



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0900899-3 B1



(22) Data do Depósito: 11/03/2009

(45) Data de Concessão: 09/04/2019

(54) Título: PROCESSO PARA SEPARAÇÃO DE UM ABSORVEDOR DE NÊUTRONS DE UM AGENTE REFRIGERANTE DE REATOR DE UMA INSTALAÇÃO NUCLEAR

(51) Int.Cl.: B01D 3/10; G21F 9/08.

(30) Prioridade Unionista: 12/03/2008 DE 10 2008 013 933.5.

(73) Titular(es): AREVA GMBH.

(72) Inventor(es): MANFRED MEINTKER.

(57) Resumo: PROCESSO E DISPOSITIVO PARA SEPARAÇÃO DE UM ABSORVEDOR DE NÊUTRONS DE UM AGENTE REFRIGERANTE DE UMA CIRCULAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO. A presente invenção refere-se a um processo e a um dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante de reator de uma instalação nuclear, sendo que o agente refrigerante de reator evapora por aquecimento em um dispositivo de separação e o agente refrigerante evaporado é descarregado separadamente do absorvedor de nêutrons não-evaporado do dispositivo de separação. A separação destilativa de agente refrigerante de reator de um reator de água de pressão nos produtos, produto de desionização, como agente refrigerante, e solução de ácido bórico concentrada, como absorvedor de nêutrons, bem como a desgaseificação de produto de desionização, que contém oxigênio, como agente refrigerante fresco, são realizados a uma pressão mais baixa, gerada por uma bomba de vácuo e, desse modo, a uma temperatura mais baixa do que até o presente. A energia térmica necessária para os processos de separação é distribuída pelos dispositivos de separação ou condensadores recuperativos ou refrigeradores de gás associados a uma circulação de água de refrigeração, anexada ao sistema de água de refrigeração intermediário da instalação nuclear. Essa circulação de água (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO PARA SEPARAÇÃO DE UM ABSORVEDOR DE NÊUTRONS DE UM AGENTE REFRIGERANTE DE REATOR DE UMA INSTALAÇÃO NUCLEAR".

[001] A presente invenção refere-se a um processo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante de uma instalação nuclear, sendo que o agente refrigerante é evaporado por aquecimento em um dispositivo de separação, que pode ser unido com um circuito de refrigeração, e o agente refrigerante evaporado é descarregado do dispositivo de separação, separadamente do absorvedor de nêutrons não-evaporado. Além disso, a invenção refere-se a um dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante de uma instalação nuclear.

[002] Para refrigeração de instalações nucleares são usados agentes refrigerantes, nos quais está dissolvido um chamado absorvedor de nêutrons, por exemplo, ácido bórico. Para regulação da composição do agente refrigerante, o agente refrigerante do reator é retirado do circuito de refrigeração do reator de água sob pressão e separado em água de refrigeração pura (produto de desionização) e no absorvedor de nêutrons, por exemplo, na forma de solução de ácido bórico concentrada. O produto de desionização e o absorvedor de nêutrons concentrado, depois da separação, são novamente alimentados nas dosagens desejadas ao circuito de refrigeração do reator.

[003] Para separação do absorvedor de nêutrons do agente refrigerante é conhecido que o agente refrigerante do reator, que contém o absorvedor de nêutrons, seja evaporado praticamente por completo. Do dispositivo de separação é retirada continuamente a solução absorvedora de nêutrons, com a concentração desejada, com ajuda de uma regulação controlada por concentração e nível de enchimento, e o agente refrigerante é completado (processo contínuo). Alternativa-

mente, o processo de separação é interrompido quando a concentração de absorvedor de nêutrons desejada é atingida e o fundo do evaporador na região inferior do dispositivo de separação é esvaziado (processo descontínuo). O agente refrigerante evaporado é purificado em uma coluna de fundo como dispositivo de separação do ácido bórico, também passado parcialmente para a fase de vapor, e o agente refrigerante evaporado precipita-se em um condensador como o produto de desionização de agente refrigerante desejado. Devido à sua pequena volatibilidade de vapor, o absorvedor de nêutrons dissolvido, por exemplo, ácido bórico (H_3BO_3), permanece como concentrado no coletor do dispositivo de separação. Os dois produtos, produto de desionização e absorvedor de nêutrons, são armazenados em reservatórios e, em caso de necessidade, novamente alimentados ao circuito de refrigeração do reator.

[004] Para o caso de ter de ser descarregado da circulação do reator produto de desionização de agente refrigerante, produzido na instalação de evaporação, para redução do teor de trítio no agente refrigerante de reator, os gases nobres radioativos dissolvidos são separados em uma instalação de desgaseificação e conduzidos ao sistema de gás de escapamento. A instalação de desgaseificação compreende, convencionalmente, uma coluna de corpo de enchimento com um evaporador ligado no fundo do dispositivo de separação, no qual uma quantidade parcial do agente refrigerante desgaseificado é evaporada. O produto de desionização do dispositivo de separação a ser desgaseificado é introduzido na cabeça de coluna de corpo de enchimento e corre na contracorrente ao vapor de agente refrigerante ascendente pela coluna de corpo de enchimento, sendo que pelo contato intenso ocorre uma desgaseificação do produto de desionização. Acima da coluna de corpo de enchimento o agente refrigerante evaporado condensa-se em um condensador de corrente de retorno e é reconduzido

à coluna de corpo de enchimento. Através de um refrigerador de gás, o gás não-condensável do produto de desionização é descarregado a um sistema de gás de escapamento apropriado. O agente refrigerante liberado de gases nobres radioativos dissolvidos é subsequentemente descarregado do fundo de evaporação da coluna de corpo de enchimento com uma bomba.

[005] Dispositivos de desgaseificação similares também são usados para eliminar o oxigênio perturbador do processo do produto de desionização fresco, que contém oxigênio, que é necessário para completar o agente refrigerante. Nesse caso, o produto de desionização é aquecido previamente em um aquecedor disposto a montante para a temperatura de processo na coluna de corpo de enchimento e, subsequentemente, separado do oxigênio na coluna de corpo de enchimento.

[006] Nos processos conhecidos do estado da técnica, o calor de processo, necessário para a evaporação nas duas colunas de corpo de enchimento, é alimentado com vapor auxiliar, que é retirado de uma rede de abastecimento de vapor auxiliar existente na usina elétrica. A temperatura de admissão e escoamento do agente refrigerante do reator perfaz aproximadamente 50°C, o produto de desionização contendo oxigênio é alimentado à coluna de corpo de enchimento com uma temperatura ambiente de aproximadamente 20°C. Todas as instalações de evaporação de absorvedor de nêutrons, com respectivos desgaseificadores, realizadas até agora, são operadas, por exemplo, a uma pressão de ambiente de aproximadamente 0,1 MPa (1,0 bar) e, com isso, a uma temperatura de quase 100°C, para o processo de evaporação (temperatura de ebulição). O rendimento térmico necessário resulta, aproximadamente, da corrente de quantidade de produto de desionização desejada multiplicada com a diferença da entalpia específica do agente refrigerante evaporado no evaporador e a entalpia

do agente refrigerante boratado, alimentado.

[007] Um rendimento térmico aproximadamente do mesmo tamanho precisa ser descarregado dos condensadores e refrigeradores de gás da instalação de evaporação e da instalação de desgaseificação, com ajuda da água de refrigeração. Tanto o abastecimento de vapor auxiliar como também o abastecimento de água de refrigeração causam custos consideráveis para os dispositivos necessários e reduzem o rendimento de energia da instalação nuclear. Por esse motivo, podem resultar perdas de mais de 5 MW de energia térmica em um reator de água sob pressão com cerca de 1200 MW de rendimento elétrico, devido ao abastecimento de vapor auxiliar e abastecimento de água de refrigeração adicional.

[008] Para evitar essas desvantagens, o documento DE 19833739 C1 descrevem como estado da técnica mais recente um processo e um dispositivo para separação de um absorvedor para absorção de nêutrons de um agente refrigerante, no qual o vapor de agente refrigerante que sai da coluna de corpo de enchimento é comprimido em um compressor por meio de uma compressão de vapor, sob aumento de temperatura, e a energia térmica obtida desse modo é usada para aquecimento dos dispositivos de separação.

[009] Nos processos e dispositivos conhecidos do estado da técnica, para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante, é desvantajoso que são necessárias fontes de calor adicionais, particularmente, aquecedores de resistência elétricos, para garantir, particularmente, ao ligar o dispositivo, o aquecimento do dispositivo de separação até a temperatura de operação. Além disso, o calor de escape, gerado na operação dos aquecedores de resistência elétricos, adicionais, precisa ser descarregado através de um sistema de ventilação. Para limitar o superaquecimento do agente refrigerante evaporado e refrigerar os compressores, além disso, é necessário inje-

tar constantemente água no agente refrigerante evaporado. Os compressores mecânicos, particularmente, compressores de vapor, possuem motores de acionamento situados externamente e, por esse motivo, necessitam de um sistema de vedação complexo no eixo, para impedir a saída de meios de carga radioativa.

