorte adicional está unido de manera rígida (por

ejemplo, soldada) a la misma. La unidad 48 de resorte adicional incluye principalmente varios (por ejemplo, seis) placas 49 superiores adicionales distribuidas de manera uniforme aproximadamente la circunferencia y rígidamente conectados al revestimiento 22, una placa 50 inferior adicional rígidamente unida a la placa 23 inferior de revestimiento 51 unida a las placas 49 y 50 adicionales, resortes 52 de compresión y tubos 53 de soporte. Los tubos 53 de soporte están unidos por los extremos inferiores de la rejilla 43 de soporte del módulo 6 de propagación. Las partes superiores de los tubos 53 de soporte se construyen y se colocan en las placas 49 y 50 adicionales superior e inferior similares a los tubos 19 periféricos; es decir, los tubos 53 encajan en las fundas 26 y son capaces de actuar en las fundas en una dirección ascendente. Los resortes 52 de compresión de la unidad 48 de resorte adicional se apoyan en un extremo contra las bridas de las fundas 26 y en el otro extremo contra las placas 21 superiores adicionales. Las partes superiores de los tubos 53 de soporte pasan libremente a través de aberturas en las placas adicionales superiores 49, y las fundas 26 pasan a través de aberturas en la placa 50 inferior adicional. Los tubos 53 de soporte tienen topes 54 en los extremos superiores.

Antes de que un ensamblaje de combustible se coloque en el reactor, el subensamblaje 5 de siembra y el subensamblaje 6 de propagación se ensamblan primero por separado.

En el ensamblaje del subensamblaje de siembra de acuerdo con la primera realización, los elementos 10 de combustible están conectados a la rejilla 13 de guía unida al canal 12, y el tubo 18 central y los tubos 19 periféricos están conectados a la cabeza, además de estar unido a la rejilla 13 de guía. Los tubos 18 y 19 pasan a través de las fundas 17 situadas en las aberturas en la placa inferior, a través de los resortes 20 y a través de aberturas en la placa 21 superior. Entonces los topes 27 están unidos a los extremos superiores de los tubos (por una unión roscada o de bayoneta, por ejemplo).

Los elementos 39 de combustible del subensamblaje de propagación se colocan en una estructura 9 de bastidor pasándolos a través de rejillas 42 separadoras y la fijación a la rejilla 43 de soporte.

A continuación, los subensamblajes de siembra y de propagación ensamblados están conectados para formar un ensamblaje de combustible pasando el canal 12 del subensamblaje 5 de la combustible primario a través de aberturas en la parte central de las rejillas 42 separadoras. La configuración de estas aberturas en la parte central de las rejillas 42 espaciadoras coincide con la forma de la sección transversal del canal 12, de modo que el canal 12 pasa libremente a través de las aberturas. El elemento 35 de bloqueo en la pieza posterior del subensamblaje de siembra se desplaza hacia arriba, para que las bolas 34 situadas en las aberturas 33 de la pared 32 cilíndrica sean capaces de movimiento en una ranura 36 anular, permitiendo así que la pared 32 cilíndrica pueda pasar a través del anillo 46. Después de que la pieza final del subensamblaje de siembra se detenga contra la cara de extremo superior del anillo 46, el elemento 36 de bloqueo se desplaza hacia abajo. Las bolas 34 son forzadas a salir de la ranura 36, se desplazan hacia el exterior en las aberturas 33 y sobresalen de la pared 32. Como resultado, debido a la interacción de las bolas desplazadas y la cara del extremo inferior del anillo 46, la pieza posterior del subensamblaje de siembra no puede moverse hacia arriba en relación con la pieza posterior del subensamblaje de propagación. Así, los subensamblajes de siembra y de propagación forman un único ensamblaje 2 de combustible.

Después de que un ensamblaje 2 de combustible se coloca en el reactor 1, y la pieza 8 posterior está apoyada en el tubo de soporte (no mostrado) del reactor de agua ligera, el ensamblaje 2 de combustible se mantiene presionado por la placa superior del reactor (no mostrado) apoyada contra la cara del revestimiento de la placa 21 superior de la cabeza 7. A continuación, la fuerza es transmitida a la unidad de resortes con resortes 20, que se comprimen en una cantidad diseñada para mantener el ensamblaje 2 de combustible a flote hacia arriba en el flujo refrigerante desde abajo; la placa 21 superior de la cabeza 7 se mueve hacia abajo en relación a la placa 23 inferior por la cantidad de compresión de la unidad de resortes. La posibilidad de movimiento hacia abajo de la placa 21 superior respecto a la placa 23 inferior de la cabeza 7 es proporcionada de manera telescópica por la parte 24 superior del revestimiento 22, que está conectado rígidamente a la placa 21 superior, y la parte 25 inferior del revestimiento 22, que está conectado rígidamente a la placa 23 inferior.

Entonces la fuerza de los extremos inferiores de los resortes 20 de la unidad de resorte se transmite a través de las fundas 26, que actúan sobre los tubos 19 periféricos por sus extremos inferiores, a los tubos 19 periféricos y luego a la rejilla 11 de soporte y a través de la pieza posterior del subensamblaje de siembra, el dispositivo 31 de bloqueo, el anillo 46 y los tirantes 45 a la pieza 44 posterior del subensamblaje 6 de propagación, que entra en contacto con el tubo de soporte (no mostrado) del reactor de agua ligera.

