(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 382 396**

(51) Int. Cl.:
G21C 15/16 (2006.01)
G21C 19/307 (2006.01)
B01D 19/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **07819411 .5**
(96) Fecha de presentación: **29.10.2007**
(97) Número de publicación de la solicitud: **2095370**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

(54) Título: **Planta técnica nuclear y procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear**

(30) Prioridad:
24.11.2006 DE 102006055966

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.06.2012

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.06.2012

(73) Titular/es:
AREVA NP GMBH
PAUL-GOSSEN-STRASSE 100
91052 ERLANGEN, DE

(72) Inventor/es:
MEINTKER, Manfred

(74) Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

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).

ES 2 382 396 T3

DESCRIPCIÓN

Planta técnica nuclear y procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear

La invención se refiere a una planta técnica nuclear con un reactor de agua a presión y una instalación de desgasificación para el refrigerante del reactor, que presenta una columna desgasificadora que puede ser atravesada por el refrigerante del reactor, comprendiendo la instalación de desgasificación un evaporador de refrigerante con un primer intercambiador de calor y un condensador de vapor de destilación con un segundo intercambiador de calor, estando atravesado el intercambiador de calor del evaporador de refrigerante por el lado secundario por un caudal parcial de refrigerante del reactor, y estando conectado el intercambiador de calor del condensador de vapor de destilación por su lado primario a una conducción de salida de vapor y gas conectada a la columna del desgasificador. La invención se refiere además a un procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear de esta clase.

En el refrigerante del reactor de los reactores de agua a presión se encuentra, condicionado por el funcionamiento, un gas que no se puede condensar, por ejemplo hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y diversos gases nobles radioactivos tales como ^{85}Kr, ^{133}Xe. Según el estado de funcionamiento de la planta del reactor, la presencia de estos gases en el refrigerante puede ser necesaria e intencionada o puede no tener importancia esencial o también puede ser nociva o indeseable y por lo tanto se debe evitar.

Esto se trata de explicar con mayor detalle mediante los ejemplos siguientes:

Durante el régimen de potencia del reactor se requiere hidrógeno disuelto (H_2) en una concentración de por ejemplo 2 ppm a 4 ppm con el fin de limitar al mínimo el oxígeno que en este estado de funcionamiento es nocivo (dado que provoca la corrosión). Pero antes de parar el reactor para la revisión es preciso eliminar el hidrógeno con el fin de permitir por una parte el acondicionamiento químico del refrigerante requerido para este estado y por otra parte evitar riesgos de explosión al abrir el circuito de refrigeración del reactor.

Durante la revisión del reactor el oxigeno se disuelve casi hasta el límite de saturación (aprox. 8 ppm) en el refrigerante del reactor, lo que en este estado no tiene importancia, ya que ni es útil ni es nocivo. Pero al volver a poner en servicio el reactor después de la revisión, el oxigeno solamente es admisible en una concentración muy reducida (por ejemplo 5 ppb), ya que en las condiciones de funcionamiento del circuito de refrigeración del reactor posiblemente podría causar una corrosión inadmisible de los materiales de la estructura.

La presencia de nitrógeno, se aporta al sistema de refrigeración del reactor por ejemplo procedente del colchón de gas de diversos contenedores y aparatos en los que se maneja el refrigerante del reactor, es considerado sin importancia por muchos especialistas. En cambio otros consideran indeseable unas concentraciones elevadas de nitrógeno ya que no excluyen por una parte una interacción con el material de los tubos envolventes de los elementos combustibles, y dado que por otra parte podría haber una ligera influencia negativa para los intercambiadores de iones en la instalación de depuración del refrigerante.

Los gases nobles radioactivos disueltos en el refrigerante procedentes de la fisión nuclear en el reactor no tienen importancia durante el régimen de potencia de la planta del reactor, ya que son químicamente inactivos y porque la radiación radioactiva emitida por ellos es absorbida suficientemente por el blindaje existente en cualquier caso. Pero durante los trabajos de mantenimiento o reparación en la planta del reactor constituyen un obstáculo debido a la radiación que emiten. Especialmente al abrir la tapa del reactor puede llegar a producirse una liberación de estos gases nobles al aire ambiente, lo cual hace necesario evacuar la contención del reactor para proteger al personal. Por lo tanto es deseable que al efectuar la parada del reactor para la revisión se eliminen del refrigerante estos gases nobles radioactivos.

Por los motivos arriba citados es por lo tanto necesario controlar el contenido de gases disueltos no condensables contenidos en el refrigerante del reactor. Para ello existen en las centrales nucleares con reactores de agua a presión diversas instalaciones mediante las cuales es posible por una parte introducir en el refrigerante diversos gases (en particular hidrógeno) o por otra parte extraer del refrigerante gases disueltos. Las instalaciones para añadir gas no constituyen el objeto de esta invención y por lo tanto no se volverán a mencionar. El objeto de la invención es más bien un sistema especialmente eficiente energéticamente para la eliminación del gas disuelto en el refrigerante.

Unas instrucciones básicas relativas a la técnica de proceso, medidas de protección contra la radiación, explotación, conservación y supervisión de instalaciones de gasificación de refrigerante primario figuran por ejemplo en la Norma Industrial Alemana DIN 25476.

Para la extracción de gas disuelto se emplea en muchas plantas de reactores de agua a presión por ejemplo el recipiente de compensación del volumen existente en el sistema de regulación del volumen. El refrigerante del reactor extraído del circuito de refrigeración del reactor se rocía en el recipiente de compensación de volumen por encima del nivel de agua, y al hacerlo adopta con respecto a la concentración de los gases disueltos en él casi un estado de equilibrio con la atmósfera de gas existente en el recipiente por encima del nivel de líquido. En la medida en que esta atmósfera de gas está originalmente exenta de oxígeno, se produce durante el proceso de rociado una

disminución de la concentración de oxígeno en el refrigerante del reactor que se acumula en el fondo del recipiente de compensación de volumen. Con esto se puede extraer oxígeno del refrigerante del reactor, por ejemplo al proporcionar una atmósfera pura de hidrógeno durante el arranque del reactor. Cuando en el recipiente de compensación de volumen existe una atmósfera pura de nitrógeno, se le puede extraer al refrigerante oxígeno del modo descrito. Esta variante se aplica por lo tanto durante la parada del reactor para la revisión. El refrigerante tratado de este modo se vuelve a inyectar nuevamente mediante las bombas de impulsión del sistema de regulación del volumen en el circuito de refrigeración del reactor, de modo que allí se reduzca la concentración de la clase respectiva del gas disuelto, tal como se desea. Ahora bien, este proceso tiene solamente una eficacia relativamente escasa y da lugar a menudo a retrasos en el funcionamiento de la central nuclear, ya que no se alcanzan a tiempo los valores especificados de la concentración máxima de gas. Y es que generalmente se desean unos márgenes de tiempo inferiores a un día para realizar las modificaciones necesarias en el contenido de gas, que apenas se pueden cumplir con el procedimiento descrito.

En otro tipo de plantas de reactor de agua a presión se emplea para la extracción de gas disuelto en el refrigerante una columna desgasificadora prevista especialmente para este fin, que presenta un factor de decontaminacion para gases no condensables de > 100. El factor de decontaminacion designa la proporción entre las concentraciones a la entrada y a la salida de los aparatos. El refrigerante que se trata de desgasificar se inyecta para ello en la cabeza de una columna desgasificadora, típicamente una columna de fondo acampanado. En esta columna desciende por gravitación de arriba hacia abajo mientras que al mismo tiempo asciende de abajo hacia arriba vapor procedente del sumidero de la columna. Este vapor se produce por la evaporación de una parte, típicamente el 5% del caudal nominal que atraviesa la columna, del refrigerante que se acumula en el sumidero de la columna, en un evaporador conectado en la parte inferior de la columna. Por el efecto de estos aparatos el agua de refrigeración que hay en el sumidero de la columna está desgasificada, y el vapor generado en el evaporador es por lo tanto adecuado para reforzar como vapor de destilación el efecto desgasificador que actúa sobre el agua de refrigeración que desciende en gotas. Al pasar a través de cada fondo acampanado, el agua de refrigeración que desciende en gotas se pone en contacto intensivo con el vapor de destilación que asciende, debido al efecto de las campanas, con lo cual el gas que está en disolución sale del agua y se desplaza junto con el vapor hacia arriba, hacia la cabeza de la columna. Esto quiere decir que el vapor de destilación y los gases no condensables se desplazan en la columna del desgasificador a contracorriente del agua de refrigeración del reactor (líquida).