[0010] A invenção tem por base a tarefa de evitar as desvantagens mostradas acima e pôr à disposição um processo e um dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante de uma instalação nuclear, que em comparação com processos e dispositivos conhecidos, sejam seguros de operar e apresentem um consumo de energia própria pequeno.

[0011] A tarefa é solucionada pelas características segundo as quais, do agente refrigerante evaporado é retirada, pelo menos parcialmente, a energia térmica e distribuída a um circuito de refrigeração com uma água de refrigeração (KW), sendo que por pelo menos um circuito de bomba térmica, acoplado ao circuito de refrigeração com a água de refrigeração, energia térmica é retirada do circuito de refrigeração e a energia térmica retirada é utilizada depois de um aumento do nível de temperatura para evaporação do agente refrigerante do reator. O agente refrigerante do reator é conduzido por convecção natural através de um circuito de evaporação acoplado termicamente no circuito de bomba térmica, e sendo que a pressão no dispositivo de separação é ajustada através de uma bomba de pressão para 0,125 bar, de modo que o agente refrigerante de reator seja evaporado em uma temperatura de processo de cerca de 50 °C.

[0012] De acordo com a invenção está previsto que pelo menos um trocador de calor, disposto em um circuito de refrigeração com uma água de refrigeração, retire energia térmica do circuito de refrigeração e a energia térmica seja usada para aquecimento para outras etapas de processo, particularmente, para a evaporação do agente

refrigerante de reator na coluna de ácido bórico, como dispositivo de separação. Para tornar o calor de escape contido na água de refrigeração tecnicamente útil, está prevista, nesse caso, uma bomba térmica, com um agente refrigerante guiado em um circuito de bomba térmica, sendo que pela capacidade de compressão mecânica de um compressor está garantido um aumento de temperatura do agente refrigerante, necessário para o aproveitamento útil.

[0013] Pelo uso de um circuito de bomba térmica separado com um agente refrigerante não-radioativo como meio de transporte de calor, não é necessário condensar o agente refrigerante do reator carregado radioativamente em compressoras com vedações de eixo e exigências de refrigeração sob aumento de temperatura, difíceis de ser controladas. No uso exclusivo de trocadores de calor de superfície na transferência de calor para o agente refrigerante do reator, é evitado um superaquecimento do vapor do agente refrigerante do reator e, com isso, o risco de uma falha química do absorvedor de nêutrons (ácido bórico) em forma cristalina, o que, de outro modo, poderia levar a um defeito da instalação nuclear.

[0014] Em uma configuração vantajosa do processo, o agente refrigerado evaporado é alimentado a um aquecedor prévio recuperativo e/ou a um condensador e/ou a um refrigerador de gás. O condensador e/ou o refrigerador de gás distribuem à água de refrigeração a energia térmica liberada na condensação do agente refrigerante evaporado, sendo que o trocador de calor retira novamente energia térmica da água de refrigeração, devido ao sistema de circuito de refrigeração fechado. A energia térmica obtida desse modo é novamente usada, particularmente, para evaporação do agente refrigerante do reator e/ou em um dispositivo de separação para desgaseificação do agente refrigerante.

[0015] Vantajosamente, a circulação da água de refrigeração está

unida com o sistema de água de refrigeração intermediário da instalação nuclear. As energias térmicas recebidas no condensador e/ou no refrigerador de gás da água de refrigeração e novamente fornecidas à água de refrigeração são novamente retiradas, em sua maior parte, do circuito de refrigeração da água de refrigeração e usadas novamente para a evaporação do agente refrigerante nos respectivos dispositivos de separação. Diferentemente das instalações de evaporadores e de desgaseificação, aquecidas com vapor auxiliar, a quantidade considerável de calor de processo, que é necessária para a realização dos processos de separação, de acordo com a presente invenção é novamente recuperada, em grande parte, e essa energia térmica é usada adicionalmente para os processos de separação correntes. A recuperação de calor dá-se em um circuito de refrigeração fechado, de modo que a energia térmica fornecida através dos condensadores e/ou dos refrigeradores de gás ao circuito de refrigeração seja novamente retirada por meio dos trocadores de calor. O circuito de refrigeração fechado da água de refrigeração não-carregada radioativamente é, desse modo, usado de acordo com a invenção como uma espécie de acumulador de calor.

[0016] É visto como vantajoso que a energia térmica que pode ser retirada na circulação da água de refrigeração por meio do trocador de calor também seja usada para a alimentação de calor de outros dispositivos de separação e/ou para o aumento de temperatura de agente refrigerante novo, que contém oxigênio, em um preaquecedor de água adicional, na forma de um trocador de calor. Isso reduz, ainda, a carga térmica dentro da instalação nuclear, que precisa ser descarregada no ambiente com o sistema de água de refrigeração intermediário. Particularmente, em locais com altas temperaturas de água de refrigeração auxiliar, a carga térmica mais alta está associada a altos custos adicionais para a distribuição de calor da instalação nuclear. A circulação

de água de refrigeração fechada é útil, portanto, como reservatório de calor para as mais diversas fontes de calor, tais como condensadores ou refrigeradores de gás, bem como para os mais diversos rebaixadores de calor, na forma de trocadores de calor, sendo que os trocadores de calor põem à disposição a energia térmica recebida por meio de um circuito de bomba térmica, com um agente refrigerante circulante, particularmente, para os processos de evaporação nos dispositivos de separação.

[0017] 'A ligação da circulação de água de refrigeração no circuito de refrigeração intermediário da instalação nuclear oferece, além disso, a vantagem de que energia térmica está disponível para a circulação de trocador de calor, já para o procedimento de entrada em funcionamento do sistema. Desse modo, resulta a vantagem de que não são necessárias fontes de calor adicionais.

[0018] Para uma utilização termodinamicamente vantajosa do processo, o agente refrigerante é evaporado na circulação da bomba térmica em um evaporador e o agente refrigerante vaporado é comprimido, sob aumento de temperatura em um compressor. Subseqüentemente, o agente refrigerante evaporado é liquefeito sob descarga de calor em um condensador e, descarregado de pressão em um estrangulador, é novamente alimentado ao evaporador do trocador de calor. Pela compressão do agente refrigerante evaporado pelo calor da água de refrigeração no lado primário do circuito de bomba térmica, o vapor do agente refrigerante é aquecido adicionalmente. Esse vapor de agente refrigerante aquecido serve então como meio térmico para a evaporação do agente refrigerante do reator, enriquecido com o absorvedor de nêutrons, no fundo de um dispositivo de separação. O agente refrigerante encontra-se em contato térmico por meio do condensador, apenas com o agente refrigerante do reator, enriquecido com o absorvedor de nêutrons, que, devido à convecção térmica circu-

la entre o fundo do dispositivo de separação e o trocador de calor. Uma contaminação, particularmente, uma carga radioativa do agente refrigerante, do agente refrigerante é impedida pela separação das circulações. Uma tubulação com estrangulador, disposta no circuito de bomba térmica, conduz o agente refrigerante liquefeito novamente para o lado primário do circuito de bomba térmica, de modo que o agente refrigerante resfriado desse modo esteja novamente à disposição para um novo recebimento de energia térmica do sistema de refrigeração intermediário dentro da circulação térmica.

[0019] Uma bomba de vácuo gera, vantajosamente, uma pressão divergente da pressão ambiente, particularmente, uma pressão hidrostática menor do que a pressão ambiente, dentro dos dispositivos de separação. Vantajosamente, pela bomba de vácuo é gerada uma pressão hidrostática de 0,0125 MPa (0,125 bar) nos dispositivos de separação. Pela redução da pressão hidrostática nos dispositivos de separação é criada a possibilidade de realizar o processo de separação do agente refrigerante evaporado nos componentes de agente refrigerante e absorvedor de nêutrons, a condições de pressão mais baixas e, desse modo, a uma temperatura mais baixa do que até agora. Isso possibilita, ainda, o uso de agentes refrigerantes mais seguros e comprovados nas circulações fechadas de trocador de calor, tal como, por exemplo, tetrafluoretano, a, simultaneamente, condições de pressão relativamente pequenas e, desse modo, um bom índice de potência ϵ .

[0020] Além disso, é considerado como vantagem o fato de que uma parte do gás arrastado, não-condensável, no condensador e/ou no refrigerador de gás é separada e alimentada a um sistema de gás de escapamento. No caso ideal, a bomba de vácuo está disposta antes do sistema de gás de escapamento e, com a redução de pressão no dispositivo, simultaneamente descarrega o gás não-condensável

ou, em uma desgaseificação de produto de desionização que contém oxigênio, o oxigênio.

[0021] Vantajosamente, o agente refrigerante evaporado é alimentado a um preaquecedor recuperativo, de modo que, com isso, o rendimento de calor do dispositivo seja novamente aumentado.

