

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 233**

51 Int. Cl.:

F22B 1/18 (2006.01)

F22B 29/06 (2006.01)

F22B 37/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.10.2010 E 10768601 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.07.2013 EP 2486325**

54 Título: **Evaporador de un sólo paso en cascada**

30 Prioridad:

06.10.2009 NL 2003596
06.10.2009 US 248933 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2013

73 Titular/es:

NEM ENERGY B.V. (100.0%)
800, Prinses Beatrixlaan
2595 BN 'S-Gravenhage, NL

72 Inventor/es:

ROP, PETER SIMON y
KRAMER, WALTER ADRIAAN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 433 233 T3

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

DESCRIPCIÓN

Evaporador de un sólo paso en cascada

La presente invención se refiere a un generador de vapor que comprende un conducto de gas sustancialmente horizontal para el guiado en un flujo de gas de calentamiento. Una unidad de evaporación está situada al menos parcialmente en el conducto de gas horizontal para la transferencia del calor desde el flujo de gas a un medio de flujo, el cual fluye a través de la unidad de evaporación. En particular, el generador de vapor es adecuado para funcionar bajo tanto circunstancias subcríticas como supercríticas.

Dicho generador de vapor es por ejemplo conocido de WO2007/133071, que describe una unidad de evaporación de un sólo paso, la cual está dispuesta en un conducto de gas sustancialmente horizontal. La unidad de evaporación tiene al menos una sección de transferencia de calor que comprende tubos de transferencia de calor que se extienden verticalmente. Los tubos de transferencia de calor están dispuestos en una matriz que tiene conjuntos de tubos de transferencia de calor en una dirección trasversal a la dirección de flujo del gas de calentamiento y conjuntos de tubos de transferencia de calor aguas abajo del flujo del gas. La sección de transferencia de calor esta en comunicación fluida con un conducto de entrada para suministrar un medio de flujo líquido, generalmente agua, a los tubos de transferencia de calor y un conducto de salida para transferir el medio de flujo como una mezcla de fase de líquido y vapor a un separador. La sección de transferencia de calor está alimentada inferiormente, lo cual significa que el conducto de entrada está dispuesto en la región inferior de la sección de transferencia de calor. El conducto de entrada permite un funcionamiento en un solo paso de la sección de evaporación, lo cual es necesario para permitir el funcionamiento bajo circunstancias supercríticas. El conducto de salida está dispuesto en una región superior.

Los tubos de transferencia de calor están situados aguas abajo del flujo del gas de calentamiento, en el conducto de gas. El gas de calentamiento pasa a través de los tubos de transferencia de calor situados a continuación, lo cual conlleva una refrigeración del gas de calentamiento y un calentamiento de los tubos de transferencia de calor. Un tubo transferencia de calor situado en la parte anterior es más calentado que un tubo de transferencia de calor situado en la parte posterior. La diferencia de temperatura entre el gas de calentamiento y el medio de flujo, aguas arriba del flujo de gas, es mayor que la diferencia de temperaturas entre el gas de calentamiento y el medio de flujo en un tubo de transferencia de calor situado más aguas abajo. Esto normalmente provoca una mayor contribución de los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior a la transferencia de calor y a la generación de vapor. Un problema relacionado con este fenómeno es que un tubo de transferencia de calor situado más anterior puede dañarse por sobrecalentamiento mientras que los tubos de transferencia de calor situados más posteriores no generan suficiente vapor. Es deseable generar vapor mediante el evaporador, en donde todos los tubos de transferencia de calor tengan una contribución aproximadamente igual a la generación de vapor. Es deseable mantener la reducción de la diferencia de temperatura dentro de límites aceptables. Es deseable que todos los tubos de transferencia de calor produzcan una cantidad óptima de vapor.

Un problema adicional relacionado especialmente con los tubos de transferencia de calor situados lo más aguas arriba, es que el suministro del líquido puede llegar a ser demasiado bajo. Una evaporación completa en uno o más de los tubos de transferencia de calor de la unidad de evaporación puede afectar a la estabilidad de funcionamiento. El tubo de transferencia de calor puede researse y llegar a sobrecalentarse lo cual puede causar daños.

Una posible solución para tener una contribución óptima de todos los tubos de transferencia de calor a la generación de vapor se refiere a un ajuste de la superficie de transferencia de calor de cada uno de los tubos de transferencia de calor. La superficie de calentamiento de los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior se puede agrandar para aumentar la transferencia de calor de esos tubos. De esta forma, se logra una contribución efectiva de los tubos situados más posteriormente a la generación de vapor.

Dicha solución es por ejemplo presentada en US 6.189.491 que describe un generador de vapor de un solo paso en una construcción de tipo horizontal para un paso del flujo del gas de calentamiento en una dirección aproximadamente horizontal. El generador de vapor de un sólo paso descrito comprende varios tubos de transferencia de calor dispuestos aproximadamente de forma vertical, los cuales están conectados, normalmente, en paralelo para un flujo de un paso de un medio de flujo. Los tubos de transferencia de calor están dispuestos en paralelo, uno al lado del otro, en el conducto de gas horizontal. Durante su utilización, los tubos de transferencia de calor que están situados aguas arriba del flujo de gas de calentamiento serán más calentados que los tubos de transferencia de calor están situados aguas abajo. En contraste a la deseable contribución equitativa a la producción de vapor, el tubo de transferencia del calor dispuesto más aguas arriba en el flujo de gas de calentamiento, normalmente produce la mayor cantidad de vapor y podría, por tanto, tener la tasa de flujo mayor del medio de flujo.