Para conseguir un efecto lo más óptimo posible del proceso de desgasificación es ventajoso que el medio que se trata de desgasificar presente ya durante la inyección en la cabeza de la columna una temperatura que se corresponda con la temperatura de ebullición según la presión elegida para el proceso de separación en la columna. El proceso se completa condensando la proporción de vapor que está en la mezcla de vapor-gas que sale hacia arriba en la cabeza de la columna, y volviendo a conducir el condensado a la cabeza de la columna, mientras que el gas restante que no se puede condensar se evacua del condensador, se seca a continuación al seguir enfriándolo y se conduce para su ulterior tratamiento a un sistema adecuado de escape de gases. Igual que en el sistema descrito más arriba con extracción de gas en el recipiente de compensación de volumen, el refrigerante desgasificado se vuelve a transportar al circuito de refrigeración del reactor después del proceso de desgasificación mediante las bombas de impulsión del sistema de regulación de volumen, provocando allí la disminución deseada de gases disueltos no deseables. El efecto sobre el refrigerante en el circuito de refrigeración del reactor se considera generalmente como especialmente bueno si se alcanza un factor de descontaminación >100, y si por otra parte la proporción del inventario de refrigerante existente en el circuito de refrigeración del reactor que se desgasifica por hora de este modo, supone aproximadamente el 20% de la cantidad total.

Tal como se deduce de la descripción anterior, para el proceso de desgasificación se requiere por una parte el aporte de energía para la evaporación del refrigerante en el sumidero de la columna, es decir para la evaporación del vapor de destilación, así como la evacuación de una cantidad correspondiente de energía del condensador en la cabeza de la columna, por otra parte. Si el refrigerante de la columna de desgasificación extraído del circuito de refrigeración del reactor no afluye con la temperatura de ebullición correspondiente a la presión reinante en el interior de la columna, se requiere además energía para calentarla hasta esta temperatura así como la correspondiente refrigeración al final del proceso. La aportación de energía citada o la demanda de refrigeración, da lugar según el tamaño del sistema de refrigeración del reactor a unas potencias calóricas considerables de los evaporadores o condensadores citados. Una primera realización del sistema de gasificación descrito fue instalada por ejemplo en las plantas de reactores de agua a presión de Neckarwestheim I (Alemania) y de Gösgen (Suiza). Trabaja aproximadamente a la presión atmosférica (1 bar absoluto) de modo que la temperatura de evaporación del refrigerante está aproximadamente a 100ºC. Para el recalentamiento del agua de refrigeración desde la temperatura de afluencia procedente del sistema de regulación de volumen, de aproximadamente 50ºC hasta la temperatura necesaria de entrada en la cabeza de la columna, de 100ºC, hay que aportar una potencia térmica considerable, adicionalmente a la potencia de evaporación. Para las plantas de reactores siguientes con circuitos de refrigeración del reactor aun mayores se ha conectado a la cabeza de la columna de la instalación de desgasificación una bomba de evacuación situada detrás de los citados condensadores del enfriador y del gas en el sentido del flujo, mediante la cual se reduce la presión en la columna, aproximadamente a unos 0,125 bar absolutos, de modo que el refrigerante que afluye aproximadamente a 50ºC se encuentra en estado de ebullición sin requerir ningún otro precalentamiento. De este modo se consigue un ahorro de energía considerable en comparación con la versión original antes descrita del sistema de desgasificación.

A pesar de todo, incluso mediante el empleo de una instalación de desgasificación por vacío, el consumo energético para el funcionamiento es considerable. Por ejemplo para una planta de reactor de agua a presión diseñada para una potencia térmica total de 4.000 MW a 4.500 MW, la potencia térmica tanto del evaporador como también del condensador es de aproximadamente 2,3 MW o 2,5 MW. La alimentación de esta potencia tiene lugar en las plantas nucleares realizadas hasta la fecha desde la red de vapor auxiliar allí existente, en la parte convencional de la planta; la derivación de la potencia procedente del condensador y del enfriador de gas se logra mediante el circuito de refrigeración intermedia nuclear. En las centrales nucleares más modernas que se encuentran actualmente en construcción, del tipo de reactor EPR (European Pressurized Water Reactor, Reactor Europeo de Agua a Presión) ya no está previsto en la parte nuclear de la planta ningún sistema de suministro de vapor auxiliar. Allí se cubre la necesidad de potencia para el evaporador de la planta de desgasificación por medio de una calefacción eléctrica por resistencia. La derivación de la potencia térmica del condensador tiene lugar igual que antes sirviéndose del circuito nuclear de refrigeración intermedia.

Por la memoria de manifestación US-A-4 043 865 se conoce una instalación de desgasificación para un reactor de agua a presión. Igualmente se conoce por la memoria de manifestación US-A-5 294 303 una instalación de desgasificación en la que el calor liberado durante la condensación del vapor de destilación se transfiere al menos en parte al medio que atraviesa el evaporador de refrigerante.

Todas las variantes del sistema de desgasificación realizadas hasta la fecha o concebidas requieren por lo tanto un considerable aparato técnico de la instalación para la alimentación y evacuación del calor que interviene en el proceso de desgasificación. Se requiere otro coste para evacuar al aire ambiente las pérdidas de calor de las partes de planta empleadas sirviéndose del sistema de ventilación nuclear. En la variante de instalación de desgasificación con calentamiento eléctrico esto es especialmente aplicable también para el calor perdido del transformador situado en las proximidades de la instalación de desgasificación, que se requiere para la alimentación de tensión para el funcionamiento de los elementos calentadores. En aquellas centrales nucleares en cuyo emplazamiento el agua de refrigeración secundaria a la cual el circuito de refrigeración nuclear intermedio cede el calor recibido, que tiene una temperatura relativamente elevada de aproximadamente 31ºC o incluso superior, aparece otro inconveniente de las instalaciones de desgasificación, que está relacionado con la elevada potencia térmica que hay que evacuar del condensador: y es que el ramal del circuito de refrigeración intermedia nuclear que alimenta al condensador de la instalación de desgasificación se emplea durante la parada de la planta también para la evacuación del calor residual del reactor desconectado. Dicho con otras palabras: la evacuación de calor del circuito de refrigeración del reactor a través del enfriador de calor residual y el funcionamiento de la instalación del desgasificador con evacuación de calor procedente del condensador se han de realizar simultáneamente en paralelo con el mismo ramal del sistema de refrigeración intermedia. Dadas las elevadas temperaturas citadas del agua de refrigeración secundaria, esto da lugar a que ya no sea suficiente el diseño y dimensionamiento del circuito de refrigeración intermedia usual hasta la fecha y preparado para bajas temperaturas del agua de refrigeración secundaria. La temperatura del sistema de refrigeración del reactor entonces ya no se puede bajar a los valores relativamente bajos requeridos para la revisión dentro del tiempo exigido, o bien se requiere un aumento desproporcionado de los componentes, tuberías y válvulas del sistema de refrigeración intermedia.

La presente invención tiene por lo tanto como objetivo describir una instalación de desgasificación de la clase citada inicialmente en la que con una estructura mantenida lo más sencilla posible y teniendo en cuenta las normas de seguridad aplicables resulte posible efectuar una separación especialmente efectiva y al mismo tiempo de alto rendimiento energético de los gases no condensables disueltos en el refrigerante del reactor, debiendo mantenerse lo más reducida posible la carga térmica del correspondiente sistema de refrigeración intermedia nuclear. Además se trata de describir una planta técnica nuclear y el correspondiente procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear.

Con respecto a la instalación de desgasificación se resuelve el problema planteado mediante una instalación según la reivindicación 1 ó 2.