[0022] A separação destilativa de agente refrigerante do reator boratado de um reator de água sob pressão nos produtos de desionização como agente refrigerante e solução de ácido bórico concentrada como absorvedor de nêutrons, bem como a desgaseificação de gases nobres radiativos dissolvidos do produto de desionização como componente do agente refrigerante do reator ou a desgaseificação do oxigênio do agente refrigerante fresco, contendo oxigênio, é realizado a uma pressão mais baixa em relação a processos de separação convencionais e, desse modo, a uma temperatura mais baixa do que era usual até agora. Desse modo, o calor de processo, necessário para os processos de separação, é reduzido. Além disso, a energia térmica no preaquecedor recuperativo, necessária para os processos de separação, é alimentada ao agente refrigerante do reator a ser separado e/ou no condensador e/ou no refrigerador de gás, ao circuito de refrigeração fechado da água de refrigeração. O circuito de refrigeração fechado da água de refrigeração conduz a energia térmica do condensador e/ou do refrigerador de gás a diversos trocadores de calor. Os trocadores de calor herméticos, enchidos com agente refrigerante, novamente absorvem, em grande parte, a energia térmica, sendo que o agente refrigerante é evaporado. O nível de temperatura dentro do circuito de bomba térmica é aumentado pela compressão mecânica do vapor do agente refrigerante. Subsequentemente, o valor de agente refrigerante aquecido é conduzido dentro da segunda circulação de trocador de calor fechada aos consumidores de calor no sistema, tais como, por exemplo, uma coluna de ácido bórico ou uma coluna de desgaseifica-

ção. A potência a ser alimentada do exterior para os processos de separação e a potência a ser descarregada para o exterior com a água de refrigeração pode ser reduzida por meio da presente invenção em mais de 80% em relação a aparelhos de separação correspondentes, aquecidos com vapor auxiliar ou aquecimento por resistência elétrica.

[0023] Portanto, por meio da presente invenção, a carga térmica sobre o sistema de refrigeração intermediário é diminuída. A invenção contribui para que instalações nucleares possam ser operadas também em locais com condições de água de refrigeração desfavoráveis, particularmente, com temperaturas de água de refrigeração elevadas. A carga térmica para o sistema de ventilação no edifício anexo da instalação também é substancialmente reduzida, uma vez que no uso da presente invenção, as partes da instalação não apresentam nenhuma temperatura de processo mais alta que 50°C – a uma pressão de 0,0125 (0,125 bar) absoluto nos aparelhos de separação. No sistema de ventilação, isso leva a simplificações e a uma redução de custos substanciais. É suprimida a distribuição de vapor auxiliar como fonte de calor adicional da parte convencional da usina elétrica. Em relação a instalações conhecidas do estado da técnica, com compressão de vapor mecânica, a técnica de componentes da presente invenção é nitidamente mais simples, requer menos manutenção e é mais segura. Não são necessários dispositivos adicionais para por o sistema em funcionamento. Um superaquecimento do vapor de agente refrigerante do reator, com o risco da precipitação de ácido bórico residual cristalino é evitado com segurança. O abastecimento de corrente adicional, complexo, para os aquecedores de resistência elétricos é suprimido.

[0024] De acordo com a invenção está previsto um dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante do reator de uma instalação nuclear, que apresenta um elemento térmico, que retira, pelo menos parcialmente, a energia térmica do agen-

te refrigerante evaporado e distribui a mesma a um circuito de refrigeração com uma água de refrigeração, sendo que pelo menos um trocador de calor disposto no circuito de refrigeração com a água de refrigeração retira energia térmica do circuito de refrigeração e o trocador de calor põe a energia térmica à disposição para outras etapas de processo, particularmente, para abastecimento do calor dos dispositivos de separação.

[0025] Em uma configuração vantajosa do dispositivo está previsto que pelo menos um condensador e/ou pelo menos um refrigerador de gás como elemento térmico transfere a energia térmica do agente refrigerante evaporado ao circuito de refrigeração da água de refrigeração, sendo que o trocador de calor retira novamente a energia térmica do circuito de refrigeração da água de refrigeração e o dispositivo de separação, para evaporação do agente refrigerante do reator e/ou um dispositivo de separação, para desgaseificação do agente refrigerante, utilizam a energia térmica obtida desse modo para a evaporação do agente refrigerante do reator. Nesse caso, pelo uso de uma bomba térmica, com um agente refrigerante guiado em uma circulação intermediária fechada, obtém o aumento de temperatura necessário para o aproveitamento do calor de escape, sob uso de trabalho de compressão mecânico.

[0026] O agente refrigerante no circuito de bomba térmica evapora em um evaporador e o agente refrigerante evaporado é comprimido em um compressor, sob elevação da temperatura. Subsequentemente, o agente refrigerante evaporado é liquefeito, sob fornecimento de calor, em um condensador. A seguir, o agente refrigerante liquefeito é distendido em um estrangulador e resfriado e, depois, novamente alimentado ao evaporador do circuito de bomba térmica. A energia térmica fornecida no condensador é alimentada com a água de refrigeração do reator, enriquecida com o absorvedor de nêutrons, ao fundo do dis-

positivo de separação, de tal modo que a água de refrigeração do reator circule com o absorvedor de nêutrons em um sistema de tubos do fundo do dispositivo de separação para o circuito de bomba térmica e absorve a energia térmica do condensador no circuito de bomba térmica.

[0027] Uma bomba de vácuo gera, vantajosamente, uma pressão divergente da pressão ambiente no dispositivo de separação e, desse modo, nos dispositivos de separação, com o que está garantida uma pressão hidrostática divergente, particularmente menor, do que a pressão ambiente dentro do sistema.

[0028] A tarefa também é solucionada pelas características da reivindicação 15 como instalação nuclear, particularmente, como reator de água sob pressão, com um dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons de um agente refrigerante do reator, com recuperação de calor.

[0029] Outras configurações vantajosas da presente invenção evidenciam-se das reivindicações secundárias.

[0030] A invenção é explicada mais detalhadamente a seguir, por meio de exemplos de modalidade. Nesse caso mostram, exemplificadamente,

[0031] figura 1 um diagrama de ligações simplificado do dispositivo, de acordo com a invenção, com diversos trocadores de calor, unidos com ao circuito de refrigeração da água de refrigeração;

[0032] figura 2 um diagrama de ligações simplificado do dispositivo, de acordo com a invenção, com valores de estado termodinâmicos selecionados para a evaporação de água boratada, com 2200 ppm de boro como absorvedor de nêutrons;

[0033] figura 3 um diagrama de ligações simplificado do dispositivo, de acordo com a invenção, com valores de estado termodinâmicos selecionados, para a exclusiva desgaseificação de produto de desioni-

zação rico em oxigênio; e

[0034] figura 4 uma representação em detalhe de um circuito de bomba térmica.

[0035] A figura 1 mostra um diagrama de ligações simplificado do dispositivo, de acordo com a invenção 2, com três circulações de bomba térmica 5, 15, 25, acopladas a um circuito de refrigeração da água de refrigeração KW. De um reservatório 14 (não representado mais detalhadamente) agente refrigerante de reator RK, que contém ácido bórico, é alimentado com uma bomba de alimentação de evaporador 21 ao dispositivo 2, sendo que o agente refrigerante de reator RK é separado nos componentes reutilizáveis, produto de desionização como agente refrigerante K e absorvedor de nêutrons, na forma de solução de ácido bórico concentrado NA. No preaquecedor 22 recuperativo, o agente refrigerante de reator RK alimentado é aquecido da temperatura do reservatório, por exemplo, 20°C de temperatura ambiente, para aproximadamente 40°C. Para aquecimento do agente refrigerante de reator RK é usada uma parte do agente refrigerante evaporado KD, que sai da coluna de ácido bórico 3 com 50°C. O agente refrigerante de reator RK preaquecido é depois introduzido no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3, onde ele se mistura com a solução de ácido bórico NA ali existente, com por exemplo, 7000 ppm de boro (estado de ebulição a 50°C, 0,0125 MPa (0,125 bar)). O conteúdo do fundo 20 da coluna de ácido bórico 3, acionado por convecção natural, circula entre o fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 e o trocador de calor 30 do circuito de bomba térmica fechado 5 de um agente refrigerante KM, sendo que pelo aquecimento da coluna de ácido bórico 3, uma parte do agente refrigerante de reator RK evapora. O agente refrigerante KM do circuito de bomba térmica 5 fechado não entra diretamente em contato com o agente refrigerante de reator RK ou o absorvedor de nêutrons NA, mas apenas distribui no trocador de calor 39

a energia térmica acumulada à coluna de ácido bórico 3.

[0036] A quantidade do agente refrigerante evaporado KD é determinada pela potência de aquecimento da circuito de bomba térmica 5. Para um reator de água sob pressão da classe EPR, essa potência de aquecimento pode perfazer, por exemplo 6600 kW, com o que é possível uma quantidade de evaporação de 2,71 kg/s. Na evaporação do agente refrigerante de reator RK, a maior parte do ácido bórico permanece concentrada como absorvedor de nêutrons NA no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 (concentração de, aproximadamente, 7000 ppm de boro). A saída da parte menor do absorvedor de nêutrons NA com o vapor de agente refrigerante KD do fundo 20 da coluna de ácido bórico 3, dá-se de acordo com os coeficientes de distribuição, dependentes de concentração e pressão, por exemplo, a 10 ppm. Para redução adicional da concentração do absorvedor de nêutrons NA no vapor de agente refrigerante KD, o vapor de agente refrigerante KD é guiado de baixo para cima pela coluna de ácido bórico 3. Nesse caso, o vapor de agente refrigerante KD, na passagem de cada fundo da coluna de ácido bórico entre em uma troca de material intensiva com o agente refrigerante K em ebulição, que se encontra no fundo, sendo que a concentração do absorvedor de nêutrons NA continua a diminuir sucessivamente e, no final, atinge uma concentração de menos de 2 ppm.