US 6.189.491 proporciona una posible solución para este problema optimizando la configuración de los tubos de transferencia de calor en una sección de transferencia de calor. La configuración de los tubos de transferencia de calor en la sección de transferencia de calor está adaptada para compensar las variaciones de calor en la dirección aguas abajo de la sección de transferencia de calor. Cada tubo de transferencia de calor situado en la parte anterior

- 5 está configurado para una tasa de flujo mayor, del medio de flujo, que cada tubo de transferencia de calor dispuesto aguas abajo del mismo en la dirección de calentamiento del gas. Un tubo de transferencia de calor puede tener, por ejemplo, un diámetro interior mayor que un tubo de transferencia de calor dispuesto aguas abajo del mismo en la dirección del gas de calentamiento. Los tubos de transferencia de calor en una región de una temperatura de calentamiento de gas relativamente alta tienen una tasa de flujo comparativamente alta del medio de flujo. Sin embargo, esta solución propuesta resulta en una constitución más compleja y grande de la sección de transferencia de calor. Un elemento de distribución o de recolección montado en un extremo de los tubos de transferencia de calor puede, por ejemplo, tener una configuración compleja para ser capaz de conectarlo a los diámetros internos que varían de los tubos de transferencia de calor.
- 10 En otro modo de realización propuesto en US 6.189.491 un dispositivo obturador se conecta aguas arriba de varios de los tubos de transferencia de calor. En la tasa de flujo del medio de flujo a través de los tubos de transferencia de calor puede controlarse por el dispositivo obturador. Sin embargo, esta solución también no parece ser satisfactoria. La configuración de la sección de transferencia de calor que incluye un dispositivo obturador es más compleja y susceptible a averías.
- 15 GB 433,765 describe un generador de vapor de alta presión. El generador de vapor incluye un sistema de tubos que comprende una pluralidad de etapas de temperatura a través de las cuales fluye en serie el medio de trabajo. Un separador primario es dispuesto entre cada par de etapas adyacentes para separar el líquido del vapor. El líquido entregado a cada separador primario fluye desde el mismo hacia la siguiente etapa de temperatura adyacente. El vapor entregado fluye a través de tuberías desde el mismo hacia un separador secundario o principal común a todas las etapas. Con vistas a asegurar un funcionamiento suave del generador de vapor, a pesar de las variaciones de carga, la proporción de la tasa de vapor entregada desde los separadores primarios, respecto a la tasa a la cual el medio es alimentado al generador, debería mantenerse sustancialmente constante a cualquier carga dada. Se disponen medios para obturar el flujo de vapor desde cada uno de los separadores, a través de los cuales, en todas las cargas, aproximadamente un quinto de la cantidad total del medio de trabajo alimentado al generador por unidad de tiempo, a cualquier carga dada, es entregado en forma de vapor desde cada uno de los separadores a las tuberías. Por tanto, la proporción de la cantidad de vapor entregada desde cualquiera de los separadores por unidad de tiempo respecto a la cantidad de líquido suministrado al generador durante ese tiempo, debe ser sustancialmente constante a cualquier carga dada. Se proporcionan medios mediante los cuales se controla automáticamente la sección transversal efectiva disponible para el flujo de vapor, a través de cada dispositivo obturador, mediante una "condición" del medio de trabajo dentro del sistema del generador.
- 20
- 25
- 30 Un problema de esta configuración del generador de vapor es que incluye una pluralidad de medios obturadores, los cuales hacen que la configuración sea más compleja y susceptible a averías. La presencia de los medios obturadores aumenta la resistencia al flujo del sistema de tubos. Otro problema es que el separador principal común tiene una configuración compleja que incluye una pluralidad de puertos de entrada para conectar las tuberías originadas desde los separadores primarios.
- 35 Otro problema del generador de vapor descrito es que una mezcla de dos fases de agua y vapor es alimentada hacia abajo a través de las etapas de temperatura. El vapor generado tiende a elevarse en la etapa de temperatura que interrumpe el proceso de evaporación. El generador de vapor descrito trae consigo problemas de estabilidad.
- 40 EP 0.794.320 y EP 0.309.792 describen una caldera con extractor que incluye un generador de vapor de alta presión y un generador de vapor de baja presión. Los generadores de vapor de alta y baja presión comprenden cada uno una unidad de evaporación que funciona en circuitos separados para generar vapor para una turbina de vapor de baja presión y una turbina de vapor de alta presión, respectivamente.
- 45 A pesar de las medidas tomadas, en la práctica se ha mostrado que es todavía un problema para los generadores de vapor conocidos que la unidad de evaporación se muestre susceptible al sobrecalentamiento. Hay todavía un riesgo de que los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior entreguen mucho vapor y los tubos de transferencia de calor situados en la parte más posterior, en comparación, difícilmente entreguen vapor. Un problema aún mayor es que los extremos superiores de los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior son susceptibles al desgaste y al daño como resultado de un sobrecalentamiento.
- 50 Un problema adicional surge cuando todos los tubos de transferencia de calor generan vapor sobrecalentado el cual tiene una calidad de vapor igual o mayor que uno. Esto puede causar estratificación de temperatura a través de la altura del conducto de gas. La estratificación de temperatura del gas de calentamiento no es deseable ya que afecta al rendimiento térmico de, tanto el propio sistema de generación de vapor, como de las posibles superficies de transferencia de calor aguas abajo a los lados del gas.
- 55 Es un objeto de la presente invención resolver al menos uno de los inconvenientes mencionados anteriormente, al menos parcialmente, y/o proporcionar una alternativa utilizable. En particular, es un objeto de la invención proporcionar un generador de vapor que tenga una unidad de evaporación que incluya una sección transferencia de

calor convencional con una configuración sencilla que sea menos susceptible al sobrecalentamiento y/o al fallo en sus componentes. Este objeto se logra mediante un generador de vapor como el definido la reivindicación 1.

5 Un generador de vapor de acuerdo con la invención comprende un conducto de gas sustancialmente horizontal para guiar un flujo de gas de calentamiento y una unidad de evaporación situada al menos parcialmente en el conducto de gas horizontal para transferir el calor desde el gas de calentamiento a un medio de flujo el cual fluye a través de la unidad de evaporación.

10 En particular, el generador de vapor es adecuado para funcionar bajo, tanto circunstancias subcríticas, como supercríticas. Los generadores de vapor supercríticos son frecuentemente empleados para la producción de energía eléctrica. Los generadores de vapor supercríticos funcionan a presión supercrítica. En contraste a una "caldera subcrítica", un generador de vapor supercrítico funciona a una presión tan alta (por encima de 3200 PSI, 22 MPa, 220 bar) que la ebullición existente deja de producirse. El evaporador no tiene separación de agua líquida - vapor. No hay generación de burbujas de vapor dentro del medio de flujo, ya que la presión está por encima de la presión crítica a la cual las burbujas de vapor se pueden formar. El término "caldera" no debería utilizarse para un generador de vapor a presión supercrítica, ya que ninguna "ebullición" ocurre realmente en el dispositivo. El medio de flujo pasa por debajo del punto crítico ya que no trabaja en una turbina de alta presión y entra en el condensador del generador. Esto resulta en la utilización de menos combustible y por lo tanto menos producción de gases de efecto invernadero.