La invención parte de la consideración de que para lograr en una planta técnica nuclear con un reactor de agua a presión un funcionamiento especialmente eficiente desde el punto de vista energético de una instalación de desgasificación el calor de evaporación necesario para la producción del vapor de destilación se debería recuperar al menos en parte en el condensador de la instalación de desgasificación y se debería devolver al evaporador. Al hacerlo, la cantidad de calor evacuada en el condensador se debería elevar tanto a un nivel de temperatura que esté por encima de la temperatura de evaporación en el evaporador o en el sumidero de la columna de desgasificación, que allí debido al gradiente de temperatura existente pueda tener lugar una transmisión de calor efectiva con unas superficies de intercambio de calor que sean económicamente razonables. El proceso en que se basa esto debería estar diseñado por motivos de seguridad de funcionamiento de tal modo que no se produzca ninguna mezcla del refrigerante del reactor con las demás sustancias que intervienen en el proceso o que estén en recirculación, tal como por ejemplo el agua de refrigeración intermedia nuclear. Además se debe realizar el proceso de recuperación de calor de tal modo que no pueda producirse ninguna liberación de refrigerante del reactor con carga radioactiva. Debería impedirse de antemano la formación de mezclas de gas aptas para explosionar, tal como podría ser posible en la llamada compresión de lodos del refrigerante del reactor, debido al aire que penetre en el compresor.

Estos objetivos de diseño en parte contradictorios se hacen realidad de acuerdo con el concepto que aquí se presenta, al transferir el calor de condensación liberado en el condensador durante la condensación del vapor de destilación a un circuito de bomba de calor acoplado por el lado del flujo del calor pero separado por el lado del medio o fluido, elevándolo allí al nivel de temperatura requerido para la evaporación del refrigerante del reactor mediante la aportación de potencia mecánica en la bomba de calor. Debido a la separación del circuito de refrigeración primario y del circuito de la bomba de calor realizado por el lado de los medios, por medio de los correspondientes intercambiadores de calor se evita influir de modo inadmisible en la calidad química del refrigerante del reactor. Mediante la bomba de calor del compresor, se comprime solamente el medio refrigerante no reactivo que se encuentra en el circuito de la bomba de calor, pero no el propio medio de refrigeración del reactor. En una instalación que se base en este concepto se puede reducir aproximadamente en un 80% la potencia que es necesaria aportar desde el exterior para el proceso de separación en la instalación de desgasificación frente a un desgasificador por vacío calentado con vapor auxiliar o con una calefacción eléctrica por resistencia. Lo mismo es aplicable para la potencia que se ha de evacuar al medio ambiente con el agua de refrigeración del reactor. Por ejemplo, en una central nuclear de 1.400 MW se puede reducir la potencia térmica que hay que transferir desde la instalación de desgasificación por vacío al agua de refrigeración secundaria, desde aprox. 2,3 MW hasta aprox. 0,4 MW. Esto quiere decir que se reduce correspondientemente la carga que ha de soportar el sistema de refrigeración intermedio.

En una primera forma de realización, una salida del lado secundario del intercambiador de calor perteneciente al condensador de vapor de destilación está unida por medio de una conducción de comunicación con una entrada del lado primario de un tercer intercambiador de calor conectado por el lado secundario en el circuito de las bombas de calor. La conducción de comunicación constituye un tramo parcial de un circuito de refrigeración intermedia nuclear de la planta técnica nuclear, el calor que se produce en el condensador de vapor de destilación se transfiere por lo tanto en primer lugar al agua de refrigeración intermedia que circula por el circuito de refrigeración intermedia nuclear y desde este a través del tercer intercambiador de calor al medio refrigerante que circula por el circuito de la bomba de calor. Debido a la bomba de calor de compresión en el circuito de la bomba de calor se comprime el medio refrigerante, con lo cual su temperatura aumenta de tal modo que el calor recuperado del condensador se puede utilizar para evaporar el refrigerante del reactor en el evaporador de refrigerante de la instalación de desgasificación. Dependiendo de la potencia de transmisión de calor instalada de los intercambiadores de calor, el 80% de la potencia del evaporador procede por ejemplo del calor recuperado del condensador, y en consecuencia un 20% procede de la potencia de accionamiento del compresor. Dado que en conjunto tiene que estar equilibrado el balance térmico del sistema, una parte correspondiente del calor cedido por el condensador al refrigerante intermedio nuclear permanece allí y se transmite a través de otros intercambiadores de calor al agua de refrigeración secundaria.

En una segunda forma de realización, el intercambiador de calor del condensador de vapor de destilación está conectado por el lado secundario directamente en el circuito de la bomba de calor, de modo que el calor procedente del condensador de vapor de destilación es recibido directamente por el refrigerante del circuito de la bomba de calor y a continuación se cede al evaporador de refrigerante de la instalación de desgasificación en lo que se denomina un circuito de corriente cruzada. En esta variante es preciso que para equilibrar el balance térmico se evacue al circuito de refrigeración intermedia nuclear una potencia térmica que se corresponda aproximadamente con la potencia de trabajo del compresor (por ejemplo aprox. un 20% de la potencia del evaporador). Para ello, el circuito de la bomba de calor presenta convenientemente una conducción de bypass regulable en paralelo con el intercambiador de calor del evaporador de refrigerante, en la que está conectada por el lado primario un intercambiador de calor sobrante de un condensador de sobrante conectado por el lado secundario en el circuito de refrigeración intermedia nuclear.

En ambas formas de realización, el intercambiador de calor del evaporador de refrigerante está conectado por el lado secundario a la conducción del circuito parcial de recirculación atravesado por un caudal parcial del refrigerante del reactor desgasificado, conectado por ambos extremos a la columna de desgasificación. La recirculación del refrigerante del reactor entre el sumidero de la columna y el evaporador de refrigerante tiene lugar preferentemente por circulación natural, impulsada por la parte de vapor generada en el evaporador.

Para el enfriamiento de los gases no condensables que salen en la cabeza de la columna juntamente con el vapor de destilación a través de la conducción de salida de gas y vapor, está previsto convenientemente un enfriador de gas que por el lado del refrigerante está conectado en paralelo con el condensador de vapor de destilación y a continuación de este por el lado del vapor y del gas. Esto quiere decir que en la primera de las dos variantes antes descritas se refrigera el enfriador de gas por el refrigerante intermedio nuclear, y en la segunda variante por el agente frigorífico relativamente frío que circula en el circuito de la bomba de calor, después de su distensión a través de una válvula de expansión.

La instalación de desgasificación está diseñada preferentemente por lo tanto como lo que se denomina una instalación de desgasificación por vacío. Para ello está conectada en la conducción de salida de gas y vapor unida a la cabeza de la columna, una bomba de vacío cuya potencia de aspiración está diseñada para una presión de trabajo reinante en el interior de la columna de desgasificación, inferior a 0,5 bar, preferentemente inferior a 0,2 bar. Debido a la menor presión interna en la columna de desgasificación se baja la temperatura de ebullición del

refrigerante del reactor contenido en su interior de tal modo, por ejemplo a unos 50ºC, que el refrigerante del reactor que contiene el gas que afluye desde el sistema de refrigeración del reactor a través del sistema de regulación del volumen se puede introducir en la cabeza de la columna con su temperatura de ebullición, sin requerir un precalentamiento adicional.

Con relación al procedimiento se resuelve el problema planteado inicialmente mediante un procedimiento según la reivindicación 6 ó 7.

En una realización especialmente preferida del procedimiento se ajusta la presión de trabajo en el interior de la columna de desgasificación de tal modo que la temperatura de ebullición del refrigerante del reactor esté allí dentro de un campo de 40ºC a 60ºC, especialmente en unos 50ºC. Para ello, la temperatura del refrigerante en el circuito de la bomba de calor se eleva preferentemente antes de la entrada en el intercambiador de calor del evaporador del refrigerante mediante una bomba de compresión, a 60º a 80ºC, en particular a unos 70ºC, lo cual es suficiente para producir la evaporación del refrigerante del reactor en las condiciones de presión citadas.

En el circuito de la bomba de calor se emplea como agente frigorífico preferentemente un hidrocarburo fluorado, en particular el 1,1,1,2-tetrafluoretano, conocido también bajo la designación R134a, que está especialmente bien adaptado a las condiciones de temperatura antes indicadas y que se caracteriza además por su estabilidad química, ausencia de cloro, baja toxicidad e incombustibilidad. Como bombas de calor son adecuados los equipos usuales de bombas de calor de compresor, tal como se emplean por ejemplo en las centrales nucleares con reactores de agua a presión, de que aquí se trata, también para la producción de agua fría en los sistemas de agua fría, en particular también con las magnitudes de potencia requeridas ahora en el circuito de las bombas de calor.