Además, parte de la fuerza de compresión de la placa superior del reactor se transmite en el canal 12 del subensamblaje de siembra por la acción sobre el elemento 30 de presión por la fuerza de un resorte 20 que rodea el tubo 18 central y apoyándose directamente contra la placa 23 inferior, que está conectada rígidamente al elemento de presión. Si la cabeza 7 no tiene fundas 26, toda la fuerza de compresión se transmite a través del canal 12.

El refrigerante pasa en el ensamblaje 2 de combustible a través de la carcasa 44 de la pieza posterior del subensamblaje 6 de propagación; el flujo de refrigerante se divide en dos partes, una de las cuales se ejecuta dentro de la carcasa 12 del subensamblaje de siembra y baña los elementos 10 de combustible de siembra, mientras que el otro corre fuera de la caja 12 y baña los elementos 39 de combustible del subensamblaje de propagación.

La fuerza de compresión de la cabeza 7 que actúa desde la placa superior del reactor (no mostrado) mantiene los elementos de combustible a flote en el flujo de refrigerante especificado.

5 El paso del flujo de refrigerante requerido (para la extracción de la potencia nominal del ensamblaje de combustible) a través de los subensamblajes de siembra y de propagación en el gradiente de presión nominal (utilizado en los reactores VVER-1000 existente) se proporciona con relación a la altura de los ensamblajes de combustible con preservación de la capacidad de funcionamiento de los ensamblajes:

- Por el uso de un canal 12 entre los subensamblajes de siembra y de propagación;

10 - Por la forma de los elementos 10 de combustible de siembra (tres perfiles lobulados), su orientación circunferencial mutua y el bobinado de paso axial de las nervaduras separadoras 16 de espiral, que promueve una superficie de transferencia de calor bien desarrollada y una más uniforme distribución de la temperatura de manera significativa del refrigerante en la sección transversal del subensamblaje de siembra debido a la mezcla por convección forzada del refrigerante.

15 Las características hidráulicas completas del ensamblaje 2 de combustible prácticamente coinciden con las características de un ensamblaje de combustible estándar, lo que asegura el mantenimiento de la resistencia del núcleo de un reactor VVER-1000 con ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de la invención en el nivel nominal. Por lo tanto la instalación de ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención en un VVER-1000 no causa un cambio en la velocidad de flujo del refrigerante en el circuito primario del reactor.

20 Los elementos 10 de combustible del subensamblaje de siembra, a medida que se calientan durante el funcionamiento, comienzan a alargarse hacia arriba debido a la expansión térmica y la radiación; el haz de elementos de combustible se expande de forma independiente de los tubos 19 periféricos, ya que este último pasa a través de las celdas de la cuadrícula 13 de guía con una holgura garantizada. Por lo tanto el haz de elementos 10 de combustible no tiene efecto en el soporte de la carga de los tubos 19 periféricos y no se deforman; en consecuencia, la estabilidad geométrica de la forma del ensamblaje 2 de combustible se conserva durante el funcionamiento.

25 Los elementos 39 de combustible del subensamblaje de propagación se expanden en longitud durante la operación y comienzan a ocupar el espacio libre entre sus extremos y la cabeza 7 debido a la expansión de radiación.

30 El funcionamiento de un ensamblaje 2 de combustible de acuerdo con la segunda realización de la invención es similar, excepto que la carcasa 44 del subensamblaje de propagación se presiona contra el tubo de soporte del reactor por la transmisión de la fuerza de compresión de la placa superior del reactor a través de los tubos 53 de soporte, y el subensamblaje de siembra, que no está unido al subensamblaje de propagación, se evita que flote por la acción de los resortes 20 contra las bridas de las fundas 26, que transmiten la fuerza a la rejilla 11 de soporte del subensamblaje de siembra.

35 El uso de una o más realizaciones de esta invención hace que sea posible lograr un ahorro de uranio natural debido a la presencia de una parte de torio (subensamblaje de propagación) en el diseño del ensamblaje de combustible, ya que el torio durante el proceso de agotamiento acumula combustible nuclear secundario en la forma de uranio-233, cuya quema realiza una contribución sustancial a la potencia de salida del núcleo de un reactor con tales ensamblajes de combustible. Esto conduce a una mejora en las características de no proliferación y simplifica los problemas en el manejo de ensamblajes de combustible agotado, ya que la acumulación del combustible nuclear secundario tradicional (plutonio de grado reactor, que puede ser utilizado para producir armas nucleares) para reactores VVER-1000 se reduce significativamente (un 80%), y el nuevo combustible nuclear secundario, el uranio-233 (o más exactamente, lo que queda después de que arde "en su lugar" en un módulo de zona de propagación de torio), no es utilizable para la producción de armas nucleares debido a la contaminación con el isótopo uranio-232 e incluso los isótopos de plutonio. Los problemas en el manejo de ensamblajes de combustible agotado se puede simplificar mediante la reducción del volumen de residuos mediante el aumento del ciclo de vida especificado del combustible y reduciendo el contenido de isótopos con toxicidad de radiación a largo plazo en el combustible descargado.

45 El diseño del ensamblaje de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención hace que sea posible utilizar el ensamblaje de combustible en los reactores VVER-1000 debido tanto a la compatibilidad mecánica e hidráulica como neutrónica con el diseño de ensamblajes de combustible estándar.