20 La sección de transferencia de calor de la unidad de evaporación del generador de vapor, de acuerdo con la invención, es de forma preferente, alimentada inferiormente, lo cual significa que el conducto de entrada está dispuesto en una región inferior de la sección de transferencia de calor. El conducto de salida está dispuesto en una región superior. El conducto de entrada permite un funcionamiento en un solo paso de la sección del evaporador, lo cual es necesario para permitir el funcionamiento bajo circunstancias supercríticas.

25 El generador de vapor, de acuerdo con la invención, está caracterizado porque la unidad de evaporación comprende al menos dos etapas de evaporación las cuales están dispuestas en cascada. Cada etapa de evaporación comprende una sección de transferencia de calor y un separador. La presencia de los separadores subdivide a la unidad de evaporación en etapas de evaporación.

30 La sección de transferencia de calor tiene tubos de transferencia de calor situados en vertical los cuales están en comunicación fluida con el conducto de entrada para suministrar el medio de flujo a los tubos de transferencia de calor y el conducto de salida para descargar el medio de flujo desde los tubos de transferencia de calor. Los tubos de transferencia de calor son, de forma preferente, sustancialmente rectos. El flujo del medio de flujo a través de los tubos de transferencia de calor de las etapas de evaporación es preferiblemente codirigido. Una sección de transferencia de calor comprende una matriz de tubos de transferencia de calor. La matriz puede estar definida comprendiendo un primer grupo de conjuntos de tubos de transferencia de calor en una dirección del conducto del gas o alternativamente como un segundo grupo de conjuntos de tubos de transferencia de calor en una dirección transversal al conducto de gas. Los tubos de transferencia de calor pueden estar dispuestos de forma escalonada.

35 El separador esta configurado para separar el líquido y el vapor fuera del medio de flujo, el cual llega al separador como una mezcla de dos fases. El separador está en comunicación fluida con el conducto de salida de la sección de transferencia de calor de una etapa de evaporación en la que el líquido separado es descargado a través de la salida de líquido y en donde el vapor separado es descargado a través de la salida de vapor del separador.

40 La presencia de múltiples etapas de evaporación y los correspondientes separadores en una unidad evaporación puede ser ventajosa ya que permite un contenido de vapor bajo a la salida de los tubos de transferencia de calor de aquellas etapa de evaporación que están destinadas a descargar el medio de flujo en una mezcla de dos fases de líquido y vapor. La calidad del vapor del medio de flujo descargado de cada etapa de evaporación puede ser considerablemente menor en comparación con una unidad de evaporación sin dichas etapas. De forma ventajosa, un contenido de vapor bajo puede reducir un riesgo de evaporación completa en uno o más de los tubos de transferencia de calor, lo cual puede reducir problemas relativos a sobrecalentamiento. De esta forma, la estabilidad en el funcionamiento de la generación de vapor total puede además mejorarse.

50 Una disposición en cascada de las etapas de evaporación con correspondientes separadores puede mejorar una operación de contraflujo del generador de vapor en que se pueda limitar una reducción de una diferencia de temperatura entre el gas de calentamiento y el tubo de transferencia de calor aguas abajo del conducto de gas. La operación de control flujo mejorada puede resultar en una mejor contribución a la generación de vapor de los tubos de transferencia de vapor situados en la parte más posterior. Al mismo tiempo, puede resultar en una reducción del riesgo de daños debido a sobrecalentamiento para los tubos de transferencia de calor situados en la parte más anterior.

Al menos una etapa de evaporación es una etapa de evaporación de un solo paso. Una unidad de evaporación de un solo paso, como la opuesta a una unidad de evaporación circulante, se refiere a una unidad de evaporación en la cual el medio de flujo sólo pasa una vez a través de los tubos de transferencia de calor de la unidad de evaporación. La fase líquida del medio de flujo no está circulando sobre los tubos de transferencia de calor de la etapa de evaporación de un solo paso, para obtener una evaporación completa. La sección de transferencia de calor puede estar alimentada inferiormente. El medio de flujo puede suministrarse a través del conducto de entrada desde debajo de la sección de transferencia de calor en una región inferior y descargarse a través del conducto de salida en una región superior. Una operación de un solo paso de una unidad de evaporación puede ser necesaria para funcionar bajo circunstancias supercríticas.

En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención, la unidad de evaporación comprende al menos tres etapas de evaporación. De forma preferente, al menos tres etapas de evaporación son una etapa de evaporación de un solo paso en una disposición en cascada. Un solo paso significa aquí que el medio de flujo pasa a través del gas de calentamiento que fluye sustancialmente de forma horizontal, sólo en dirección ascendente desde la entrada inferior a la salida superior de la etapa de evaporación. Debido a la disposición en cascada, el medio de flujo pasa varias veces a través del gas de calentamiento, lo cual hace que la unidad evaporación total sea del tipo multipaso. De forma ventajosa, al menos tres de las etapas de evaporación pueden resultar en una disposición óptima para operar todas las etapas de evaporación con un contenido en vapor bajo. La calidad del vapor de una primera etapa de evaporación puede ser por ejemplo como máximo 0.2. La calidad de vapor de una segunda etapa de evaporación que esté situada aguas abajo del flujo de gas puede ser por ejemplo como máximo 0.4 y la tercera etapa de evaporación situada lo más aguas abajo puede ser por ejemplo aproximadamente 1.38. De forma ventajosa, las etapas de evaporación pueden proporcionar un calentamiento más equilibrado del medio de flujo en una pluralidad de tubos de transferencia de calor. La unidad evaporación de acuerdo con la invención, la cual funciona con un contenido de vapor bajo, reduce el riesgo de evaporación completa en uno o más de los tubos de evaporación de las etapas de evaporación correspondientes. La evaporación completa en uno o más de los tubos de transferencia de calor de las etapas de evaporación correspondientes podría disminuir la estabilidad de funcionamiento. De esta manera, la presencia de múltiples etapas de evaporación en una disposición en cascada puede evitar el sobrecalentamiento de un tubo de transferencia de calor.