Además de las ventajas ya citadas, el dispositivo previsto ahora y el correspondiente procedimiento para la desgasificación de refrigerante con recuperación de calor, ofrecen las siguientes ventajas en comparación con los sistemas de gasificación conocidos hasta la fecha con calefacción mediante vapor auxiliar o con calefacción eléctrica:

- La alimentación y evacuación necesaria de potencia calorífica en el campo de equilibrado del sistema de gasificación se reduce en una central nuclear de 1.400 MW desde aproximadamente 2,3 MW a aproximadamente 4,0 MW.
- Desaparecen las conducciones y válvulas de gran volumen para el vapor auxiliar y para el condensado de vapor auxiliar así como los enfriadores de condensado de vapor auxiliar y los correspondientes contenedores y bombas.
- Desaparece la costosa acometida de energía eléctrica para la producción de calor mediante el empleo de un transformador instalado en el sitio.
- La acometida de la potencia eléctrica necesaria para el compresor (en este ejemplo aproximadamente 400 kW) puede tener lugar sin problemas a un nivel de tensión intermedia.
- El sistema de refrigeración intermedia nuclear solamente tiene que evacuar una potencia comparativamente reducida correspondiente a la potencia del compresor (en este ejemplo aproximadamente 400 kW).
- De este modo se reduce notablemente el consumo eléctrico propio de la planta de la central nuclear.
- Las conducciones de agua de refrigeración y las válvulas se pueden realizar con una dimensión nominal considerablemente menor, especialmente en la segunda variante con transmisión directa del calor desde el condensador de vapor de destilación a las bombas de calor.
- La potencia en el cuello de botella para el correspondiente ramal del sistema de refrigeración intermedia nuclear durante la parada de la planta se reduce correspondientemente.
- Las pérdidas de calor de la instalación de desgasificación al aire ambiente se reducen considerablemente puesto que en el proceso ya no participan partes de la instalación que están a temperaturas elevadas. El calor residual del motor del compresor se evacua directamente por el refrigerante en el circuito de la bomba de calor y se recupera.
- El calor procedente de la instalación de ventilación nuclear que se ha de evacuar de forma compleja sirviéndose de máquinas de frío, se reduce correspondientemente.
- Los componentes que se han de emplear para el circuito de las bombas del calor se conocen en su mayor parte por los sistemas de agua fría de las centrales nucleares y a diferencia de la calefacción eléctrica por resistencia se pueden considerar como de funcionamiento acreditado.

El concepto ahora previsto contribuye en particular a que se pueda concebir una instalación de técnica nuclear con un reactor de agua a presión, también en emplazamientos con condiciones de agua de refrigeración desfavorables, es decir con unas temperaturas del agua de refrigeración relativamente elevadas, con un diseño equilibrado de los sistemas auxiliares previstos para la desgasificación del refrigerante.

Diversos ejemplos de realización de la invención se explican con mayor detalle sirviéndose del dibujo. En este muestran:

la fig. 1 un esquema simplificado de una instalación de desgasificación con recuperación de calor, según una primera variante de realización, y

la fig. 2 un esquema simplificado de una instalación de desgasificación con recuperación de calor según una segunda variante de realización.

Las partes que son iguales llevan las mismas referencias en ambas figuras.

La instalación de desgasificación 2 para el refrigerante del reactor R representada en la fig. 1 en un esquema simplificado junto con una serie de componentes periféricos comprende una columna de desgasificación alimentada a través de una conducción de entrada de refrigerante 4 con refrigerante del reactor R que contenga gas procedente del circuito primario de un reactor de agua a presión. El refrigerante del reactor R que contiene gas penetra durante el funcionamiento de la instalación 2 en la columna de desgasificación 6 a través de la conducción de entrada de refrigerante conectada a la cabeza de la columna 8, con una temperatura de entrada de aprox. 50ºC, lo que para una presión de trabajo de aprox. 0,125 bar reinante en la columna de desgasificación 6 corresponde aproximadamente a la temperatura de ebullición, gotea a continuación hacia abajo por encima de una pluralidad de fondos de campana que no están representados con mayor detalle y finalmente se acumula en el sumidero de la columna 10 de la columna de desgasificación 6. Durante el goteo de caída, el refrigerante del reactor R entra en contacto intenso con el vapor de destilación D introducido justo por encima del sumidero de la columna 10 en la columna de desgasificación 6, y que lo atraviesa a contracorriente con el flujo de refrigerante. Al hacerlo se arrastran por el vapor de destilación D los gases no condensables disueltos en el refrigerante del reactor R, tales como por ejemplo hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o diversos gases nobles, que se transportan hacia arriba, hacia la cabeza de la columna 8, donde se consigue un factor D de descontaminación > 100.

La mayor parte del refrigerante del reactor R desgasificado que se acumula en el sumidero de la columna 10, se extrae del desgasificador 12 de modo continuo sirviéndose de una bomba de extracción regulable a través de una conducción de salida de refrigerante 16 conectada a la columna de desgasificación 6 en la zona del fondo de la columna 14, y se vuelve a conducir al sistema de refrigeración del reactor a través de unas válvulas de salida regulables 18. En paralelo con la bomba de extracción del desgasificador 12 está conectada una válvula de estrangulamiento 20 en una conducción de bypass de la bomba 22, de modo que incluso estando desconectada o si ha fallado la bomba de extracción del desgasificador 12 puede salir de la columna de desgasificación 6 una cierta cantidad mínima de refrigerante del reactor R por unidad de tiempo. A través de una conducción de extracción 24 que deriva de la conducción de salida de refrigerante 16 se pueden extraer en casos de necesidad muestras del refrigerante del reactor R que ha sido desgasificado. Además está prevista una conducción de bypass del desgasificador 26, de modo que según necesidad y según aplicación o según el estado de funcionamiento y de acuerdo con la posición de la válvula de distribución regulable 28, el refrigerante del reactor R se puede conducir en su totalidad o en parte en derivación rodeando la columna de desgasificación 6, es decir rodeando ésta sin ser desgasificado.

El vapor de destilación D que asciende por la columna de desgasificación 6 que también contiene partes de los gases no condensables desprendidos del refrigerante del reactor R se aspira mediante una bomba de vacío del desgasificador 30 a través de una conducción de salida de gas y vapor 32 conectada a la cabeza de la columna 8. La potencia de aspiración de la bomba de vacío del desgasificador 30 está dimensionada para ello de tal modo que durante el funcionamiento de la planta 2 se pueda mantener de modo permanente una presión interior reducida en la columna de desgasificación 6 de unos 0,125 bar. La bomba de vacío del desgasificador 30 realizada en el ejemplo de realización como compresor de anillo de agua, forma parte de una instalación de vacío del desgasificador 33 conectada a través de una conducción de salida de gas G a un sistema de salida de gas que aquí no está representado, y que presenta una serie de otros componentes que actúan como equipos auxiliares para el compresor de émbolo anular (recipiente de líquido anular, enfriador de líquido anular, filtro de líquido anular), cuyo funcionamiento sin embargo aquí no es de interés describir de forma detallada.

En la cabeza de la columna de la columna del desgasificador 6 está conectada además una conducción de alimentación de gas 42 dotada de una válvula de regulación 40, que por su otro extremo desemboca en la conducción de salida de gas y vapor 32 por el lado de presión de la bomba de vacío del desgasificador 30. La conducción de alimentación de gas 42 sirve para regular la presión para el proceso que tiene lugar en la columna de desgasificación 6; a través de ella y con ayuda de la válvula de regulación 40 se inyecta en la cabeza de la columna 8 exactamente una cantidad de gas procedente del sistema de salida de gas de la central nuclear que allí se establezca de acuerdo con la curva característica de la bomba de vacío del desgasificador 30 para que se establezca la presión de trabajo deseada de preferentemente 0,125 bar absolutos. Este gas inyectado sirve entonces también al mismo tiempo como gas de barrido/portador y como “diluyente” para aquel gas, especialmente hidrógeno, que en la columna 6 se ha extraído del refrigerante del reactor R.

Por el lado de la aspiración de la bomba de vacío del desgasificador 30 están conectados un condensador de vapor de destilación 34 para condensar el vapor de destilación D y a continuación un enfriador de gas 36 para enfriar las partes de gas que después de la condensación del vapor de destilación permanezcan todavía en la conducción de salida de gas y vapor 32. El condensado que se produce en el condensador de vapor de destilación 34 se conduce a través de una conducción de condensado 38 nuevamente a la cabeza de la columna 8 de la columna del desgasificador 6, para descender allí goteando hacia abajo junto con el refrigerante del reactor R alimentado a través de la conducción de entrada de refrigerante 16, siendo desgasificado al mismo tiempo.