[0037] Para manutenção do processo de troca de materiais descrito, é alimentada na cabeça da coluna de ácido bórico 3 uma corrente de retorno de, por exemplo, 0,4 kg/s do produto de desionização K obtido, que é ramificada no lado de pressão da bomba de produto de condensação 23. O vapor de agente refrigerante KD, que sai na cabeça da coluna de ácido bórico 3, é guiado pelo preaquecedor 22 recuperativo, onde uma parte da energia térmica contida é transferida para preaquecimento ao agente refrigerante de reator RK alimentado. Da

saída do preaquecedor 22 recuperativo, o vapor de agente refrigerante KD continua a correr para um condensador 24. No condensador 24, o vapor de agente refrigerante KD é condensado praticamente por completo, mas não é sub-resfriado. Uma pequena quantidade residual do vapor de agente refrigerante KD é guiada adicionalmente para um refrigerador de gás 26, no qual por resfriamento adicional, o vapor de agente refrigerante KD restante se precipita. O produto de condensação do refrigerador de gás 26 e do condensador 24 é coletado como agente refrigerante K em um recipiente de produto de condensação 27, enquanto gases não-condensáveis GAS são retirados com uma bomba de vácuo 6 do refrigerador de gás 26 e reconduzidos para um sistema de gás de escapamento 35. O produto de condensação coletado no recipiente de produto de condensação 27 é o agente refrigerante desejado, produto de desionização K. O produto de desionização K é transportado com uma bomba de produto de condensação 28 para um reservatório de produto de desionização 17, onde fica à disposição para a reutilização no circuito de refrigeração do reator.

[0038] De acordo com a alimentação do ácido bórico como absorvedor de nêutrons NA com o agente refrigerante de reator RK alimentado, que contém boro, solução de ácido bórico NA concentrada é retirada do fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 com uma bomba de descarga 13 e transportada para um reservatório de ácido bórico 18, não representado mais detalhadamente. A quantidade retirada do absorvedor de nêutrons NA é ajustada de tal modo que sempre esteja garantida uma concentração constante do absorvedor de NA no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 e na corrente de produto dentro do dispositivo 2, à concentração ajustada previamente de, por exemplo, 7000 ppm.

[0039] Para absorção do calor de condensação no condensador 24 e no refrigerador de gás 26, os dois dispositivos utilizam água de

refrigeração KW de um sistema de água de refrigeração intermediário 16 da usina elétrica. A água de refrigeração KW aquece-se da temperatura do sistema de água de refrigeração intermediário 16 de, por exemplo, 36°C, pela absorção do calor de condensação no condensador 24 e no refrigerador de gás 26 para, por exemplo, 46°C e é reunida em um coletor de água de refrigeração 7. Com uma bomba de circulação de água de refrigeração 12, a água de refrigeração KW é transportada do coletor de água de refrigeração 7, através de um distribuidor de retorno 8, através do trocador de calor 38, novamente de volta para um distribuidor de avanço 9. O trocador de calor 38 é parte integrante da circuito de bomba térmica 5, à qual também pertencem o trocador de calor 39, o compressor 37 e o estrangulador 40. Na figura 1 está representado um diagrama de ligações simplificado no desenho do circuito de bomba térmica 5. Na figura 4, o circuito de bomba térmica 5 está destacado, mais uma vez, de modo ampliado e mais detalhado, sendo que, secundariamente, só estão representadas as ligações de linha nos dois trocadores de calor 38 e 39, mas não a ligação dos mesmos com a circulação de agente refrigerante ou a circulação do evaporador do dispositivo de separação 3.

[0040] No evaporador da circuito de bomba térmica 5, a água de refrigeração KW distribui a energia térmica absorvida no condensador 24 e/ou no refrigerador de gás 26 ao agente DE refrigeração KM no lado primário do trocador de calor 38, dentro do circuito de bomba térmica 5. O agente DE refrigeração K, que corre no outro lado do circuito de bomba térmica 5, do fundo 20 da coluna de ácido bórico 30 absorve no trocador de calor 39 a energia térmica do vapor de agente refrigerante KMD, comprimido pelo compressor 37 e, desse modo, de temperatura mais alta. O agente refrigerante K, que circula entre o fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 e o trocador de calor 39, é aquecido adicionalmente e evaporado e é reconduzido à coluna de ácido bórico 3

como mistura de agente refrigerante/vapor de agente refrigerante K/KD. A água de refrigeração KW esfria pela descarga de calor no trocador de calor 38, da temperatura mais alta (46°C) para a temperatura (36°C) do sistema de água de refrigeração intermediário 16. A água de refrigeração KW é depois alimentada novamente do distribuidor de avanço 9 ao condensador 24 e ao refrigerador de gás 26, para a condensação/refrigeração do vapor de agente refrigerante KD da coluna de ácido bórico 3. Portanto, é formada uma circulação de água de refrigeração, com a qual a energia térmica, que sai com o vapor de agente refrigerante KD na cabeça de coluna da coluna de ácido bórico, é transportada para o fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 através de duas circulações fechadas – o circuito de refrigeração da água de refrigeração KW e o circuito de bomba térmica 5, com o agente refrigerante KM.

[0041] Como o trocador de calor 38 ou o circuito de bomba térmica 5 não consegue retirar completamente da água de refrigeração KW, a energia térmica absorvida no condensador 24 e/ou no refrigerador de gás 26, uma pequena quantidade de água de refrigeração KW do sistema de água de refrigeração intermediário 16 da usina elétrica corre continuamente para a circulação de água de refrigeração, descrita acima, através do distribuidor de avanço 9. A mesma quantidade de água de refrigeração é fornecida, a uma temperatura aumentada correspondentemente, do distribuidor de retorno 8 novamente ao sistema de água de refrigeração intermediário 16. Para ajuste dessa corrente de água de refrigeração, serve uma válvula reguladora de água de refrigeração 19. A energia térmica descarregada desse modo é menor do que a potência elétrica do compressor 37 do circuito de bomba térmica 5, que é alimentada ao dispositivo 2 como energia térmica útil. A diferença entre a energia térmica útil alimentada eletricamente e a energia térmica descarregada com a água de refrigeração KW corres-

ponde ao aquecimento do agente de refrigeração K e ao aquecimento da solução de ácido bórico concentrada como absorvedor de nêutrons nos reservatórios 17, 18, em relação à temperatura do agente refrigerante de reator RK, que contém boro, alimentado do reservatório de agente refrigerante de reator 14.

[0042] No circuito de bomba térmica 5, o agente refrigerante KM é evaporado por meio da energia térmica absorvida da circulação da água de refrigeração KW e, sob aumento de temperatura é comprimido adicionalmente pelo compressor 37, de modo que o vapor de agente refrigerante KMD transfere, novamente a energia térmica através do trocador de calor 39 à solução de ácido bórico concentrada, em ebulição, circulante, no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3. O compressor 37 é uma bomba térmica de compressor, hermeticamente fechada, acionada eletricamente. No evaporador da circuito de bomba térmica 5, portanto, no trocador de calor 38, o agente refrigerante KM, de preferência, tetrafluoretano, é evaporado pela energia térmica transferida pela água de refrigeração KW, a uma temperatura constante. No condensador do circuito de bomba térmica 5, portanto, no trocador de calor 39 o agente refrigerante evaporado KMD é condensado – pelo lado primário e, ao mesmo tempo – pelo lado secundário – é evaporado o agente refrigerante de reator K, que contém boro, conduzido na circulação de evaporador 36.

[0043] No evaporador do circuito de bomba térmica 5, portanto, no trocador de calor 38, opcionalmente, o agente refrigerante evaporado KMD ainda é ligeiramente sobreaquecido. O compressor 37 do circuito de bomba térmica 5 aspira o vapor de agente refrigerante KMD produzido no evaporador, comprime o mesmo, sob aumento de temperatura e transporta o agente refrigerante evaporado KMD para o condensador do circuito de bomba térmica 5, portanto, para o trocador de calor 39. O agente refrigerante evaporado KMD está superaquecido, nesse ca-

so. O agente refrigerante evaporado KMD, por resfriamento até o estado de saturação, distribui energia térmica para aquecimento da solução de ácido bórico como absorvedor de nêutrons NA no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3. Nesse caso, a distribuição de calor dá-se por condensação do agente refrigerante evaporado KMD, à temperatura constante, e subsequente sub-resfriamento ligeiro do agente refrigerante líquido KM. O processo de circulação da bomba térmica é completado quando o agente refrigerante KM escoar através de um estrangulador 40 para o evaporador, isto é, o trocador de calor 38, do circuito de bomba térmica 5. Pela descarga de calor no trocador de calor 39, a temperatura do agente refrigerante KM desce até o ponto em que no evaporador do circuito de bomba térmica 5, portanto, no trocador de calor 38, é novamente absorvida energia térmica da água de refrigeração KW.