En la disposición en cascada de las etapas de evaporación, la salida de líquido del separador está, de forma preferente, en comunicación fluida con un conducto de salida de la siguiente sección de transferencia de calor situada aguas arriba del flujo de gas. De forma preferente, el separador de una etapa de evaporación previa esta conectado a la siguiente etapa de evaporación a través de un conducto descendente. Dado que el medio de flujo está suministrado en una región inferior de las etapas de evaporación y fluye de forma ascendente a través de los tubos de transferencia de calor, la unidad evaporación puede estar además caracterizada por ser codirigida.

En un modo de realización particular, al menos dos etapas de evaporación son del tipo de un solo paso. De forma preferente, todas las etapas de evaporación son del tipo de un solo paso. Las múltiples etapas de evaporación pueden estar dispuestas en serie, en donde el medio de flujo fluye aguas arriba del flujo de gas, es decir, en una dirección contraria al flujo de gas de calentamiento. En otras palabras, el medio de flujo esta en un flujo de contracorriente con respecto al gas de calentamiento. El flujo de contracorriente puede ser ventajoso cuando se requiere un sobrecalentamiento en la etapa de evaporación situada lo más aguas arriba del flujo de gas. Para la misma tarea de transferencia de calor, el flujo a contracorriente resulta en un aumento de la media de diferencia de temperatura entre el medio de flujo y el gas de calentamiento, comparado con la media de diferencia de temperatura para configuraciones de flujo alternativas como por ejemplo flujo concurrente o flujo cruzado. El aumento de la media de diferencia de temperatura resulta en un requerimiento menor para la superficie de transferencia de calor para la misma tarea de transferencia de calor. La configuración de la unidad de evaporación total del generador de vapor, de acuerdo con la invención, puede tener un carácter contracorriente multipaso.

Una ventaja del carácter contracorriente codirigido de la unidad de evaporación de un solo paso en cascada resultante puede ser un incremento en la media de diferencia de temperatura entre el gas de calentamiento y el medio de flujo del tubo lateral, lo cual puede resultar en un requerimiento de superficie de transferencia de calor más reducido para la misma tarea de transferencia de calor. Adicionalmente, el medio de flujo pasa varias veces a través del gas de calentamiento lo cual hace que la unidad evaporación completa sea de tipo multipaso.

En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención la sesión de transferencia de calor de una etapa de evaporación puede comprender una matriz de tubos de transferencia de calor que tiene como máximo cinco, en particular tres, pero de forma preferente dos conjuntos de tubos de transferencia de calor dispuestos transversales al flujo de gas. El conjunto puede comprender tubos de transferencia de calor que están situados de forma escalonada dentro de la matriz. Los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior definen un primer conjunto, el segundo conjunto está, por lo tanto, definido por los tubos de transferencia de calor por detrás de los tubos de transferencia de calor situados en la parte anterior. Los tubos de transferencia de calor de un segundo conjunto pueden tener uno en la dirección del flujo de gas alineado con el tubo de transferencia de calor aguas arriba. La reducción de temperatura del gas de calentamiento puede estar limitada por la cantidad de conjuntos en una dirección aguas abajo. La cantidad limitada de tubos de transferencia de calor en

una dirección aguas abajo puede contribuir a una transferencia de calor mejorada en la cual todos los tubos de transferencia de calor pueden tener una contribución equivalente. De forma ventajosa, se pueden reducir los problemas de sobrecalentamiento de un tubo de transferencia de calor situado en la parte anterior a través de la cantidad limitada de conjuntos.

5 En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención, la unidad de evaporación comprende al menos dos etapas de evaporación, en donde una sección de transferencia de calor de la etapa de evaporación situada lo más aguas arriba comprende una matriz de tubos de transferencia de calor que tiene como máximo cuatro, pero, de forma preferente, como máximo dos conjuntos de tubos de transferencia de calor dispuestos transversales al flujo de gas. La etapa de evaporación situada lo más aguas arriba tiene un riesgo más alto de daño
10 provocado por el sobrecalentamiento en comparación con las etapas de evaporación situadas más aguas abajo. Como se ha explicado más arriba una diferencia de temperatura entre el tubo de transferencia de calor y el gas de calentamiento sobre la sección de transferencia de calor puede ser controlada de forma más efectiva cuando la sección de transferencia de calor no comprende demasiados conjuntos de tubos de transferencia de calor. Por tanto, para prevenir el sobrecalentamiento de un tubo de transferencia de calor situado en la parte más anterior o una falta de vapor del tubo de transferencia de calor situado en la parte más posterior, sería ventajoso limitar los conjuntos de tubos de transferencia de calor en la etapa de evaporación situada lo más aguas arriba.

De forma preferente, los diámetros de los tubos de transferencia de calor en sección transversal en conjuntos sucesivos son sustancialmente iguales. Los tubos de transferencia de calor correspondientes que tienen una geometría sustancialmente igual pueden ser utilizados en los conjuntos de una sección de transferencia. De forma
20 preferente, los tubos de transferencia de calor de una sección de transferencia de calor están en comunicación fluida unos con otros sin ningún obturador o medios de restricción, como válvulas para obturar el paso de flujo de un tubo de transferencia de calor con respecto a otro tubo de transferencia de calor de la sección de transferencia de calor. Los tubos de transferencia de calor pueden estar en comunicación fluida a través de un cabezal el cual tiene partes de conexión en forma de tubo. La geometría y dimensiones de las partes de conexión en forma de tubo pueden ser
25 sustancialmente igual para sustancialmente todos los tubos de transferencia de calor. De forma ventajosa, dicha configuración de los tubos de transferencia de calor puede resultar en una simple disposición sobre el resto de la sección de transferencia de calor incluyendo cabezales conformados de forma relativamente simple para conectar los tubos de transferencia de calor entre sí.