50 La compatibilidad mecánica con el ensamblaje estándar de combustible para el reactor VVER-1000 está garantizada por:

- La presencia de una estructura de bastidor que proporciona resistencia a la deformación durante el funcionamiento a largo plazo y de alto niveles de agotamiento de combustible;

- medidas de acoplamiento idénticas;

- El uso de la pieza posterior, cabeza y estructura de la trama diseñada compatible con las partes correspondientes de los ensamblajes de combustible estándar de la esquina;

- La compatibilidad del diseño del subensamblaje de siembra con mecanismos de control estándar y dispositivos de manipulación de cargas.

5 Las características hidráulicas completas de un ensamblaje de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención prácticamente coinciden con las características de un ensamblaje de combustible estándar debido a la presencia de un sistema de dos canales paralelos formados por los subensamblajes de siembra y de propagación y unidas por distribución común (entrega) y las cabeceras de recolección. Los subensamblajes de siembra y de propagación están conectados hidráulicamente en los segmentos de entrada y salida. Esta estructura de ensamblaje de combustible asegura el mantenimiento de la resistencia del núcleo de un reactor VVER-1000 con ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de la invención a nivel nominal. Por lo tanto la instalación de ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención en un reactor VVER-1000 no causará un cambio en la velocidad de flujo del refrigerante en el circuito primario del reactor. La relación de las resistencias hidráulicas entre la entrada al ensamblaje, la parte activa del subensamblaje de propagación y la salida del ensamblaje en conjuntos de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención y el ensamblaje de combustible estándar son similares, lo que garantiza la compatibilidad hidráulica de los ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de la invención con ensamblajes estándar y la ausencia de desbordamiento de refrigerante entre ellos. Esto hace que sea posible el uso de algunos ensamblajes de combustible de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención en un reactor al mismo tiempo con ensamblajes de combustible estándar para el reactor.

La compatibilidad neutrónica con el ensamblaje de combustible estándar es proporcionada por lo siguiente:

- El nivel de combustión especificado se consigue mediante la utilización de composiciones de combustible y composiciones con absorbentes consumibles específicos;

25 - Potencia de salida estándar del ensamblaje de combustible se consigue mediante la utilización de fracciones específicas de carga de combustible en composiciones de combustible de siembra y de propagación;

- La satisfacción de los requisitos para un perfil no uniforme de la potencia de salida se consigue mediante la utilización de fracciones específicas de carga de combustible en varias filas de barras de combustible de siembra y la composición de la carga de combustible en la zona de propagación;

30 - La preservación de los efectos de reactividad dentro del rango típico para ensamblajes de combustible estándar se consigue mediante la utilización de las características especiales de las composiciones de combustible;

- La capacidad de regular el nivel de producción y reducir el uso de los sistemas de control de salida estándar se consigue mediante la utilización de canales tecnológicos estándar para guiar las barras de control en los tubos periféricos en el subensamblaje de siembra que son compatibles con el subensamblaje.

35 Otra ventaja de una o más realizaciones de la invención es que el ensamblaje de siembra-propagación de acuerdo con una o más realizaciones de esta invención está en secciones, lo que hace que sea posible cambiar el subensamblaje de siembra de forma independiente. Cambiar el subensamblaje de siembra con más frecuencia produce condiciones más favorables (con respecto al equilibrio de neutrones y tiempo de irradiación) para el torio colocado en el subensamblaje de propagación del ensamblaje de combustible.

40 Las anteriores realizaciones ilustradas se proporcionan para ilustrar los principios estructurales y funcionales de varias realizaciones de la presente invención y no pretenden ser limitantes. Por el contrario, los principios de la presente invención pretenden incluir cualquiera y todos los cambios, alteraciones y/o sustituciones dentro del espíritu y alcance de las siguientes reivindicaciones. Cualquiera o más aspectos de las diversas realizaciones se pueden usar sin usar también otros aspectos de dichas realizaciones, y sin desviarse del alcance de la presente invención. Por ejemplo, mientras que los elementos 10 de combustible ilustrados tienen una torsión espiral a lo largo de sus ejes longitudinales, tal espiral puede ser omitida. Mientras que los elementos 10 de combustible ilustrados tienen una sección transversal no cilíndrica, pueden comprender, alternativamente, una sección transversal cilíndrica. Mientras que los elementos 10 de combustible ilustrados incluyen una pluralidad de nervaduras separadoras o lóbulos 16, tales nervaduras/lóbulos 16 pueden ser omitidas. Mientras que los elementos 10 de combustible ilustrados incluyen desplazadores 17, tales desplazadores pueden omitirse. Mientras que los elementos 10 de combustible ilustrados se utilizan en conjunción con una disposición de combustible de siembra/de propagación dentro de un ensamblaje de combustible, los elementos 10 de combustible, alternativamente, se pueden utilizar en conjunción con una variedad de otros tipos de ensamblajes de combustible y/o diseños de núcleo. Mientras que el ensamblaje 2 de combustible ilustrado utiliza un canal 12 y varias otras estructuras particulares dentro de un ensamblaje de combustible, tales estructuras pueden ser omitidas y/o modificadas en una variedad de formas para dar cabida a otro ensamblaje y/o diseño de núcleo.