[0044] Para o processo de acordo com a invenção é necessário apenas um aumento de pressão relativamente pequeno do agente refrigerante evaporado KMD, de aproximadamente 0,6 MPa até quase 2,0MPa (6 até quase 20 bars), pelo compressor 37 do circuito de bomba térmica 5. Consequentemente, o processo de bomba térmica – dependendo do modelo de compressor – pode obter um índice de potência $\varepsilon \geq 6$ muito bom. Esse índice de potência ε significa que só menos do que um sexto da energia térmica necessária para a coluna de ácido bórico 3 precisa ser alimentado por potência elétrica através do compressor 37 do circuito de bomba térmica 5, enquanto os mais de cinco sextos restantes da energia térmica necessária podem ser retirados da água de refrigeração KW do sistema de água de refrigeração intermediário 16.

[0045] Para o caso da distribuição do produto de desionização obtido da instalação de evaporação de ácido bórico 3, 20 a 28, como agente refrigerante K da instalação nuclear 1, por exemplo, por razões

da redução da concentração de trítio, adicionalmente ao processo de separação descrito acima, ainda é necessária uma desgaseificação na instalação de desgaseificação 29 a 31 que pertence ao dispositivo de separação 2 de acordo com a invenção. Com a bomba de produto de condensação 23, o agente refrigerante K é transportado para a cabeça da coluna de desgaseificação 30 e alimentado acima da guarnição de corpo de enchimento 31. Na coluna de desgaseificação 30, bem como na coluna de ácido bórico 3, é ajustada uma pressão de 0,0125 MPa (0,125 bar) absoluto, com ajuda da bomba de vácuo 6. O agente refrigerante K alimentado do recipiente de produto de condensação 27 tem uma temperatura de praticamente 50°C e encontra-se, portanto, no estado de ebulição, quando ele corre de cima para baixo pela guarnição de corpo de enchimento na coluna de desgaseificação 30. No fundo 29 da coluna de desgaseificação 30 está ligado através de uma circulação de evaporador 36' um trocador de calor 39', disposto no lado secundário em um circuito de bomba térmica 15, que evapora uma parte do agente refrigerante K desgaseificado, coletado no fundo, por alimentação de calor do circuito de bomba térmica 15 fechada.

[0046] A parte do agente refrigerante K evaporada no fundo 29 corresponde a cerca de 3% a 5% da carga de agente refrigerante pela instalação de desgaseificação 30. O vapor de agente refrigerante KD gerado sobe pela coluna de desgaseificação 30 e na guarnição de corpo de enchimento 31 entra em troca de material intensiva com o agente refrigerante K que corre para baixo, com o que ocorre o efeito de desgaseificação desejado. O vapor de agente refrigerante KD que sai na cabeça da coluna de desgaseificação 30 chega a um condensador de retorno 32. No condensador de retorno 32, ele é condensado praticamente por completo e, nesse caso é sub-refrigerado – se de todo - apenas ligeiramente. Uma quantidade residual pequena do va-

por de agente refrigerante KD é conduzida adicionalmente para um refrigerador de gás 33, sendo que no refrigerador de gás 33 precipita-se, por resfriamento adicionalmente, o vapor de agente refrigerante KD restante. O produto de condensação do refrigerador de gás 33 e do condensador de retorno 32 corre de volta por gravitação para a cabeça da coluna de desgaseificação 30, enquanto gases não-condensáveis GAS são retirados do refrigerador de gás 33 com a bomba de vácuo 6 e são conduzidos adicionalmente ao sistema de gás de escapamento 35.

[0047] Para absorção do calor de condensação no condensador de retorno 32 e no refrigerador de gás 33 água de refrigeração KW é guiada pelo condensador de retorno 32 e o refrigerador de gás 33 do sistema de água de refrigeração intermediário 16 da instalação nuclear 1. A água de refrigeração KW aquece-se, nesse caso, por exemplo, de 36°C para 46°C. O agente refrigerante K desgaseificado, coletado no fundo 29 da coluna de desgaseificação 30 é transportado com uma bomba de descarga de desgaseificação 34 para um coletor de águas de descarga 17 correspondente, não representado, do qual é descarregado da instalação nuclear 1, depois de controle correspondente.

[0048] A energia térmica necessária para a evaporação parcial da água de refrigeração K desgaseificada é posta à disposição pelo circuito de bomba térmica 15, que, por sua vez, utiliza a água de refrigeração KW como fonte de calor, que sai do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33 com uma temperatura de, por exemplo, 46°C e é reunida no coletor de água de refrigeração 7. Exatamente como no caso descrito acima da instalação de evaporação de ácido bórico 3, uma circulação de água de refrigeração fechada é operada com uma bomba de circulação de água de refrigeração 12, com a qual a energia térmica, que sai com o vapor de agente refrigerante KD na cabeça de coluna da coluna de desgaseificação 30, é transportada no

circuito de bomba térmica 15 no fundo 29 da coluna de desgaseificação 30. Como também na coluna de desgaseificação 30, o trocador de calor 38' não consegue retirar completamente da água de refrigeração KW a energia térmica absorvida pelo condensador de retorno 32 e pelo refrigerador de gás 33, uma pequena quantidade de água de refrigeração Kw do sistema de água de refrigeração intermediário 16 da instalação nuclear 1 é alimentada continuamente à circulação de água de refrigeração através do distribuidor de avanço 9. A mesma quantidade da água de refrigeração KW é novamente distribuída, a uma temperatura aumentada de modo correspondente, pelo distribuidor de retorno 8 ao sistema de água de refrigeração intermediário 16. Para ajuste dessa corrente de água de refrigeração serve a válvula de regulação 19. A energia térmica descarregada desse modo corresponde à potência elétrica do compressor 37' do segundo circuito de bomba térmica 15.

[0049] O circuito de bomba térmica 5 fechado 15 funciona do mesmo modo como o circuito de bomba térmica fechado, pertencente à instalação de evaporação de ácido bórico 3. As temperaturas, pressões e, conseqüentemente, o índice de potência ϵ são, de preferência, os mesmos como no primeiro circuito de bomba térmica 5. A potência elétrica necessária, porém, é muito menor, devido à quantidade menor do agente refrigerante K a ser evaporado.

[0050] Um processo semelhante é usado para pôr à disposição agente refrigerante K novo, contendo oxigênio, para o sistema de refrigeração. Quando o balanço do agente refrigerante da instalação nuclear 1 precisa ser completado, o novo agente refrigerante K é retirado de um sistema de distribuição de produto de desionização. O agente refrigerante K obtido não está livre de oxigênio, no caso normal, e, portanto, precisa ser desgaseificado antes da utilização. Isso ocorre na coluna de desgaseificação 30 descrita acima. O agente refrigerante K

do sistema de distribuição de produto de desionização tem, por exemplo, uma temperatura ambiente média de 20°C e, portanto, precisa ser preaquecido, antes de poder ser alimentado à coluna de desgaseificação 30, para a temperatura de processo de 50°C – no caso de uma pressão de 0,0125 MPa (0,125 bar) absoluto. Isso ocorre de acordo com a invenção em um outro circuito de bomba térmica 25, cujo trocador de calor 39", que funciona como condensador de agente refrigerante, transmite a energia térmica ao produto de desionização K fresco. O terceiro circuito de bomba térmica 25 utiliza como fonte de calor a água de refrigeração KW, que é conduzida do distribuidor de avanço 9, através do condensador 24, do refrigerador de gás 26, do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33 ao coletor de água de refrigeração 7 e depois transportado com a bomba de circulação de água de refrigeração 12, através do distribuidor de retorno 8 e do evaporador de agente refrigerante (trocador de calor 38") do terceiro circuito de bomba térmica 25, de volta para o distribuidor de avanço 9. O trocador de calor 38", nesse caso, inicialmente não absorve a energia térmica absorvida simultaneamente pelo trocador de calor 38' da coluna de desgaseificação 30, do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33.

[0051] Mas, como essa energia térmica residual do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33 não é suficiente para suprir a energia térmica necessária no evaporador do circuito de bomba térmica 25, a válvula de regulagem 19 é fechada e através de uma segunda válvula de regulagem de água de refrigeração 10, uma quantidade correspondente da água de refrigeração KW do retorno de água de refrigeração aquecida do sistema de água de refrigeração 16 da instalação nuclear 1 é conduzida ao coletor de água de refrigeração 7. A quantidade correspondente de água de refrigeração KW resfriada nos trocadores de calor 38' e 38" é distribuída através do distribuidor de avanço

9 ao avanço de água de refrigeração do sistema de água de refrigeração intermediário 16 da instalação nuclear 1. Desse modo, é garantido um bom índice de potência ε das bombas térmicas 25 e 15. Nesse modo de operação, nenhuma energia térmica do dispositivo 2 de acordo com a invenção é transferida pelo sistema de água de refrigeração intermediário 16 da instalação nuclear 1 ao ambiente, mas, inversamente, energia térmica, que se origina de outros consumidores de água de refrigeração ligados ao sistema de água de refrigeração, é transferida ao produto de desionização fresco como agente refrigerante K do sistema de distribuição de produto de desionização da instalação nuclear 1, sendo que o produto de desionização fresco é depois alimentado como agente de refrigeração K, com a temperatura mais alta de 50°C, ao balanço de agente refrigerante da instalação nuclear 1.