En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención, la salida de líquido de una primera etapa de evaporación puede estar conectada a un conducto de entrada de una segunda etapa de evaporación. De forma preferente, la salida de líquido está conectada a un conducto descendente. De forma ventajosa, esto puede resultar en un flujo descendente de un flujo de líquido, sustancialmente en una fase, en lugar de un flujo descendente de una mezcla en dos fases que incluya el flujo de vapor. El conducto descendente puede estar
30 situado sustancialmente paralelo a los tubos de transferencia de calor. El conducto descendente puede tener una entrada descendente en la región superior para un suministro del líquido, la cual está en comunicación fluida con la salida de líquido del separador y una salida descendente en la región inferior la cual está en comunicación fluida con un conducto de entrada de la sección de transferencia de calor de una unidad de evaporación. Debido a la comunicación fluida el conducto descendente puede proporcionar un balance hidrostático entre un cabezal hidrostático en el conducto descendente y un cabezal hidrostático en los tubos de transferencia de calor de la sección
35 de transferencia de calor. De forma ventajosa, el conducto descendente puede impedir que la cantidad de líquido en los tubos de transferencia de calor llegue a ser demasiado pequeña o demasiado grande. De esta forma, el nivel de líquido en los tubos de transferencia de calor permanece dentro de un rango óptimo para una transferencia de calor estable. Debido a la presión hidrostática generada por el equilibrio hidrostático entre el conducto descendente y los tubos de transferencia de calor, el riesgo de resecado y sobrecalentamiento de un tubo de transferencia de calor puede
40 reducirse más.

De forma ventajosa, debido a un control óptimo del balance hidrostático mediante el conducto descendente, la descarga de líquido fuera de la unidad de evaporación puede ser minimizada, lo cual resulta en un aumento de la estabilidad del proceso en el generador de vapor.

En un modo de realización adicional el líquido puede ser suministrado al conducto descendente desde cualquier sitio fuera del generador de vapor. Por ejemplo, el líquido puede ser suministrado desde otras salidas en el generador de vapor. El líquido se conduce a cualquier parte en el generador de vapor, que puede de interrumpir el proceso de generación de vapor, puede ser conectado al conducto descendente para descargar líquidos, lo cual, de forma ventajosa, puede optimizar el proceso de generación de vapor. Además, el conducto descendente puede ser proporcionado con un suministro del líquido extra, lo cual además reduce el riesgo de resecado.

55 De forma preferente, el conducto descendente está diseñado de tal manera que la transferencia de calor es despreciable en comparación con la transferencia de calor en los tubos de transferencia de calor. Por ejemplo, el conducto descendente puede tener un área de sección transversal que es al menos el 20, en particular al menos el 50, pero preferiblemente al menos el 100, por ciento más grande que el área de sección transversal de un tubo de transferencia de calor de la sección de transferencia de calor. Una pérdida de presión por rozamiento despreciable

sobre los conductos comunicantes de fluido proporciona un efecto positivo al balance hidrostático entre las columnas de fluido en los tubos de transferencia de calor y el conducto descendente.

5 La superficie de calentamiento puede ser relativamente pequeña en comparación con el volumen interno del conducto descendente, el conducto descendente puede estar aislado del gas de calentamiento, o puede incluso estar dispuesto fuera del conducto del gas de calentamiento para, de forma ventajosa, evitar el calentamiento del líquido y por consiguiente la aparición de vapor.

10 En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención, se puede proporcionar un conducto de suministro auxiliar, denominado conducto by-pass, para suministrar medio de flujo a una etapa de evaporación situada más aguas arriba, en particular la situada más aguas arriba del flujo de gas. De forma ventajosa, el conducto de suministro auxiliar puede comprender una válvula la cual está normalmente cerrada pero que puede abrirse para impedir el sobrecalentamiento de los tubos de transferencia de calor de la etapa de evaporación.

15 En un modo de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención se dispone una sección de transferencia de calor auxiliar aguas arriba del flujo de gas en serie con una etapa de evaporación. La sección de transferencia de calor auxiliar puede estar dispuesta para evaporar el medio de flujo a una fase crítica o supercrítica. Durante el funcionamiento, la sección de transferencia de calor auxiliar puede producir un medio de flujo totalmente evaporado calentado sustancialmente. De esta manera, de forma ventajosa, una configuración sencilla de la unidad de evaporación se puede obtener sin un separador auxiliar conectado a una salida de la sección de transferencia de calor situada lo más aguas arriba del flujo de gas.

20 En un modo de realización del generador de vapor, la configuración puede ser más simplificada que conectando un conducto de vapor común desde al menos dos separadores a un sobrecalentador. El conducto de vapor común puede disponerse para descargar el vapor de las etapas de evaporación al sobrecalentador. El sobrecalentador puede estar dispuesto en serie con la unidad de evaporación. El sobrecalentador puede disponerse aguas arriba del flujo de gas con respecto a la unidad de evaporación.

25 Además, la invención se refiere a un método de generación de vapor como se define en la reivindicación 11. Modos de realización particulares del método pueden corresponder a los modos de realización del generador de vapor de acuerdo con la invención.

Modos de realización preferidos adicionales se definen en las reivindicaciones dependientes.

La invención será ahora explicada con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos que muestran un modo de realización práctico de la invención, pero los cuales no deberían interpretarse de forma limitativa. En estos dibujos:

30 La figura 1 muestra una representación esquemática de un generador de vapor de acuerdo con la invención.

35 La figura 1 muestra una representación esquemática de un generador de vapor de acuerdo con la invención. El generador de vapor de este modo de realización comprende una primera, una segunda, y una tercera etapas de evaporación 3, 4 y 5 situadas en cascada en un conducto de gas 1 sustancialmente horizontal. El gas de calentamiento 2 indicado por flechas fluye a través del conducto de gas 1 en una dirección longitudinal. La primera etapa de evaporación 3 esta situada lo más aguas abajo del flujo de gas. Un medio de flujo es suministrado por uno o más conductos de suministro principales 7. A través de uno o más conductos de entrada 8, colectores de distribución 9 y cabezales de distribución 10, el medio de flujo es suministrado y distribuido a una primera sección de transferencia de calor 12 de una primera etapa de evaporación 3, la cual se extiende al menos parcialmente dentro del conducto de gas 1.

40 El primer conducto de entrada 8 comprende una válvula de control 36 para controlar la tasa de flujo del medio de flujo a la primera sección de transferencia de calor 12 de la primera etapa de evaporación 3. En medio de flujo entra en la primera sección de transferencia de calor 12 en una sola fase de líquido. El medio de flujo se calienta a través del gas de calentamiento 2 y es descargado en una mezcla de dos fases de vapor y líquido a los cabezales recolectores 11. En la región superior de la primera sección de transferencia de calor 12 de la primera etapa de evaporación 3, el medio de flujo es recolectado a través de los cabezales recolectores 11 y transportado a través de un primer conducto de salida 13.