Reivindicaciones

1. Un elemento de combustible para uso en un ensamblaje de combustible de un reactor nuclear, el elemento de combustible que comprende:
un núcleo que comprende material fisionable; y
- 5 un revestimiento que rodea el núcleo,
en donde el elemento de combustible tiene un perfil multi-lobulado que forma nervaduras en espiral,
en donde las nervaduras en espiral comprenden material fisionable, en donde las nervaduras en espiral tienen un paso de torsión axial de entre 5% y 20% de una longitud del elemento de combustible.
- 10 2. Un elemento de combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el revestimiento comprende una aleación de circonio.
3. Un elemento de combustible de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el núcleo comprende una aleación U-Zr, con fracción de uranio de 30% o menos por volumen, con dicho uranio estando enriquecido al 20% o menos con un isótopo de uranio U-235.
- 15 4. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el núcleo comprende una aleación de Pu-Zr, con una fracción de plutonio de reactor de 30% o menos por volumen.
5. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el elemento de combustible comprende un elemento de combustible extruido que se extruye a través de un troquel.
- 20 6. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un desplazador central que se extiende a lo largo de un eje longitudinal del elemento de combustible, el desplazador que comprende salientes que se extienden lateralmente hacia fuera, el núcleo que se extiende lateralmente hacia fuera desde el desplazador,
en donde las proyecciones están alineadas con las respectivas nervaduras en espiral.
7. Un elemento de combustible de acuerdo con la reivindicación 6, en donde las proyecciones y sus respectivas nervaduras tienen giros coincidentes a lo largo de sus ejes longitudinales.
- 25 8. Un elemento de combustible de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, en donde en una sección transversal del elemento de combustible que es perpendicular al eje longitudinal, el núcleo rodea el desplazador.
9. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en donde la pluralidad de nervaduras comprende nervaduras igualmente espaciadas circunferencialmente, y en donde una forma en sección transversal del desplazador tiene la forma de un polígono regular que tiene una esquina de cada una de dichas nervaduras.
- 30 10. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en donde la pluralidad de nervaduras comprende tres nervaduras igualmente espaciadas circunferencialmente, y en donde una forma en sección transversal del desplazador tiene la forma de un triángulo regular, en donde los vértices de un triángulo regular están alineados con los lóbulos del núcleo.
- 35 11. Un elemento de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en donde el desplazador comprende circonio o una aleación de circonio.