Después de atravesar el enfriador de gas 36, el gas no condensable que sale de la columna del desgasificador 6 presenta una temperatura situada por debajo de la temperatura de ebullición del refrigerante del reactor R, algo inferior a 50ºC, de modo que se limitan eficazmente el contenido de humedad del gas que afluye a la bomba de vacío del desgasificador 30 y la producción de vapor de agua. Al atravesar la bomba de vacío de desgasificación 30, la temperatura del gas sigue descendiendo aun más, a unos 25ºC. Eventualmente tiene lugar en el enfriador de gas 36 un segundo paso de condensación durante el cual se condensa la proporción restante remanente del vapor D con un ligero subenfriamiento, y a continuación se vuelve a conducir en forma de condensado líquido a la cabeza de la columna 8 de la columna del desgasificador 6, por ejemplo por gravedad a contracorriente con la mezcla de vapor/gas, a través de la conducción 32 y a través del condensador del vapor de destilación 34, o bien a través de una conducción de evacuación de condensado independiente (que aquí no está representada), desde el enfriador de gas 36.

Por el lado del refrigerante, el intercambiador de calor 44 del condensador de vapor de destilación 34 y el intercambiador de calor 46 del enfriador de gas 36 están conectados en paralelo. Ambos se alimentan a través de una conducción de refrigerante 48 con lo que se denomina agua de refrigeración intermedia Z procedente del sistema de refrigeración intermedia nuclear de la planta del reactor, siendo en el ejemplo de realización la temperatura de entrada del agua de refrigeración intermedia Z de unos 36ºC. Debido al calor transmitido por el vapor de destilación D o de los gases no condensables, aumenta la temperatura del agua de refrigeración intermedia Z en el punto de salida del respectivo intercambiador de calor 44, 46, a unos 46ºC.

En el fondo 14 de la columna de desgasificación 6 está conectado un primer extremo de una conducción de recirculación 50, a través de la cual fluye un caudal parcial del refrigerante del reactor R desgasificado que se acumula en el sumidero de la columna 10. El caudal parcial derivado pasa a través del intercambiador de calor 52 caliente de un evaporador de refrigerante 54 y allí se evapora. El vapor de refrigerante producido de este modo se conduce ligeramente por encima del nivel de llenado del refrigerante líquido del reactor R a través del segundo extremo de la conducción de recirculación 50, nuevamente a la columna de desgasificación 6, en la cual actúa como vapor de destilación D.

La instalación de desgasificación 2 está diseñada específicamente para obtener un funcionamiento de especial rendimiento energético, manteniendo al mismo tiempo reducida la carga del sistema de refrigeración intermedia nuclear. Para ello está prevista una recuperación del calor de condensación liberado en el condensador de vapor de destilación 34 y su reutilización para la evaporación de refrigerante, es decir para la producción de vapor de destilación. El agua de refrigeración intermedia Z que sale del condensador de vapor de destilación 34 y del enfriador de gas 36, que ahí ha sido calentada a unos 46ºC, se conduce para ello a través de la conducción de conexión 56 a un intercambiador de calor 60 conectado por el lado secundario en un circuito de la bomba de calor 58, donde allí cede la mayor parte de la cantidad de calor absorbida previamente en el condensador de vapor de destilación 34 y en el enfriador de gas 36, a un agente frigorífico K que va conducido por el circuito de la bomba de calor 58, por ejemplo el agente frigorífico R134a, que de este modo se evapora. El agua de refrigeración intermedia Z que sale del intercambiador de calor 60 se devuelve a continuación a una temperatura que ahora ya solamente es de unos 38ºC al sistema de refrigeración intermedia nuclear, por una conducción 62. El agente frigorífico K evaporado en el intercambiador de calor 60 en cambio es comprimido en el compresor de la bomba de calor 64 y se transporta al intercambiador de calor 52 del evaporador de refrigerante 54. Debido a la compresión, la temperatura del agente frigorífico K sube a unos 70ºC, lo cual es suficiente para provocar en el intercambiador de calor 52 la evaporación del refrigerante R conducido por la conducción de recirculación 50, que inicialmente es todavía líquido, ya que su temperatura de ebullición- condicionada por la presión interior que ha sido rebajada en la columna del desgasificador 6 y en la conducción de recirculación 50 unida a aquella- solamente es de unos 50ºC. Tal como ya se ha expuesto anteriormente, esta es también aproximadamente la temperatura mediante la cual entra el refrigerante del reactor R en la conducción de recirculación 50. El agente frigorífico K se licua por condensación en el intercambiador de calor 52. Esto quiere decir que con relación al agente frigorífico K, el intercambiador de calor 52 es por su lado primario un condensador, y con relación al refrigerante del reactor R es por su lado secundario un evaporador (evaporador de refrigerante). El agente frigorífico K, líquido después de haber cedido su calor en el intercambiador de calor 52 del evaporador de refrigerante 54 se expande al atravesar la válvula de expansión 66 y sigue enfriándose, de modo que el circuito antes descrito puede comenzar a continuación de nuevo.

Para poner en servicio la instalación de desgasificación por vacío 2, se establece primeramente el paso de agua de refrigeración a través del condensador de vapor de destilación 34 y del enfriador de gas 36, abriendo para ello las válvulas correspondientes. Al mismo tiempo se establece el paso de agua de refrigeración intermedia nuclear Z a través del intercambiador de calor 60 en el circuito de la bomba de calor 58, con lo cual queda disponible la fuente de calor en el circuito de la bomba de calor 58. En el paso siguiente se conectan la bomba de vacío del desgasificador 30, que está realizada típicamente como compresor de anillo de agua, así como los sistemas de alimentación y evacuación necesarios (entrada y salida de líquido anular, alimentación de agua fría, paso de gas de barrido procedente del sistema de salida de gas). En estado de funcionamiento, la bomba de vacío del desgasificador 30 junto con el correspondiente circuito de regulación que actúa sobre la válvula de regulación 40 situada en la conducción de alimentación de gas 42 a la cabeza de la columna 8, mantiene automáticamente la presión necesaria de por ejemplo 0,125 bar en la columna del desgasificador 6. También se mantienen

automáticamente en el valor necesario las condiciones internas dentro de la instalación de la bomba de vacío, tal como por ejemplo el nivel de llenado en el depósito de líquido anular.

A continuación se pone en funcionamiento la regulación de nivel de llenado para el sumidero de la columna 10 y para el evaporador de refrigerante 54 de la instalación de desgasificación por vacío 2. Esta regulación pone en funcionamiento la bomba de extracción del desgasificador 12, abre la válvula de aislamiento 18 en el desagüe de la instalación del desgasificador 2 y ajusta mediante un regulador la válvula de regulación que también se encuentra allí, de tal modo que el haz tubular del evaporador de refrigerante 54 de la instalación de desgasificación 2 esté siempre inundado. Mediante la apertura de la válvula de entrada del sistema de regulación de volumen se introduce ahora refrigerante del reactor R que contiene gas, en la cabeza de la columna 8 de la columna de desgasificación 6, y al mismo tiempo se pone en marcha el compresor 64 de la instalación de la bomba de calor. Mediante la compresión del vapor del refrigerante mediante el compresor 64 del circuito de la bomba de calor 58 hasta una presión de por ejemplo 25 bar, se aumenta su temperatura de tal modo que en el evaporador de refrigerante 54 se cede una gran parte de su calor al refrigerante del reactor R presente en el otro lado del intercambiador de calor 52, con lo cual este se evapora y se puede emplear como vapor de destilación D en la columna de desgasificación 6. La recirculación del refrigerante del reactor R entre el sumidero de la columna 10 y el evaporador de refrigerante 54 tiene lugar preferentemente por recirculación natural, impulsada por la parte de vapor producido en el evaporador de refrigerante 54.

Por el lado de la bomba de calor del evaporador de refrigerante 54 se condensa el agente frigorífico K que se encuentra todavía a alta presión. Este fluye entonces hacia la válvula de expansión 66 donde se distiende hasta una presión relativamente baja, y al hacerlo se enfría tanto que en el intercambiador de calor 60 del circuito de la bomba de calor 58 puede absorber calor del agua de refrigeración intermedia nuclear Z que fluye por el otro lado. Durante esta absorción de calor se evapora el agente frigorífico K que puede ser entonces aspirado nuevamente por el compresor 64. El circuito de agente frigorífico de la instalación de la bomba de calor es un circuito herméticamente cerrado al que durante el funcionamiento ni se le extrae ni hay que añadirle agente frigorífico K. la regulación de la potencia de la instalación de la bomba de calor tiene lugar por una parte por medio de una correspondiente instalación de estrangulamiento en la tubuladura de aspiración del compresor 64, y por otra parte por medio del control de la válvula de expansión que depende del nivel de llenado de refrigerante en el evaporador de refrigerante 54.