45 A través del conducto de salida 13 la mezcla de dos fases de vapor y líquido es descargada a un primer separador vapor-líquido 14. El primer separador 14 puede comprender un grupo de recipientes separadores. Los recipientes separadores del grupo pueden estar alineados en una dirección transversal con respecto al flujo de gas 2.

50 En el separador de vapor-líquido 14 la mezcla de dos fases del medio de flujo es dividida en un flujo de líquido y uno de vapor. El medio de flujo en la fase líquida es descargado a través de una primera salida de líquido a un primer conducto descendente 15, y el medio de flujo en fase de vapor es descargado a través de una primera salida de

5 vapor y de conductos de vapor 16 a un conducto recolector de vapor 35. El primer conducto descendente 15 de la primera etapa de evaporación 3 está conectado en comunicación fluida con una segunda sección de transferencia de calor 21 de la segunda etapa de evaporación 4 a través de uno o más segundos conductos de entrada de fluido 17, colectores de distribución 18 y cabezales de distribución 19. El medio de flujo en fase líquida descargado desde el primer conducto descendente 15 es suministrado y distribuido a la sección de transferencia de calor 21 de la segunda etapa de evaporación 4, la cual se extiende al menos parcialmente dentro del conducto de gas 1.

10 En la región superior de la segunda sección evaporativa de transferencia de calor 12 de la segunda etapa de evaporación 4, en medio de flujo es recolectado a través de cabezales recolectores 20 y transportado a través de un segundo conducto de salida 22. El medio de flujo entra en la sección de transferencia de calor 21 en una sola fase de líquido. El medio de flujo se calienta a través del gas de calentamiento 2 y es descargado en una mezcla de dos fases de vapor y líquido a los cabezales recolectores 20. A través del segundo conducto de salida 22, la mezcla de dos fases de vapor y líquido es descargada a un segundo separador vapor-líquido 23.

15 En el segundo separador vapor-líquido 23, la mezcla de dos fases del medio de flujo es dividida en un flujo de líquido y uno de vapor. El medio de flujo en fase líquida es descargado a través de la segunda salida de líquido a un segundo conducto descendente 24, y el medio de flujo en fase vapor es descargado a través de una segunda salida de vapor y de un conducto de vapor 25 al conducto recolector de vapor 35.

20 El segundo conducto descendente 24 de la segunda etapa de evaporación 4 está conectado en comunicación fluida con la sección de transferencia de calor 30 de la tercera etapa de evaporación 5 a través de uno o más terceros conductos de entrada de fluido 26, colectores de distribución 27 y cabezales de distribución 28. El medio de flujo en fase líquida descargado del segundo conducto descendente 24 es suministrado y distribuido a la sección de transferencia de calor 30 de la tercera etapa de evaporación 5, la cual se extiende al menos parcialmente dentro del conducto de gas 2.

25 En la región superior de la tercera sesión de transferencia de calor 30 de la tercera etapa de evaporación 5, el medio de flujo es recolectado a través de cabezales recolectores 29 y transportado a través de terceros conductos de salida 31. El medio de flujo entra en la tercera sección de transferencia de calor 30 en una sola fase de líquido. El medio de flujo es calentado por el flujo de gas de calentamiento 2 y es descargado sobrecalentado en los cabezales recolectores 29. A través de los terceros conductos de salida 31 el medio de flujo sobrecalentado es descargado al tercer separador vapor-líquido 32.

30 Todo el medio de flujo sobrecalentado es descargado desde el tercer separador vapor-líquido 32 a través de la tercera salida de vapor y de los conductos de vapor 34 a los conductores recolectores de vapor 35. La mezcla recolectada del medio de flujo sobrecalentado y del medio de flujo en fase de vapor sale de las etapas de evaporación 3, 4 y 5 a través del conducto recolector de vapor 35. El medio de flujo mezclado fluye a un sobrecalentador 6. El sobrecalentador 6 está conectado en comunicación fluida con el conducto recolector de vapor 35. En el sobrecalentador 6 el medio de flujo es sobrecalentado y descargado a través de los conductos 41, los cuales forman el conducto de salida principal del generador de vapor. Los separadores no son utilizados como un separador común para etapas de evaporación múltiples. Cada sección de transferencia de calor de las etapas de evaporación en cascada esta provista de un separador propio, correspondiente.

40 El generador de vapor puede comprender un tercer conducto descendente 33. El tercer conducto descendente 33 está conectado en comunicación fluida con una tercera salida de líquido del tercer separador 32. Durante el funcionamiento normal, el contenido no líquido del medio de flujo es descargado desde el tercer separador 32 al conducto descendente 33. Los conductos de líquido 40 están en comunicación fluida con el separador vapor-líquido 32 a través del conducto descendente 33. Los conductos de líquido 40 comprenden válvulas de control 38 para controlar la evacuación del medio de flujo en fase líquida acumulado desde el separador vapor-líquido 32 durante, por ejemplo, las operaciones de iniciación y carga parcial.

45 La tercera etapa de evaporación 5 esta conectada en comunicación fluida directa con el conducto de suministro principal 7 a través de un conducto de by-pass 39. El conducto de by-pass 39 esta conectado en comunicación fluida con el tercer conducto de entrada 26. El conducto de by-pass 39 esta conectado en comunicación fluida con la etapa de evaporación situada lo más aguas arriba. El conducto de by-pass 39 comprende válvulas de control 37 para controlar el suministro directo de líquido a la sección de transferencia de calor 30 durante el inicio. De esta manera, se puede prevenir el sobrecalentamiento de los tubos de transferencia de calor situados lo más aguas arriba.