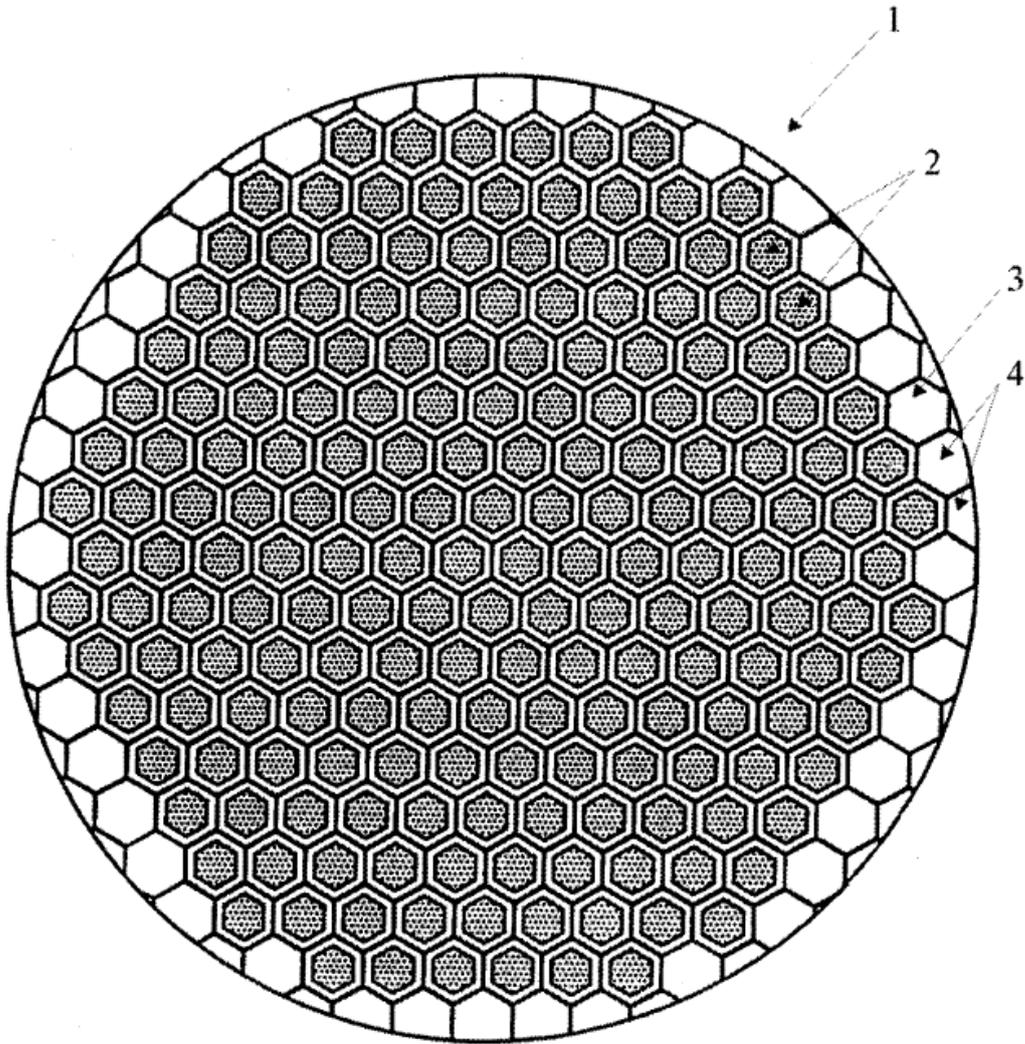


FIG. 1

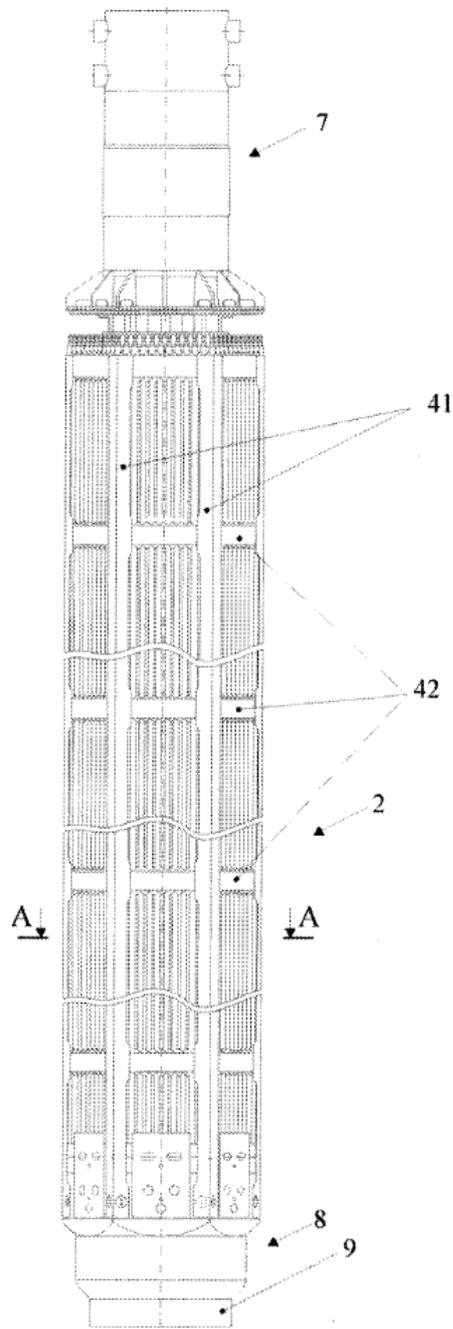


FIG. 2