En el evaporador de refrigerante 54 de la instalación de desgasificación 2 se evapora mediante la descrita aportación de calor a través del intercambiador de calor 60 del circuito de la bomba de calor 58 el refrigerante del reactor R que se encuentra en estado de ebullición, con una tasa que corresponde aproximadamente al 5% del caudal de masa de refrigerante de reactor R que contiene gas, que afluye a la cabeza de la columna 8. En la columna de desgasificación 6 el vapor de destilación D asciende de abajo hacia arriba y al pasar a través de las campanas se pone en contacto intensivo en los distintos fondos dispuestos unos sobre otros, con el refrigerante del reactor líquido que gotea bajando, con lo cual a este se le extrae el gas tal como ya se ha expuesto anteriormente. Desde la cabeza de la columna 8 el vapor D mezclado con los gases no condensables expulsados del refrigerante del reactor R, pasa al condensador de vapor de destilación 34 de la instalación de desgasificación 2. Allí se transmite el calor de evaporación contenido en el vapor D al agua de refrigeración intermedia nuclear Z, con lo cual el vapor D se condensa en su mayor parte. El condensado se vuelve a conducir a la cabeza de la columna 8 por gravitación a través de la conducción de condensado 38, mientras que la parte menor que no se ha condensado y el caudal del gas no condensable se conduce al enfriador de gas 36 dispuesto a continuación. Allí se produce otro paso de condensación, también cediendo calor al agua de refrigeración intermedia Z, donde se condensa la parte residual que queda del vapor D con un ligero subenfriamiento y a continuación se vuelve a conducir a contracorriente con la mezcla de vapor/gas, por gravitación al condensador de vapor de destilación 34 y desde allí a la cabeza de la columna 8 de la columna del desgasificador 6. El gas no condensable es aspirado por la bomba de vacío del desgasificador con una humedad residual correspondiente a la temperatura de proceso, es comprimido y es evacuado al sistema de gases de escape (no representado) de la planta de la central.

De acuerdo con la afluencia del refrigerante del reactor R que contiene gas en la cabeza de la columna 8, afluye refrigerante R desgasificado al sumidero de la columna 10. El refrigerante R desgasificado es transportado mediante la bomba de extracción del desgasificador 30 desde el sumidero de la columna 10, que se encuentra bajo depresión, al colector del sistema de regulación de volumen, al que se le aplica por el depósito de compensación de volumen (que aquí no está representado) una presión de por ejemplo 3 a 4 bar. El restante transporte al circuito de refrigeración del reactor tiene lugar mediante las bombas de transporte de alta presión del sistema de regulación de volumen.

La instalación de desgasificación 2 representada en la fig. 2 se diferencia de la de la fig. 1 porque el intercambiador de calor 44 del condensador de vapor de destilación 34 así como el intercambiador de calor 46 del enfriador de gas 36 están conectados por el lado secundario directamente en el circuito de la bomba de calor 58 que incluye el evaporador de refrigerante 54. En esta variante desaparecen la conducción de conexión 56 y el intercambiador de calor 60 conocidos por la figura 1. En esta variante, el calor del condensador de vapor de destilación 34 de la instalación de desgasificación 2 se evacua por lo tanto directamente por evaporación del agente frigorífico K en el circuito de la bomba de calor 58 que está conectado. De este modo la alimentación de la instalación de

desgasificación 2 con agua de refrigeración intermedia nuclear Z puede realizarse con unas dimensiones considerablemente menores que las realizadas en la primera variante representada en la fig. 1, ya que el agua de refrigeración intermedia nuclear Z no se requiere para el transporte de calor desde el condensador de vapor de destilación 34 a la instalación de la bomba de calor, sino únicamente para la evacuación de la potencia térmica relativamente pequeña que corresponde a la potencia de compresión aportada al circuito 58 por la bomba de calor del compresor 64. Para este fin, el intercambiador de calor del excedente 68 del condensador de excedente 70 refrigerado por el agua de refrigeración intermedia Z está conectado por el lado del refrigerante a una conducción de bypass del evaporador 72 dispuesta entre la bomba de calor del compresor 64 y la válvula de expansión 66, atravesada en paralelo con el evaporador de refrigerante 54. El caudal de masa que pasa por la conducción de bypass del evaporador 72 se puede regular por medio de una válvula de regulación 74.

Las salidas para la interconexión del agua de refrigeración intermedia nuclear Z, para la puesta en marcha de la bomba de vacío 30, para la regulación de nivel de llenado en el sumidero de la columna 10 y para la afluencia del refrigerante de reactor R que contiene gas, se corresponde con los representados en la figura 1 y de la primera variante ya descrita anteriormente. Al poner en funcionamiento la bomba de calor 64 es preciso incrementar la potencia de forma relativamente lenta prestando atención a que en el condensador de vapor de destilación 34 de la instalación de desgasificación por vacío 2 no se extraiga calor con demasiada rapidez y tenga lugar un subenfriamiento demasiado intenso e indeseable. En cuanto la instalación de la bomba de calor haya alcanzado su potencia nominal se mantiene el régimen de potencia estacionario sirviéndose únicamente del circuito de regulación.

En el ejemplo de realización representado en la fig. 2 se obtienen unas condiciones especialmente favorables en los intercambiadores de calor 44, 52 que allí intervienen, por el hecho de que en ambos casos y en ambos lados el medio respectivo o bien se evapora o bien se condensa. En el evaporador de refrigerante 54 de la instalación de desgasificación 2 se condensa el agente frigorífico K por el lado de la bomba de calor, mientras que el refrigerante del reactor R entra en ebullición por el lado del desgasificador por vacío. En el intercambiador de calor 44 del condensador de vapor de destilación 34 hierve en el lado de la bomba de calor el agente frigorífico K y en el lado del desgasificador por vacío se condensa el refrigerante de vapor R. Estas condiciones dan lugar a que en cada caso exista en toda la superficie del intercambiador de calor una diferencia de temperatura constante, que por lo tanto se puede elegir relativamente alta sin que se produzcan unas pérdidas de energía excesivas. Esto permite mantener las superficies de intercambio de calor necesarias con dimensiones reducidas.

En la variante representada en la fig. 2 es además conveniente el hecho de que entre el lado de la fuente de calor y el sumidero de calor en el circuito de la bomba de calor 58 solo exista una diferencia de temperatura relativamente reducida. La diferencia de temperatura del agente frigorífico K entre la licuación y la evaporación se puede mantener por lo tanto reducida ya que únicamente ha de cubrir la diferencia de temperatura necesaria para la transmisión de calor a través de la superficie del intercambiador de calor. Para el compresor de la bomba de calor 64 esto significa una relación de presiones reducida y da lugar en el circuito de la bomba de calor 58 en su conjunto a un índice de potencia elevado ε, que caracteriza la relación entre la potencia calorífica y la potencia de accionamiento aportada. En la instalación del desgasificador por vacío 2 se pone en ebullición el refrigerante del reactor a 50ºC; por lo tanto es suficiente si el vapor del agente frigorífico fluye al evaporador de agente frigorífico 54 con una temperatura de por ejemplo 65ºC a 70ºC. Para tales parámetros de proceso se puede emplear sin problemas el ya citado agente frigorífico R134a que ofrece especiales ventajas para ser empleado en la zona de control de la central nuclear desde el punto de vista de técnicas de seguridad, es decir por ejemplo la estabilidad química, la ausencia de cloro, la escasa toxicidad y la incombustibilidad.

El procedimiento según las dos variantes representadas en la fig. 1 y en la fig. 2 resulta especialmente eficaz si el proceso de desgasificación transcurre en las condiciones de depresión antes expuestas, a una temperatura de ebullición de aproximadamente 50ºC, ya que entonces no se requiere ninguna potencia para precalentar el refrigerante del reactor R que afluye y la totalidad de potencia térmica convertida es mínima para el proceso de desgasificación. En correspondencia es también mínimo el volumen de aparatos requerido en estas condiciones.