50 La siguiente tabla indica valores prácticos representativos para el funcionamiento del generador de vapor como el mostrado en la figura 1

ES 2 433 233 T3

Gas		
Caudal másico	kg/s	1000
Calor específico	kJ/kg/°C	1
Temperatura pinch	°C	5
Agua/Vapor		
Caudal másico	kg/s	100
Presión	bar	160
Entrada subenfriamiento	°C	4
Salida sobrecalentamiento	°C	50
Saturación	°C	347,4
Líquido saturado	kJ/kg	1649,7
Vapor saturado	kJ/kg	2580,8
Vaporización	kJ/kg	931,1

	Gas	Agua/Vapor	Gas	Agua/Vapor	Gas	Agua/Vapor	Gas	Agua/Vapor
Entrada								
Posición en Fig. 1		8		17		26		
caudal másico kg/s		100		80		48		
temperatura °C		343,3		347,4		347,4		
entalpía kJ/kg		1614,2		1649,7		1649,7		
Promedio								
temperatura °C	350,4	345,4	372,5	347,4	402,3	372,4	464,0	
Salida								
Posición en Fig. 1		13		22		21		
calidad de vapor		0,2		0,4		1,38		
entalpía kJ/kg		1835,9		2022,1		2935,5		
temperatura °C		347,4		347,4		397,4		
calor absorbido kW		22167		29796		61718		
DTML °C		14,2		38,1		60,6		
UA kW/°C		1561		781		1018		
Extracción de vapor								
Posición en diagrama		16		25		34		35
Caudal másico kg/s		20		32		48		100
entalpía kJ/kg		2580,8		2580,8		2935,5		2751,0
temperatura °C		347,4		347,4		397,4		364,6
Sobrecalentamiento °C		0,0		0,0		50,0		17,2

5 A pesar de los modos de realización mostrados, son posibles varios modos de realización sin abandonar el ámbito de protección como se define en las reivindicaciones adjuntas. El modo de realización mostrado tiene tres etapas de evaporación dispuestas en cascada. De forma alternativa, es posible disponer al menos cinco o al menos diez etapas de evaporación. Los parámetros de proceso pueden definir la cantidad necesaria de etapas de evaporación en cascada.

10 Por tanto, de acuerdo con la invención, se proporciona un generador de vapor que puede suministrar un proceso de generación de vapor más estable y fiable.

REIVINDICACIONES

1. Generador de vapor que comprende:

- un conducto de gas sustancialmente horizontal (1) para guiar un flujo de gas de calentamiento (2);

5 - una unidad de evaporación situada al menos parcialmente en el conducto de gas horizontal (1) para transferir el calor desde el flujo de gas a un medio de flujo que fluye a través de la unidad de evaporación, en el cual la unidad de evaporación comprende al menos una primera y una segunda etapas de evaporación (3, 4) las cuales están dispuestas en cascada, en las cuales la primera etapa de evaporación (3) comprende:

10 - una primera sección de transferencia de calor (12) que tiene tubos de transferencia de calor situados en vertical, los cuales están en comunicación fluida con un primer conducto de entrada (8) para suministrar el medio de flujo a los tubos de transferencia de calor y un primer conducto de salida (13) para descargar el medio de flujo desde los tubos de transferencia de calor, en donde la primera sección de transferencia de calor (12) es alimentada inferiormente, lo cual significa que el conducto de entrada está dispuesto en una región inferior de la sección de transferencia de calor, de tal manera que durante su utilización el medio de flujo es suministrado por debajo, a través del primer conducto de entrada (8), a la sección de transferencia de calor (12) en una región inferior y descargado a través del primer conducto de salida (13) en una región superior, en donde la primera etapa de evaporación es una etapa de evaporación de un sólo paso en una disposición en cascada, de tal manera que el medio de flujo pasa a través del gas de calentamiento que fluye de forma sustancialmente horizontal en dirección ascendente desde una entrada inferior a una salida superior de la etapa de evaporación; y

20 - un primer separador (14) para separar el líquido y el vapor fuera del medio de flujo que viene desde el primer conducto de salida (13), en donde el líquido es descargado a través de una primera salida de líquido y en donde el vapor es descargado a través de una segunda salida de vapor del primer separador (14), en donde la segunda etapa de evaporación (4) comprende una segunda sección de transferencia de calor (21) que tiene tubos de transferencia de calor situados en vertical, los cuales están en comunicación fluida con un segundo conducto de entrada (17) para suministrar el medio de flujo a los tubos de transferencia de calor y un segundo conducto de salida (22) para descargar el medio de flujo desde los tubos de transferencia de calor, en donde la segunda sección de transferencia de calor (21) está alimentada inferiormente, lo cual significa que el conducto de entrada está dispuesto en una región inferior de la sección de transferencia de calor, de tal manera que durante su utilización el medio de flujo es suministrado por debajo, a través del segundo conducto de entrada a la sección de transferencia de calor (21) en una región inferior y descargado a través del segundo conducto de salida en una región superior, en donde la salida de líquido del primer separador (14) está conectada al segundo conducto de entrada (17) a través de un primer conducto descendente (15), en donde la segunda etapa de evaporación es una etapa de evaporación de un sólo paso en una disposición en cascada, de tal manera que un medio de flujo pasa a través del gas de calentamiento que fluye de forma sustancialmente horizontal sólo en una dirección ascendente desde la entrada inferior a la salida superior de la etapa de evaporación, en donde la segunda etapa de evaporación (4) además comprende un segundo separador (23) que está conectado en comunicación fluida al segundo conducto de salida (22) para separar líquido y vapor fuera del medio de flujo que viene desde el segundo conducto de salida (22), en donde el líquido es descargado a través de una segunda salida de líquido y en donde el vapor es descargado a través de una segunda salida de vapor del segundo separador (23).

40 2. Generador de vapor de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los tubos de transferencia de calor de la sección de transferencia de calor (12, 21) están en comunicación fluida entre sí, sin ningún obturador o medios de restricción como válvulas para obturar el flujo a través de un tubo de transferencia de calor con respecto a otro tubo de transferencia de calor de la sección de transferencia de calor.

3. Generador de vapor de acuerdo con la reivindicaciones 1 o 2, en donde al menos una etapa de evaporación (3, 4) es una etapa de evaporación de un sólo paso.

45 4. Generador de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se dispone un conducto de by-pass (39) para desviar una primera etapa de evaporación (3) y suministrar medio de flujo a una etapa de evaporación (4, 5) dispuesta más aguas arriba del flujo de gas.

50 5. Generador de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad de evaporación comprende una tercera etapa de evaporación (5) la cual está conectada en comunicación fluida al segundo separador (23) a través de un segundo conducto descendente (24).

6. Generador de vapor de acuerdo con un cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos la primera y segunda etapas de evaporación (3, 4) están dispuestas en cascada en un flujo contracorriente con respecto al gas de calentamiento (2).