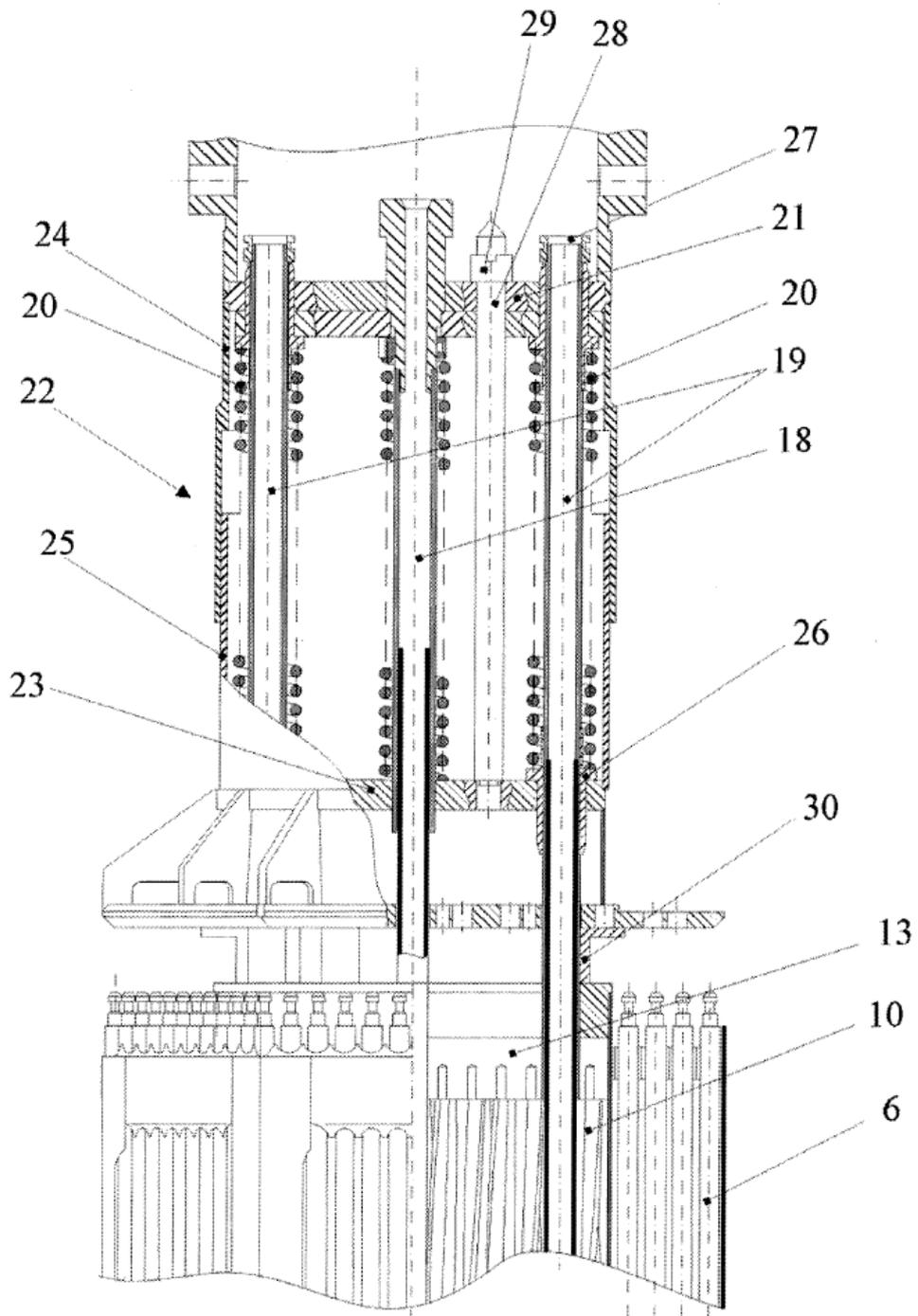


FIG. 3

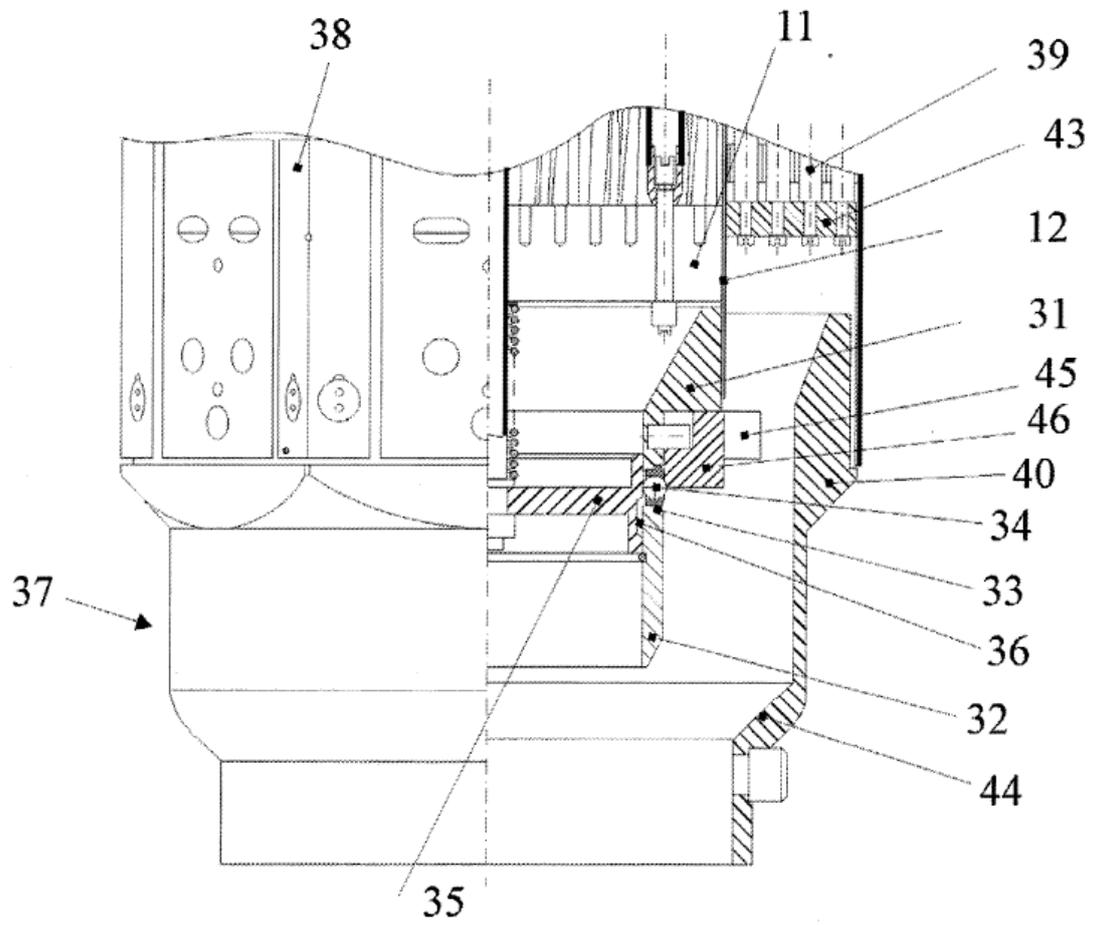


FIG. 4

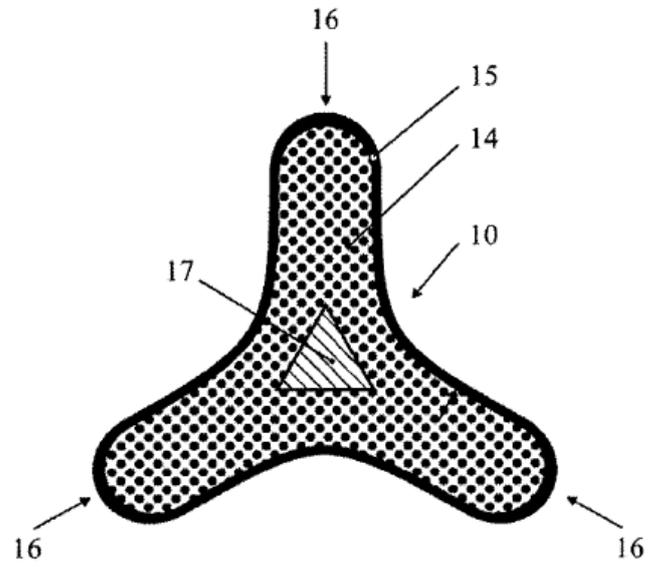