Lista de referencias

2 Instalación de desgasificación

4 Conducción de entrada de refrigerante

6 Columna de desgasificación

8 Cabeza de la columna

10 Sumidero de la columna

12 Bomba de extracción del desgasificador

14 Fondo de la columna

16 Conducción de salida de refrigerante

18	Válvula de salida
20	Válvula de estrangulamiento
22	Conducción de bypass de la bomba
24	Conducción de extracción
26	Conducción de bypass del desgasificador
28	Válvula de distribución
30	Bomba de vacío del desgasificador
32	Conducción de salida de gas y vapor
33	Instalación de la bomba de vacío del desgasificador
34	Condensador de vapor de destilación
36	Enfriador de gas
38	Conducción de condensado
40	Válvula de regulación
42	Conducción de alimentación de gas
44	Intercambiador de calor (condensador de vapor de destilación)
46	Intercambiador de calor (enfriador de gas)
48	Conducción de refrigerante
50	Circuito parcial de recirculación
52	Intercambiador de calor (evaporador de refrigerante)
54	Evaporador de refrigerante
56	Conducción de unión
58	Circuito de la bomba de calor
60	Intercambiador de calor (circuito de la bomba de calor)
62	Conducción
64	Bomba de calor del compresor
66	Válvula de expansión
68	Intercambiador de calor de sobrante
70	Condensador de sobrante
72	Conducción de bypass del evaporador
74	Válvula de regulación
D	Vapor de destilación
E	Desagüe
G	Gas de escape
K	Agente frigorífico
L	Ventilación
N	Alimentación de nitrógeno

P	Toma de muestras
R	Refrigerante del reactor
W	Desionizado
Z	Agua de refrigeración intermedia

REIVINDICACIONES

1. Instalación de técnica nuclear con un reactor de agua a presión y con una instalación de desgasificación (2) para el refrigerante del reactor (R) que comprende una columna de desgasificación (6) que puede ser atravesada por el refrigerante del reactor (R), un evaporador de refrigerante (54) con un primer intercambiador de calor (52) y un condensador de vapor de destilación (34) con un segundo intercambiador de calor (44), estando atravesado el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54) por el lado secundario por un caudal parcial del refrigerante del reactor (R), y estando conectado el intercambiador de calor (44) del condensador de vapor de destilación (34) por el lado primario a una conducción (32) de salida de vapor y gas conectada a la columna del desgasificador (6),

caracterizada porque

el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54) está conectado por el lado primario en un circuito de la bomba de calor (58), que con relación al flujo de calor que se establece durante el funcionamiento de la instalación está acoplado de tal modo al intercambiador de calor (44) del condensador de vapor de destilación (34), que el calor liberado durante la condensación del vapor de destilación se transmite al menos en parte al refrigerante del reactor (R) que atraviesa el evaporador de refrigerante (54), dando lugar a su evaporación, estando conectado el intercambiador de calor (44) del condensador de vapor de destilación (34) por el lado secundario directamente en el circuito de la bomba de calor (58), presentando el circuito de la bomba de calor (58) una conducción de bypass regulable (72) hacia en intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54), en la cual está conectado por el lado primario un intercambiador de calor de sobrante (68) de un condensador de sobrante (70) conectado por el lado secundario en un circuito de refrigeración intermedio nuclear.

2. Instalación de técnica nuclear con un reactor de agua a presión y con una instalación de desgasificación (2) para el refrigerante del reactor (R) que comprende una columna de desgasificador (6) que puede ser atravesada por el refrigerante del reactor (R), un evaporador de refrigerante (54) con un primer intercambiador de calor (52) y un condensador de vapor de destilación (34) con un segundo intercambiador de calor (44), estando atravesado el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54) por el lado secundario por un caudal parcial del refrigerante del reactor (R), y donde el intercambiador de calor (44) del condensador de vapor de destilación (34) está conectado por el lado primario en una conducción de salida de vapor y gas (32) conectado por el lado primario a la columna del desgasificador (6),

caracterizada porque

el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54) está conectado por el lado primario en un circuito de la bomba de calor (58) que con relación al flujo térmico que se establece durante el funcionamiento de la planta, está acoplado de tal modo al intercambiador de calor (44) del condensador de vapor de destilación (34) que el calor liberado durante la condensación del vapor de destilación se transfiera al menos en parte al refrigerante del reactor (R) que atraviesa el evaporador de refrigerante (54) dando lugar de este modo a su evaporación, mientras que una salida secundaria del intercambiador de calor (44) perteneciente al condensador de vapor de destilación (34) está unida a través de una conducción de conexión (56) con una entrada del lado primario de un tercer intercambiador de calor (60) conectado por el lado secundario en el circuito de la bomba de calor (58), formando la conducción de conexión (56) un tramo parcial de un circuito de refrigeración intermedia nuclear de la planta técnica nuclear.

3. Planta técnica nuclear según una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizada porque** el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54) está conectado por el lado secundario a una conducción de recirculación (50) conectada por ambos extremos a la columna del desgasificador (6) y atravesada por un caudal parcial del refrigerante del reactor (R) que ha sido desgasificado.

4. Planta técnica nuclear según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por** un enfriador de gas (36) conectado por el lado del refrigerante en paralelo con el condensador de vapor de destilación (34) y conectado a continuación de este por el lado del vapor y del gas.

5. Planta técnica nuclear según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por** una bomba de vacío (30) conectada en la conducción de salida de gas y vapor (32) cuya potencia de aspiración está diseñada para una presión de trabajo reinante en el interior de la columna del desgasificador (6), inferior a 0,5 bar, preferentemente inferior a 0,2 bar.

6. Procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear con un reactor de agua a presión y con una instalación de desgasificación (2) para el refrigerante del reactor (R) que comprende un evaporador de refrigerante (54) y un condensador de vapor de destilación (34), **caracterizado porque** el calor de condensación que se libera durante la condensación del vapor de destilación (D) en el condensador de vapor de destilación (34) se introduce en un circuito de la bomba de calor (58) y a continuación se transfiere a un caudal parcial del refrigerante del reactor (R) que al menos en parte atraviesa el evaporador de refrigerante (54), evaporándose así el refrigerante del reactor y donde el calor de condensación que queda libre en el condensador de vapor de destilación (34) se transfiere directamente a un agente frigorífico (K) conducido por un circuito de la bomba de calor (58), presentando el circuito

de la bomba de calor (58) una conducción de bypass regulable (72) hacia el intercambiador de calor (52) del evaporador de refrigerante (54), en la cual está conectado por el lado primario un intercambiador de calor de sobrante (68) de un condensador de sobrante (70) conectado por el lado secundario a un circuito de refrigeración intermedia nuclear, de tal modo que el calor sobrante se cede al circuito de refrigeración intermedia nuclear a través del intercambiador de calor de sobrante (68).

7. Procedimiento para la explotación de una planta técnica nuclear con un reactor de agua a presión y una instalación de desgasificación (2) para el refrigerante del reactor (R) que presenta un evaporador de refrigerante (54) y un condensador de vapor de destilación (34), **caracterizado porque** el calor de condensación que queda libre durante la condensación del vapor de destilación (D) en el condensador de vapor de destilación (34) se introduce en un circuito de la bomba de calor (58) y a continuación se transfiere al menos en parte a un caudal parcial del refrigerante del reactor (R) que atraviesa al menos en parte el evaporador de refrigerante (54), evaporándose este refrigerante del reactor, y donde el calor de condensación que queda libre en el condensador de vapor de destilación (34) se transfiere primeramente a un medio de circulación conducido en un circuito de refrigeración intermedia nuclear, en particular al agua de refrigeración intermedia (Z) y desde esta a continuación a través de un intercambiador de calor (60) a un agente frigorífico (K) que va conducido por el circuito de la bomba de calor (58).

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 7, en el que se emplea como agente frigorífico (K) un hidrocarburo fluorado, en particular 1,1,1,2- tetrafluoretano.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 8, en el que se ajusta la presión de trabajo en el interior de la columna del desgasificador (6) de tal modo que la temperatura de ebullición del refrigerante del reactor (R) esté allí dentro de un campo de 40ºC a 60ºC, en particular en unos 50ºC.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que para regular la presión se introduce en la columna del desgasificador (6) gas procedente del sistema de gas de escape de la planta técnica nuclear a través de una conducción de alimentación de gas (42).

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 10, en el que se eleva la temperatura del agente frigorífico (K) en el circuito de la bomba de calor (58) antes de la entrada en el evaporador de agente frigorífico (54) por medio de una bomba de compresión (64) a 60ºC a 80ºC, en particular a unos 70ºC.