[0052] A instalação de evaporador de ácido bórico de vácuo e instalação de desgaseificação 30 de acordo com a invenção, com recuperação de calor por circulações de bomba térmica fechadas, são operadas com ajuda de dispositivos elétricos e condutores correspondentes, de modo quase totalmente automático. Aos dispositivos condutores pertencem, particularmente, pontos de medição para detecção de valores de estado, tal como, por exemplo, do agente refrigerante de reator RK, do agente refrigerante K ou da água de refrigeração KW, nas partes de sistema individuais. Além disso, esses circuitos de regulação servem para o controle contínuo e ajuste de parâmetros individuais para valores teóricos predeterminados, tal como, por exemplo, o controle para o procedimento gradual na entrada em funcionamento do dispositivo de separação 2, da parada para a operação estacionária e na saída de funcionamento, da operação estacionária para a parada.

[0053] Os pontos de medição detectam, particularmente, pressão, temperatura, passagem de agente refrigerante, nível de enchimento,

concentração de ácido bórico, bem como outros parâmetros nas partes de instalação individuais. Eles são definidos individualmente, na dependência da modalidade da instalação 2 de acordo com a invenção e do tipo de construção e da disposição das partes de instalação. Os circuitos de regulação baseiam-se, particularmente, nos seguintes valores de estado, que são detectados por meio dos valores de medição e regulados com o elemento de ajuste correspondente:

a) Valor de estado: quantidade do absorvedor de nêutrons NA (ácido bórico) na circulação de evaporador da coluna de ácido bórico; valor de medição: nível de enchimento no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3; elemento de regulação: válvula de regulação de passagem na tubulação de admissão de água boratada 11;

b) Valor de estado: concentração de boro do absorvedor de nêutrons Na; valor de medição: concentração de boro no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3; válvula de regulação de passagem na tubulação de escoamento de ácido bórico 4;

c) Valor de estado: pressão de serviço na coluna de ácido bórico 3 e da coluna de desgaseificação 30; valor de medição: pressão na tubulação de gás de escapamento para a bomba de vácuo 6; elemento de ajuste: válvula de regulação de bypass na instalação de bomba de vácuo 6 (não representada no diagrama de ligação térmica);

d) Valor de estado: escoamento de produto de desionização do dispositivo de separação 3; valor de medição: nível de enchimento na coluna de produto de condensação 27; elemento de ajuste: válvula de regulação de passagem na tubulação de escoamento de produto de condensação para o reservatório 17;

e) Valor de estado: quantidade de agente refrigerante K na circulação de evaporador da coluna de desgaseificação 30; valor de medição: nível de enchimento no fundo 20 da coluna de desgaseificação 30; elemento de ajuste: válvula de regulação de passagem na

tubulação de escoamento de desgaseificação 34;

f) Valor de estado: temperatura de admissão da fonte de calor para as bombas térmicas 5, 15, 25; valor de medição: temperatura no distribuidor de retorno de água de refrigeração 8; elemento de ajuste; válvula de regulagem de passagem 19 no distribuidor de retorno de água de refrigeração 8 ou válvula de regulagem de passagem 10 para o coletor de água de refrigeração 7.

[0054] As circulações fechadas das bombas térmicas 5, 15, 25 consistem, em cada caso, nos componentes principais evaporador, compressor, condensador e um estrangulador. Os mesmos formam, em conjunto, um circuito de bomba térmica fechada, de uma escala, sendo que o agente refrigerante KM que circula no circuito de bomba térmica não entra em contato com o agente refrigerante de reator RK ou o absorvedor de nêutrons NA no fundo 20, 29 dos dispositivos de separação 3, 30. Os trocadores de calor nas bombas térmicas 5, 15, 25 são realizados, de preferência, tal como, por exemplo, nos conjuntos de água fria usuais, como trocadores de calor de feixes de tubos. Como o condensador na coluna de ácido bórico contém agente refrigerante de reator RK radioativo, no lado do processo, o condensador da primeira bomba térmica 5, por razões de proteção contra radiação, é disposto separadamente dos outros componentes. Para os compressores dos trocadores de calor 5, 15, 25 é particularmente vantajoso um tipo de construção hermético ou semi-hermético, uma vez que, nesse caso, o calor de perda do motor de acionamento possa ser usado diretamente como calor de processo e, desse modo, seja obtida a máxima possível do índice de potência ϵ . Tanto turbocompressores como também compressores helicoidais estão disponíveis com esse tipo de construção hermético ou semi-hermético, particularmente favorável. Além disso, eles oferecem a vantagem de que a lubrificação está integrada no agregado fechado dos trocadores de calor ou, no caso de

disposição sem contato, uma lubrificação não é necessária. Além dos compressores herméticos ou semi-herméticos, também máquinas de acionamento refrigeradas à água, situadas externamente, podem ser bem integradas no sistema, uma vez que também nos mesmos, o calor de escapamento do motor, através das bombas térmicas 5, 15, 25 e as circulações do agente refrigerante KM, pode ser tornado útil como fonte de calor para o processo de acordo com a invenção.

[0055] A bomba de vácuo 6, para baixar a pressão nas colunas 3, 30 e nos evaporadores das circulações de bomba térmica fechadas, está formada, vantajosamente, como compressor de anel para água, na forma de uma máquina tubular de desintegração ou como compressor acoplado magneticamente com o motor de acionamento externo.

[0056] O ajuste da pressão para 0,0125 MPa (0,125 bar) e, desse modo, para uma temperatura de processo de 50°C, tem vantagens importantes. O agente refrigerante de reator RK a ser separado é alimentado dos reservatórios com uma temperatura que, dependendo da duração do tempo de armazenamento, situa-se entre 20°C e 50°C, a uma coluna de ácido bórico 3. A uma temperatura de processo de 50°C, por conseguinte, só é necessário ainda um pequeno aquecimento da água até atingir o estado de ebulição. Para que os produtos obtidos no processo de separação, caso necessário, possam ser novamente alimentados ao circuito de refrigeração do reator, produto de desionização, como agente refrigerante K e solução de ácido bórico, como absorvedor de nêutrons NA, eles precisam ter uma temperatura de aproximadamente 50°C. Quando a temperatura do processo de separação já perfaz 50°C, não é mais necessário um resfriamento adicional. Para a recuperação do calor de processo com uma bomba térmica 5, 15, 25, um nível de temperatura de cerca de 30 a 50°C no lado da fonte de calor e de quase 50°C, no lado do consumo e calor, é par-

ticularmente vantajoso, porque, desse modo, é possível a utilização de um agente refrigerante KM eficiente e que pode ser manuseado sem problemas, tal como, por exemplo, tetrafluoretano, no circuito de bomba térmica não-radioativo, fechado. A pequena diferença de temperatura entre lado de utilização de calor e de fontes de calor, produz, além disso, um rendimento grande e, com isso, uma potência elétrica pequena a ser usada.

[0057] A figura 2 mostra um diagrama de ligações simplificado do dispositivo 2 de acordo com a invenção, com os respectivos valores de estado termodinâmicos para a evaporação de água boratada (agente refrigerante de reator RK), com 2000 ppm de boro como absorvedor de nêutrons NA. No estado de serviço estacionário, o dispositivo 2 apresenta uma pressão de 0,0125 MPa (0,125 bar) absoluto e a temperatura de processo ajusta-se, conseqüentemente, em 50°C. O rendimento do dispositivo de separação 2 perfaz 2,31 kg/s = 8,3 Mg/h de produto de desionização como agente refrigerante K, o que corresponde ao rendimento projetado, por exemplo, para usinas nucleares de EPR. O circuito de bomba térmica 5 na coluna de ácido bórico 3 necessita de uma potência elétrica de aproximadamente 1100 KW.

[0058] O agente refrigerante de reator RK é guiado de um reservatório de agente refrigerante de reator 14, através do preaquecedor recuperativo 22, para a coluna de ácido bórico 2. No preaquecedor recuperativo 22, o agente refrigerante de reator RK alimentado é aquecido da temperatura no reservatório, por exemplo, 20°C, para aproximadamente 40°C. Para aquecimento é usada uma parte do vapor de agente refrigerante KD, que sai da coluna de ácido bórico 3 com 50°C.