FIG. 5

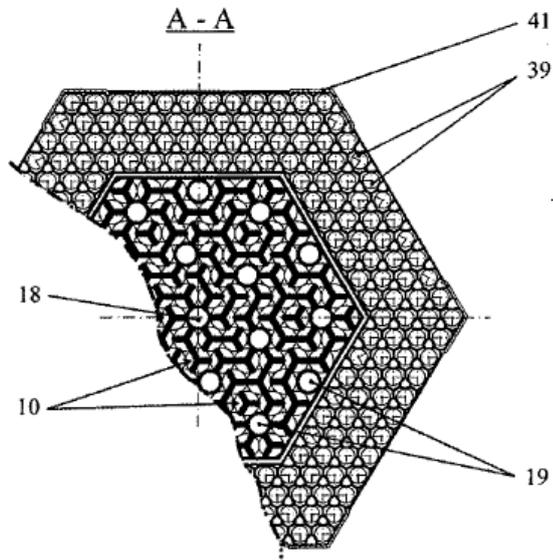


FIG. 6

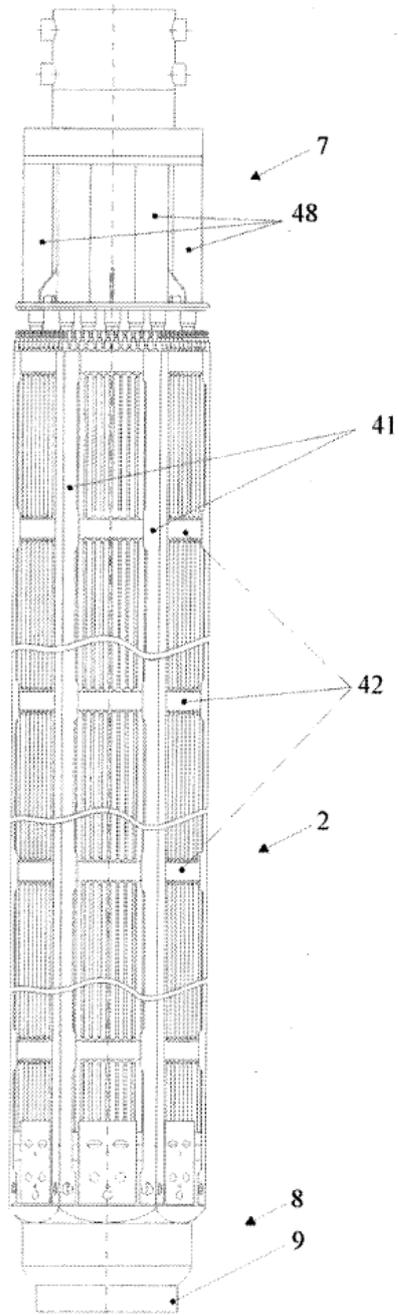