7. Generador de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la unidad de evaporación tiene una sección de transferencia de calor que comprende una matriz de tubos de transferencia de calor (22) que tiene un máximo de cinco conjuntos de tubos de transferencia de calor dispuestos de forma transversal al flujo de gas.
- 5 8. Generador de vapor de acuerdo a una de las reivindicaciones anteriores, en donde los tubos de transferencia de calor de una sección de transferencia de calor (12, 21, 30) en conjuntos sucesivos aguas abajo del conducto de gas tienen una sección transversal de un diámetro sustancialmente igual.
- 10 9. Generador de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se dispone una sección de transferencia de calor auxiliar (6) aguas arriba del flujo de gas y en serie con una etapa de evaporación (5).
10. Generador de vapor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se suministra un conducto de vapor común (35) para la descarga de vapor desde las etapas de evaporación (3, 4, 5) hacia un sobrecalentador (6).
11. Método de generación de vapor comprendiendo las etapas de:
- 15 - proporcionar un generador de vapor de acuerdo con la reivindicación 1;
- suministrar un medio de flujo a una unidad de evaporación que tiene etapas de evaporación múltiples;
- forzar al medio de flujo a través de una primera sección de transferencia de calor (12) de una primera etapa de evaporación (3) de la unidad de evaporación, en donde el medio de flujo es suministrado desde debajo, a través de un conducto de entrada a la sección de transferencia de calor (12) en una región inferior y descargado a través de un conducto de salida en una región superior;
- 20 - descargar el medio de flujo que comprende un contenido de vapor y de líquido desde la primera sección de transferencia de calor a un primer separador (14) el cual está conectado a una salida de la primera etapa de evaporación (3);
- 25 - suministrar el contenido líquido del medio de flujo desde el primer separador (14) a una segunda etapa de evaporación (4) que tiene una segunda sección de transferencia de calor (21), alimentada inferiormente, a través de un primer conducto descendente (15);
- forzar el medio de flujo a través de una segunda sección de transferencia de calor (21) de la segunda etapa de evaporación (4) de la unidad evaporación, en donde el medio de flujo es suministrado desde debajo, a través del conducto de entrada a la sección de transferencia de calor (21) en una región inferior y descargado a través de un conducto de salida en una región superior,
- 30 en donde el método además comprende las etapas de:
- descargar el medio de flujo que comprende un contenido de vapor y de líquido desde la segunda sección de transferencia de calor de la segunda etapa de evaporación (4) a un segundo separador (23) el cual esta conectado a un conducto de salida (22) en la segunda etapa de evaporación (4);
- 35 - descargar el contenido de vapor del medio de flujo desde el primer y segundo separadores (14, 23) a un sobrecalentador (6).

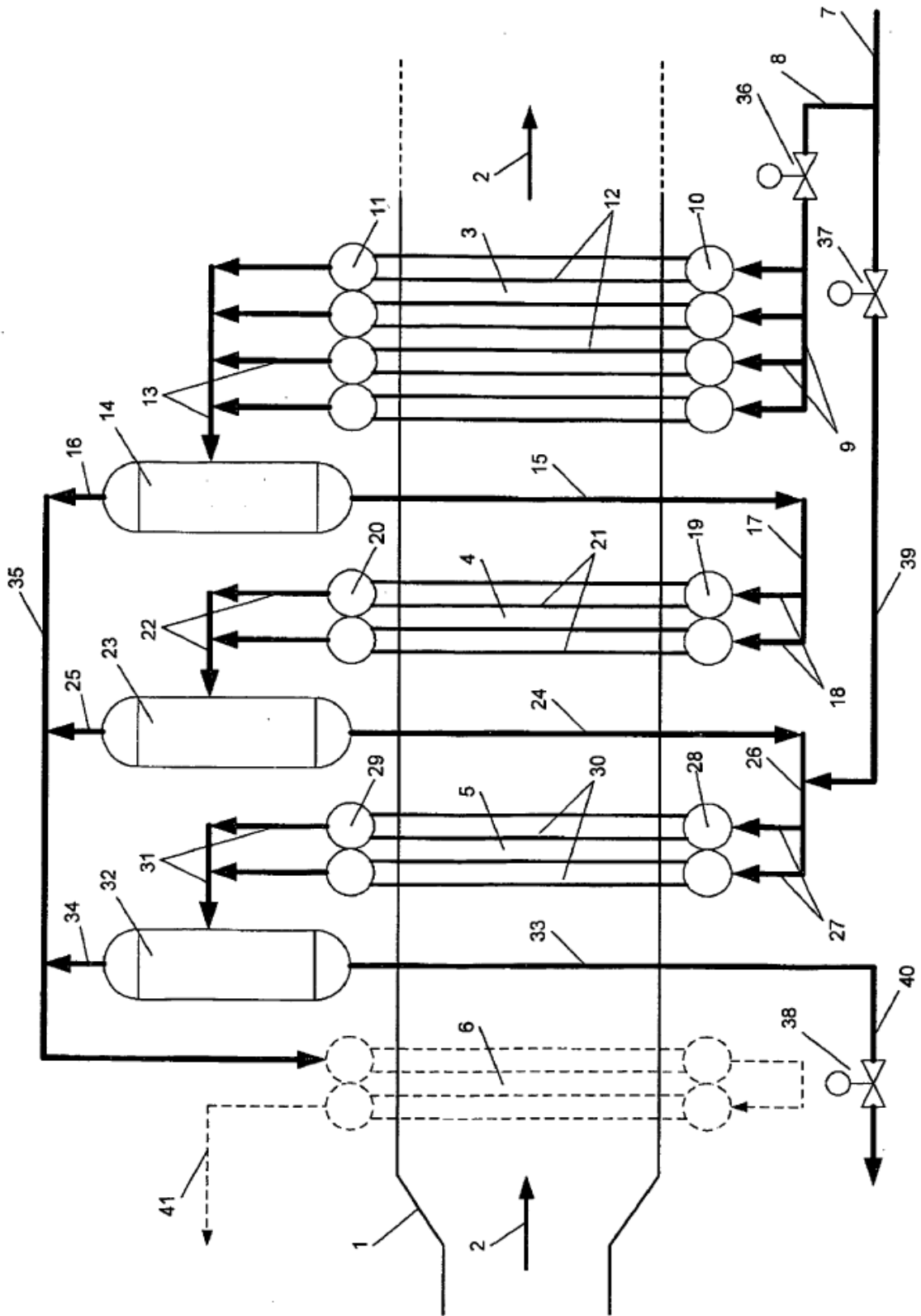


Fig. 1