[0059] O agente refrigerante de reator RK preaquecido é subsequentemente introduzido no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3, onde ele se mistura com a solução de ácido bórico NA ali existente. O conteúdo do fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 circulada acionada

pela alimentação de calor do circuito de bomba térmica 5 fechado. A quantidade do agente refrigerante KD evaporada na coluna de ácido bórico é determinada pela potência de aquecimento do circuito de bomba térmica 5. O agente refrigerante KM ou o agente refrigerante evaporado KMD dentro do circuito de bomba térmica 5 fechado está indicado pelas referências abreviadas de mesmo teor. A transferência de calor do circuito de bomba térmica 5 à circulação de fundo 36 da coluna de ácido bórico 3 dá-se no condensador 39 formado como recuperador. O agente refrigerante KM ou o vapor de agente refrigerante KMD das circulações de bomba térmica 15, 25, não usadas na figura 2, não estão inscritos.

[0060] Na evaporação, a maior parte do ácido bórico permanece como absorvedor de nêutrons NA no fundo 20 da coluna de ácido bórico 3. A saída do absorvedor de nêutrons NA do fundo 20 da coluna de ácido bórico 3 dá-se com concentração constante do ácido bórico (regulada com a corrente de quantidade de escoamento). O absorvedor de nêutrons NA é depois conduzido a um reservatório 18. O produto de desionização (agente refrigerante K), distribuído através do condensador 24, do recipiente de produto de condensação 27 e da bomba de produto de condensação 28, a um reservatório 17, tem uma concentração de boro residual muito pequena, que se ajusta de acordo com os coeficientes de distribuição, dependentes de pressão e temperatura, nos estágios de separação do dispositivo de separação 3.

[0061] A circulação da água de refrigeração KW está em contato térmico com o trocador de calor 38, o condensador 24 e o refrigerador de gás 26 e é operado através do distribuidor de avanço 9, do coletor de água de refrigeração 7, da bomba de circulação de água de refrigeração 12 e do distribuidor de retorno 8. Uma pequena parte da passagem é trocada através do avanço ou do retorno do sistema de refrigeração intermediário 16 com o mesmo.

[0062] A figura 3 mostra um diagrama de ligações simplificado do dispositivo 2 de acordo com a invenção com os respectivos valores de estado termodinâmicos para a desgaseificação de produto de desionização rico em oxigênio como agente refrigerante K. Nesse caso, o sistema de água de refrigeração intermediário 16 é usado como fonte de calor para o processo de preaquecimento, que ocorre na bomba térmica 25, do agente refrigerante K, que contém oxigênio.

[0063] O agente refrigerante KM ou o agente refrigerante evaporado KMD está indicado pelas referências abreviadas correspondentes dentro das circulações de bomba térmica 15 ou 25. A transferência de calor da circulação de água de refrigeração intermediária ao circuito de bomba térmica 15 ou 25 dá-se no evaporador 38' ou 38", formado como recuperador. O agente refrigerante KM e o vapor de agente refrigerante KMD do circuito de bomba térmica 5 não usada no exemplo de modalidade da figura 3 não estão inscritos.

[0064] O agente refrigerante K que contém oxigênio, necessário, particularmente, para completar o agente refrigerante de reator RK, é desgaseificado na coluna de desgaseificação 30. Da temperatura do sistema de distribuição de produto de desionização (20°C), o agente refrigerante K que contém oxigênio precisa ser preaquecido para a temperatura de processo de 50°C, antes da alimentação à coluna de desgaseificação 30. Isso se dá por meio da terceira bomba térmica 25, cujo condensador transfere a energia térmica necessária ao produto de desionização fresco K. A terceira bomba térmica 25 usa como fonte de calor a água de refrigeração KW, que é guiada do distribuidor de avanço 9, através do condensador 24, do refrigerador de gás 26, do condensador de retorno 32, para o coletor de água de refrigeração 7 e depois é transportada de volta para o distribuidor de avanço 9 com a bomba de circulação de água de refrigeração 12, através do distribuidor de retorno 8 e do evaporador da terceira bomba térmica 25. O tro-

gador de calor 38" absorve, nesse caso, primeiramente, a energia térmica do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33, não absorvida pelo trocador de calor 38', que funciona ao mesmo tempo, da coluna de desgaseificação 30. Mas, como essa energia térmica residual do condensador de retorno 32 e do refrigerador de gás 33 não é suficiente para suprir a energia térmica necessária no evaporador do circuito de bomba térmica 25, a válvula de regulagem 19 é fechada e, através de uma segunda válvula de regulagem de água de refrigeração 10, uma quantidade correspondente da água de refrigeração KW do sistema de água de refrigeração intermediário 16 aquecido da instalação nuclear 1 é conduzida ao coletor de água de refrigeração 7. A quantidade correspondente de água de refrigeração KW resfriada nos trocadores de calor 38' e 38" é distribuída através do distribuidor de avanço 9 no avanço de água de refrigeração, com uma temperatura de 46°C para o sistema de água de refrigeração interme diário 16 da instalação nuclear 1.

LISTAGEM DE REFERÊNCIAS

- 1 instalação nuclear
- 2 dispositivo para separação de um absorvedor de nêutrons
- 3 dispositivo de separação na forma de uma coluna de ácido bórico
- 4 tubulação de escoamento de ácido bórico
- 5 primeiro circuito de bomba térmica
- 6 bomba de vácuo
- 7 coletor de água de refrigeração
- 8 distribuidor de retorno
- 9 distribuidor de avanço
- 10 segunda válvula de regulagem de água de refrigeração
- 11 tubulação de admissão de ácido bórico
- 12 bomba de circulação de água de refrigeração

- 13 bomba de descarga para absorvedor de nêutrons
- 14 reservatório de agente refrigerante de reator
- 15 segundo circuito de bomba térmica
- 16 sistema de água de refrigeração intermediário
- 17 reservatório de produto de desionização
- 18 depósito de ácido bórico
- 19 válvula de regulagem de água de refrigeração
- 20 fundo do dispositivo de separação 3
- 21 bomba de alimentação do evaporador
- 12 preaquecedor recuperativo
- 23 bomba de produto de condensação
- 24 condensador
- 25 terceiro circuito de bomba térmica
- 26 refrigerador de gás
- 27 recipiente de produto de condensação
- 28 bomba de produto de condensação
- 29 fundo do dispositivo de separação 30
- 30 dispositivo de separação na forma de uma coluna de desgaseificação
- 31 guarnição de corpo de enchimento
- 32 condensador de retorno
- 33 refrigerador de gás
- 34 bomba de descarga do desgaseificador
- 25 sistema de gás de escapamento para recebimento de gases não-condensáveis
- 36 circulação do fundo / circulação do evaporador
- 37 compressor
- 38 trocador de calor (evaporador de agente refrigerante)
- 39 trocador de calor (condensador de agente refrigerante)
- 40 estrangulador

GAS	gás não-condensável / oxigênio
K	agente refrigerante
KD	agente refrigerante (de reator) evaporado
KM	agente refrigerante
KMD	vapor de agente refrigerante
KW	água de refrigeração
NA	absorvedor de nêutrons
RK	agente refrigerante de reator que contém boro (K+NA)

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para separação de um absorvedor de nêutrons (NA) de um agente refrigerante de reator (RK) de uma instalação nuclear (1), sendo que o agente refrigerante de reator (RK) evapora por aquecimento em um dispositivo de separação (3) e o agente refrigerante (KD) evaporado é descarregado do dispositivo de separação (3) separadamente do absorvedor de nêutrons (NA) não-evaporado, caracterizado pelo fato de que do agente refrigerante evaporado (KD) é retirada, pelo menos parcialmente, a energia térmica e introduzida em um circuito de refrigeração com uma água de refrigeração (KW), sendo que a energia térmica é retirada do circuito de refrigeração por pelo menos um circuito de bomba térmica (5), acoplada ao circuito de refrigeração com a água de refrigeração (KW), e a energia térmica retirada é utilizada depois de um aumento do nível de temperatura para evaporação do agente refrigerante do reator (RK), sendo que o agente refrigerante do reator (RK) é conduzido por convecção natural através de um circuito de evaporação (36) acoplado termicamente no circuito de bomba térmica (5), e sendo que a pressão no dispositivo de separação (3) é ajustada através de uma bomba de vácuo (6) para 0,125 bar, de modo que o agente refrigerante de reator (RK) seja evaporado em uma temperatura de processo de cerca de 50°C.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a energia térmica acumulada no agente refrigerante evaporado (KD) é alimentada, pelo menos parcialmente, por meio de pelo menos um condensador (24) e/ou pelo menos um refrigerador de gás (26), à circuito de refrigeração da água de refrigeração (KW).

3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o circuito de bomba térmica (5) compreende um trocador de calor (38) unido termicamente com o dispositivo de separação (3), e um compressor (37), sendo que no circuito de bomba

térmica (5) é conduzido um agente refrigerante (KM), e sendo que a energia térmica retirada no trocador de calor (38) da circuito de refrigeração da água de refrigeração (KW), depois de um aumento do nível de temperatura com o compressor (37) é usada no dispositivo de separação (3) para evaporação do agente refrigerante de reator (RK).