FIG. 7

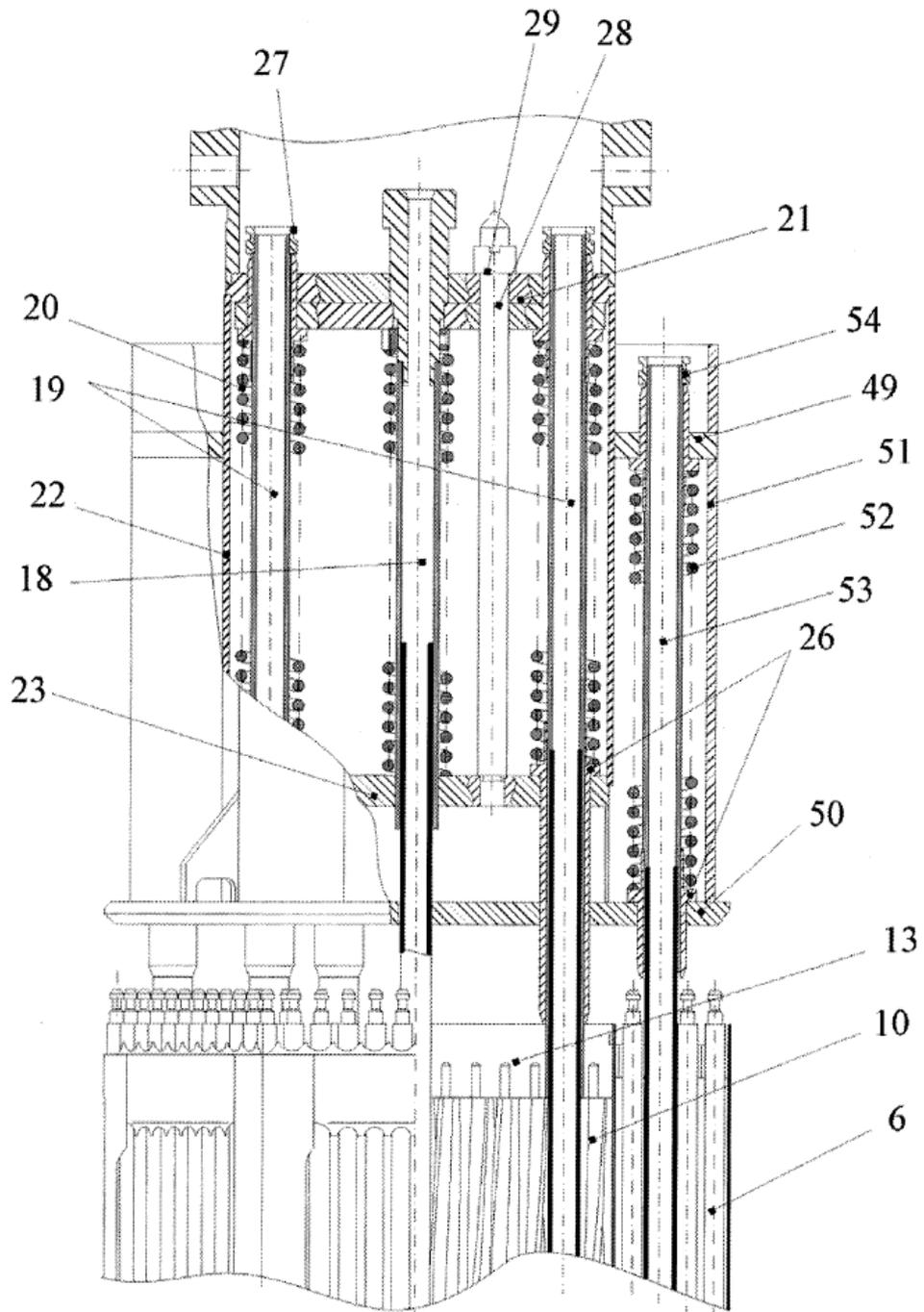


FIG. 8

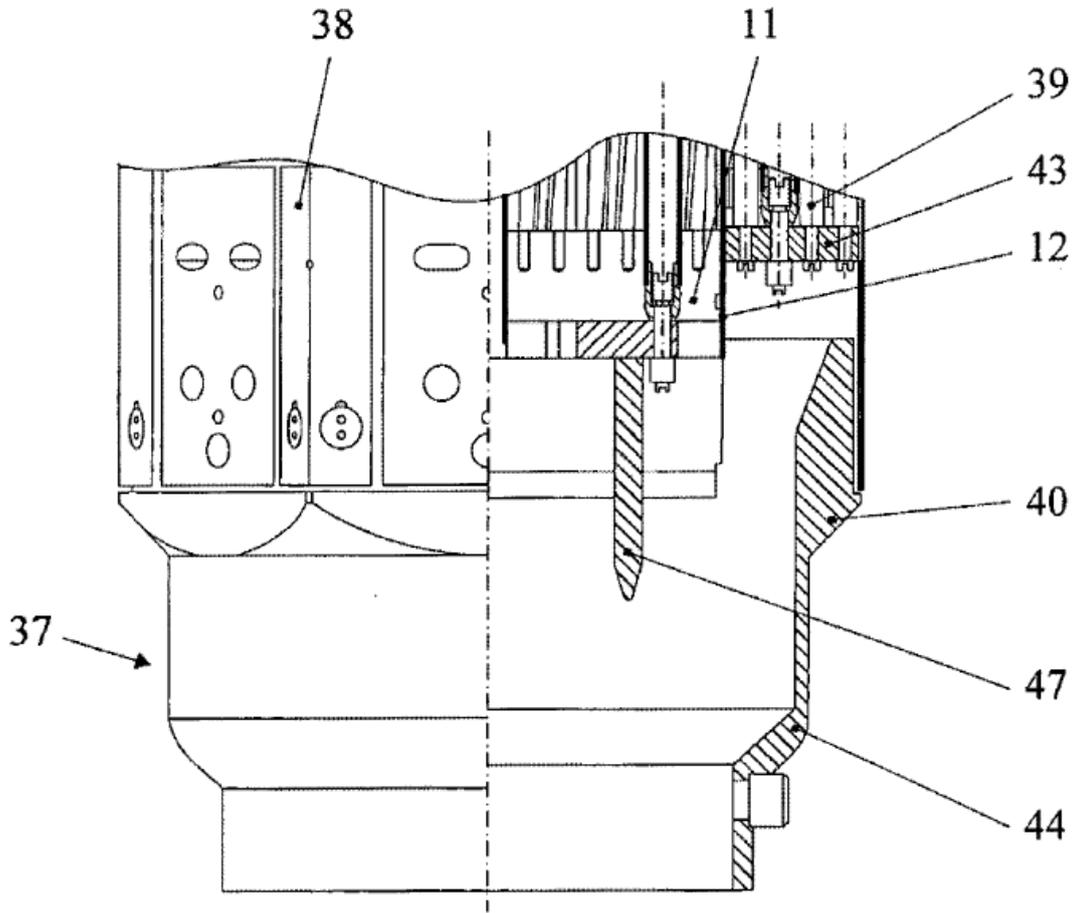


FIG. 9