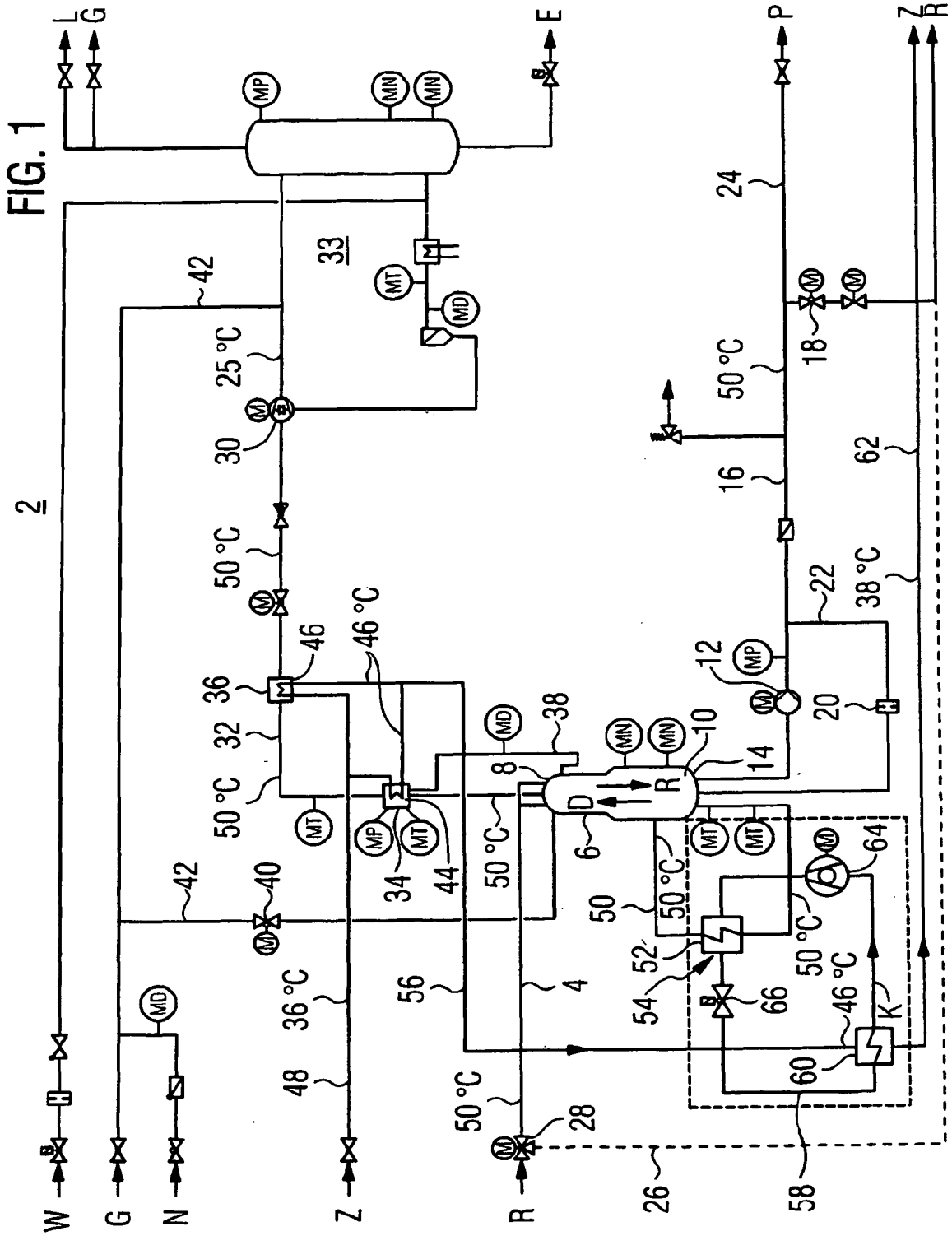
FIG. 1
2
L
G
E
P
Z
R
W
G
N
Z
R
MP
MN
MT
MD
33
42
25 °C
30
50 °C
36
46
46 °C
32
50 °C
34
44
40
36 °C
48
56
4
50 °C
28
26
58
24
18
50 °C
16
62
22
38 °C
12
20
38
8
10
14
6
50 °C
50
52
54
66
50 °C
46 °C
60
64
K

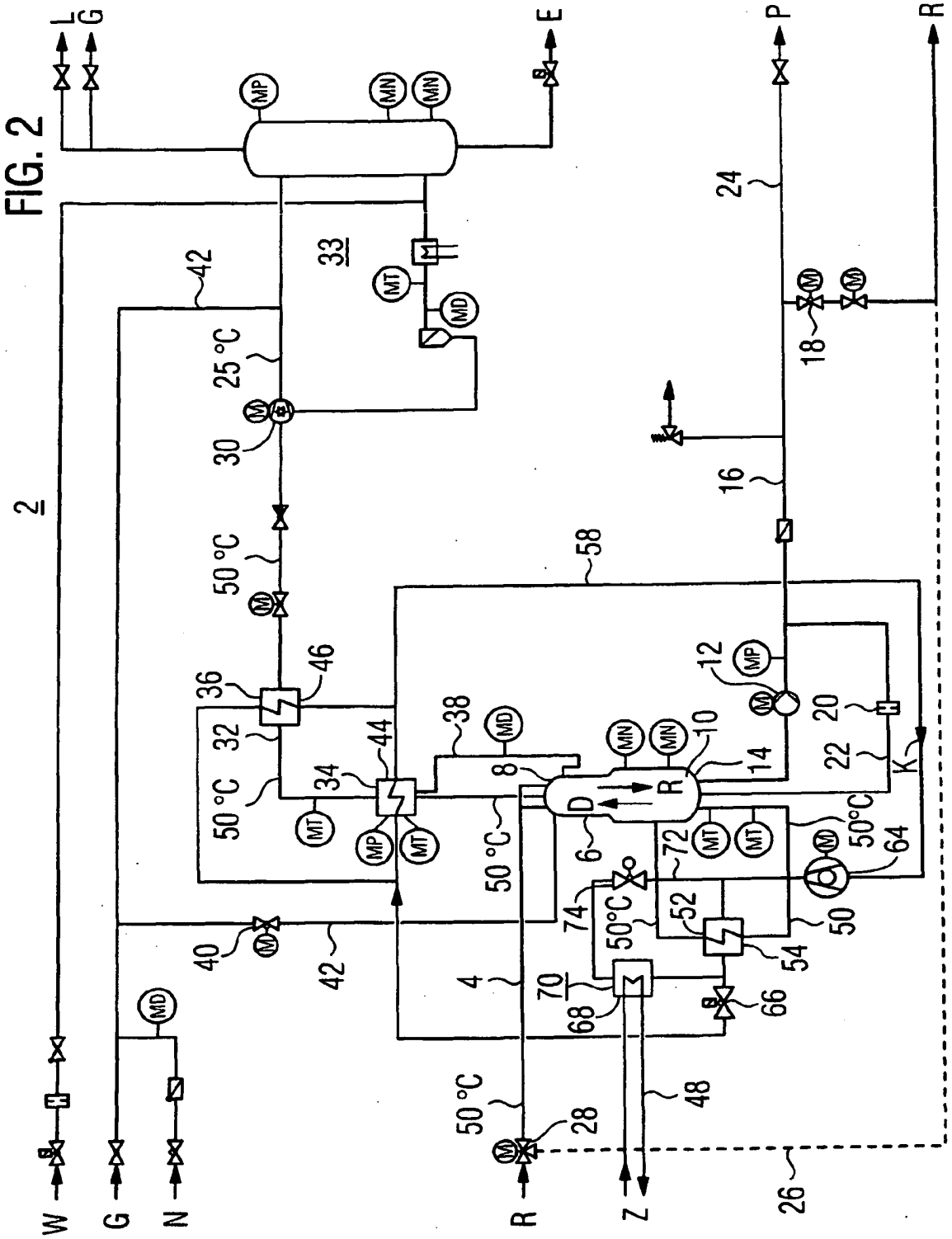
FIG. 2
L
G
E
P
R
W
G
N
R
Z
R
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
33
34
36
38
40
42
44
46
48
50
52
54
58
64
66
68
70
72
74
25 °C
50 °C
50 °C
50 °C
50 °C
50 °C
MP
MIN
MIN
MT
MD
MT
MP
MT
MD
MIN
MIN
MP
MT
MT
MD
D
R
K