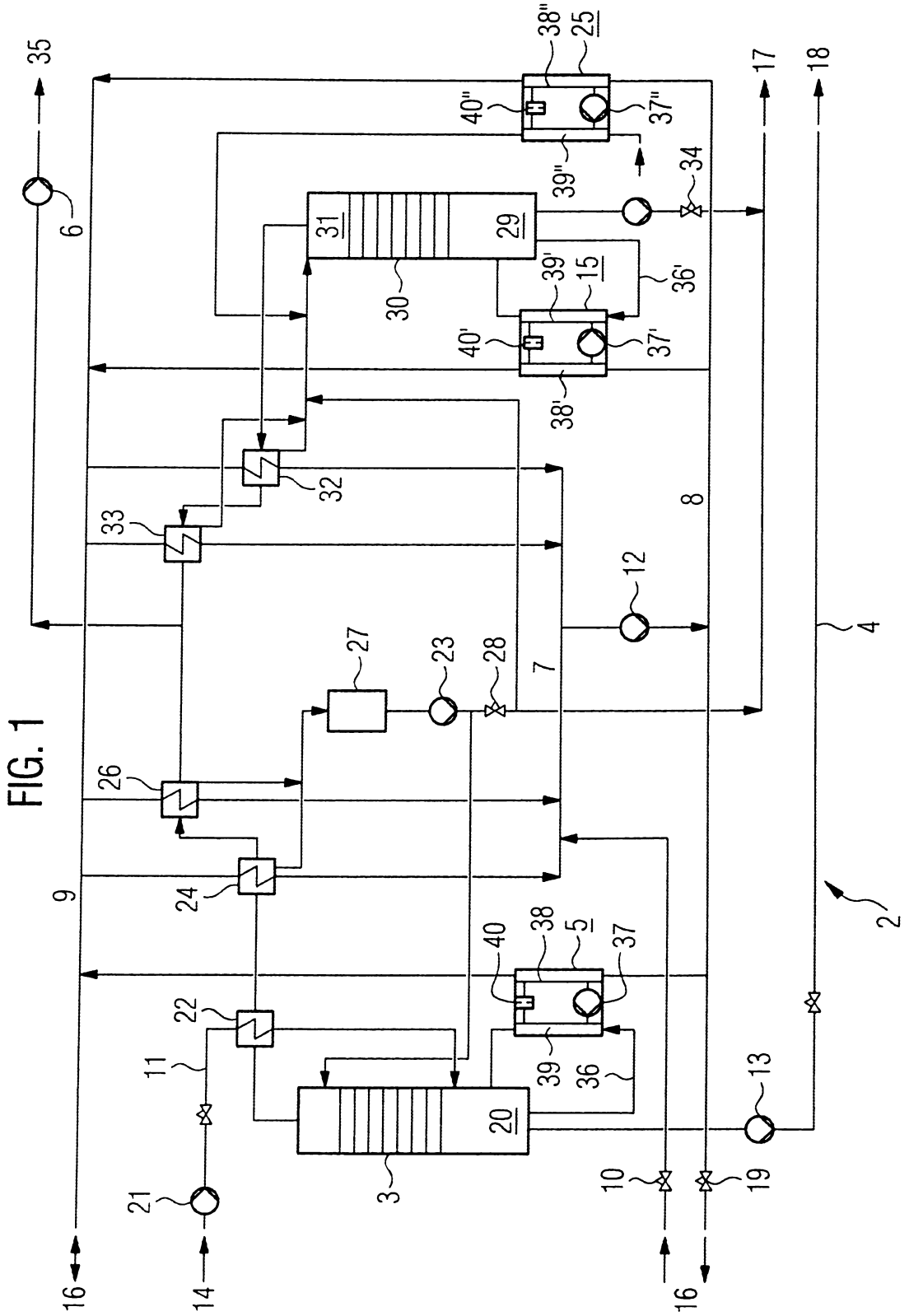
4. Processo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o agente refrigerante (KM) evapora em um trocador de calor (38), que funciona como evaporador para o agente refrigerante (KM), e o agente refrigerante evaporado (KMD) é comprimido, sob aumento de temperatura, em um compressor (37), sendo que, subsequentemente, o agente refrigerante evaporado (KMD) é liquefeito, sob liberação de calor, em um trocador de calor (38), que funciona como condensador para o agente refrigerante (KMD), e, finalmente, com a pressão reduzida através de um estrangulador (40), é novamente alimentado ao trocador de calor (38), que funciona como evaporador para o agente refrigerante (KM).

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o circuito de refrigeração da água de refrigeração (KW) é unida a um sistema de água de refrigeração intermediário (16) da instalação nuclear (1) para um circuito de refrigeração não-radioativo, fechado.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que a energia térmica, que pode ser retirada do circuito de refrigeração da água de refrigeração (KW) por meio de outro circuito de bomba térmica (15, 25), também pode ser usada para outras etapas de processo, nomeadamente para aumento da temperatura em um dispositivo de separação (30) para desgasificação do agente refrigerante (K) e/ou para preaquecimento de agente refrigerante (K) em um preaquecedor de água adicional.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindica-

ções 1 a 6, caracterizado pelo fato de que um gás não-condensável (GAS) no condensador (24) e/ou no refrigerador de gás (26) é pelo menos parcialmente separado do agente refrigerante evaporado (KD) e alimentado a um sistema de gás de escapamento (35).



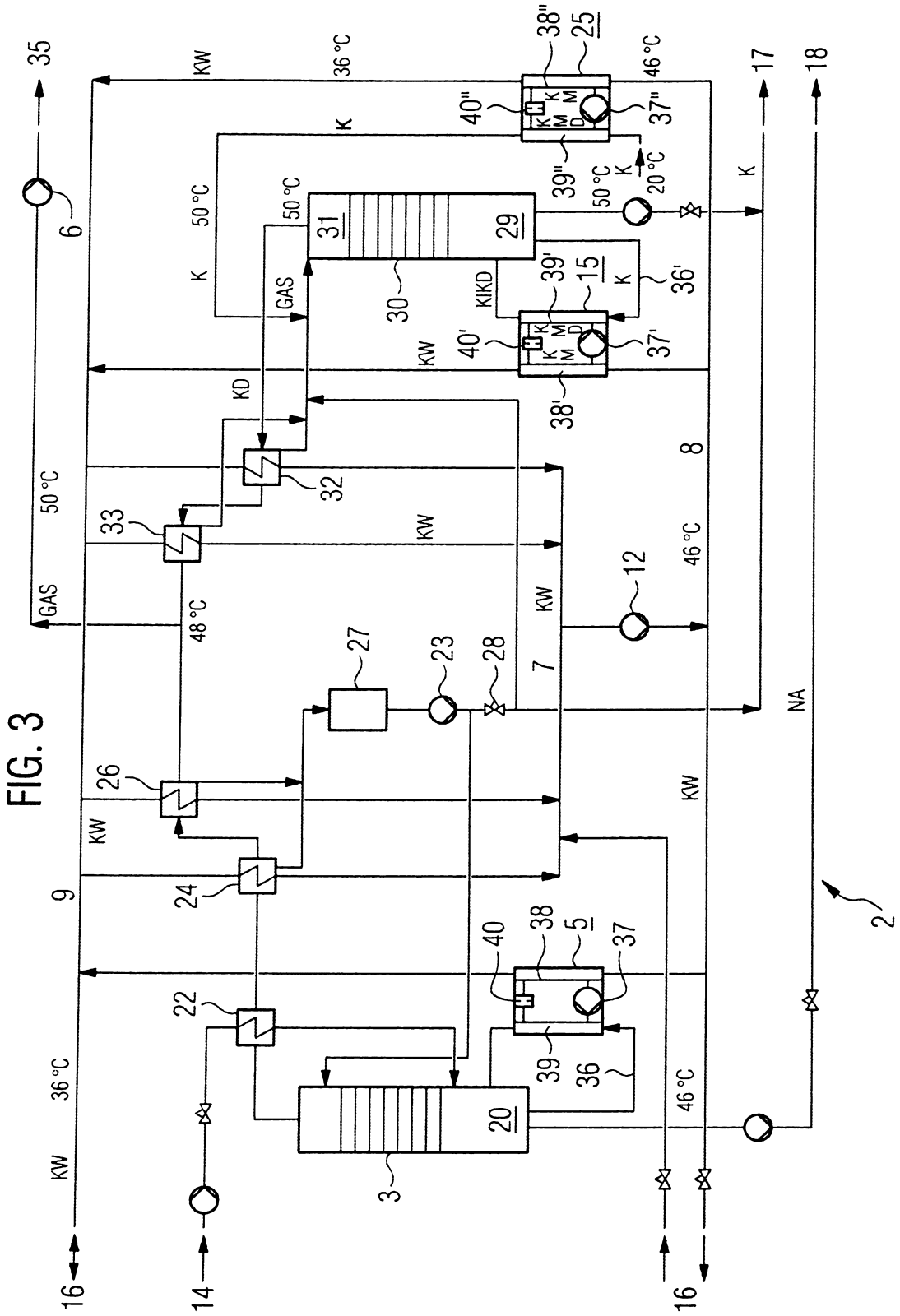


FIG. 4

