

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 886 956**

51 Int. Cl.:

**F28D 7/00** (2006.01)

**F28D 7/16** (2006.01)

**B01D 5/00** (2006.01)

**C01B 21/26** (2006.01)

**C01B 21/28** (2006.01)

**B01J 19/00** (2006.01)

**F28D 21/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA  
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2017 E 17189725 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **28.08.2024 EP 3296676**

54 Título: **Disposición y procedimiento para la condensación de una mezcla ácida caliente**

30 Prioridad:

**16.09.2016 DE 102016217765**

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

**24.02.2025**

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP UHDE GMBH (50.00%)**

**Friedrich-Uhde Str. 15**

**44141 Dortmund, DE y**

**THYSSENKRUPP AG (50.00%)**

72 Inventor/es:

**GROVES, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 886 956 T5

## DESCRIPCIÓN

Disposición y procedimiento para la condensación de una mezcla ácida caliente

5 Se describe una disposición para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente, en particular, de gases que contienen óxido de nitrógeno en la producción de ácido nítrico a partir de amoníaco por oxidación con aire o un gas oxidante, que comprende al menos un dispositivo de enfriamiento en el que la mezcla de gas caliente se enfría y condensa por medio de un refrigerante, estando el al menos un dispositivo de enfriamiento diseñado como un intercambiador de calor de camisa y tubos con una pluralidad de tubos dispuestos esencialmente paralelos entre sí, mientras el al menos un dispositivo de enfriamiento es un primer dispositivo de enfriamiento y se ha previsto un segundo dispositivo de enfriamiento que está conectado aguas abajo del primer dispositivo de enfriamiento en la dirección del flujo con respecto a la mezcla de gas caliente y que está conectado fluidicamente al primer dispositivo de enfriamiento, siendo que el segundo dispositivo de enfriamiento tiene una forma sustancialmente cilíndrica y su eje se extiende sustancialmente transversal al eje del primer dispositivo de enfriamiento. El objeto de la presente invención es un procedimiento para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente.

15 En la producción de ácido nítrico según el procedimiento Ostwald, se forma una mezcla gaseosa que contiene óxidos de nitrógeno, vapor de agua, oxígeno y otras sustancias que no intervienen en las reacciones posteriores, mediante la oxidación del amoníaco en aire-oxígeno o, en casos especiales, en otras mezclas que contienen oxígeno, como vapor de agua y oxígeno o aire enriquecido con oxígeno. Los óxidos de nitrógeno relevantes para el problema actual son el monóxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el tetróxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) y el trióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que se forman en las condiciones adecuadas cuando reaccionan con el agua y posiblemente con el oxígeno, formando soluciones acuosas de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y ácido nitroso. La mezcla de gas que se forma durante la oxidación del amoníaco está inicialmente caliente -típicamente en el intervalo de aproximadamente 900 °C- y se enfría en la planta mediante el intercambio de calor con otros flujos de material en aparatos adecuados. Aparte de la recuperación de calor, otro objetivo del enfriamiento es obtener una solución acuosa que contenga ácido nítrico, que luego se concentrará en otras etapas hasta alcanzar la concentración final deseada de ácido del producto.

25 La etapa de condensación es crítica porque, si no se realiza de forma adecuada, el condensado ácido en la corriente de gas que contiene óxido de nitrógeno aún caliente puede calentarse hasta el punto de ser muy corrosivo para los materiales de acero inoxidable comúnmente utilizados en el campo. Se conocen materiales alternativos muy resistentes a este tipo de ataques, por ejemplo, el circonio. Sin embargo, estos materiales son muy caros. La corrosión se produce debido a la nueva evaporación del ácido, especialmente cuando hay gases nitrosos muy calientes y el condensado del ácido nítrico no puede salir de estos gases calientes. Este es el caso, por ejemplo, de la zona de las superficies horizontales del dispositivo de enfriamiento, en las que puede acumularse el condensado.

30 El documento WO 01/68520 A1 describe, por ejemplo, los procedimientos convencionales típicos para la producción de ácido nítrico por oxidación de amoníaco con oxígeno atmosférico.

35 De la patente DE 27 16 702 A1 en principio, se conoce un intercambiador de calor de camisa y tubos con una pluralidad de tubos alineados esencialmente paralelos entre sí, que es adecuado para enfriar medios agresivos, por lo que el medio agresivo ingresa en el intercambiador de calor esencialmente en un flujo vertical a través de una conexión de camisa y también sale de nuevo esencialmente verticalmente hacia abajo a través de otra conexión de camisa. Sin embargo, en este conocido intercambiador de calor de camisa y tubos, los tubos interiores para el intercambio de calor están alineados horizontalmente, es decir, los tubos interiores tienen una disposición horizontal y se prolongan transversalmente a las boquillas de la camisa.

40 En el documento US 3.568.764 A se describen intercambiadores de calor de camisa y tubos de construcción similar, por los que el gas residual de una planta de ácido nítrico se calienta fluyendo en el intercambiador de calor al gas de procedimiento caliente, que se produjo por la oxidación del amoníaco a óxidos de nitrógeno en la planta. También en este caso, el gas de procedimiento caliente ingresa en el intercambiador de calor a través de una boquilla vertical, mientras que el flujo de gas frío ingresa verticalmente desde abajo y fluye a través del intercambiador de calor a través de tuberías horizontales para volver a salir de él tras ser desviado en la parte superior. El gas de procedimiento enfriado sale a través de una toma de tubo en un flujo vertical hacia abajo.

45 De la patente DE 10 2005 032 797 A1 se conoce un procedimiento para la condensación de trióxido de azufre a partir de un gas de partida que contiene trióxido de azufre caliente, en el que el gas de partida que contiene trióxido de azufre se enfría primero con aire en contracorriente en un primer intercambiador de calor, por lo que se produce parcialmente un condensado, y a continuación el gas que contiene trióxido de azufre preenfriado se enfría aún más con aire en un segundo intercambiador de calor y se conduce a un dispositivo de condensación. Este dispositivo de condensación puede diseñarse como un intercambiador de calor de camisa y tubos.

50 En el documento EP 1 065 467 A2 se describen reactores en los que un fluido gaseoso caliente fluye primero a través de una zona de reacción y luego a través de una zona de intercambio de calor en el mismo aparato en dirección vertical de arriba a abajo, por lo que se produce un rápido enfriamiento desde antes de aproximadamente 1400 °C hasta por debajo de 600 °C. Debido a la todavía elevada temperatura final, aquí no se produce condensación, sino que el fluido enfriado

sale de la zona de intercambio de calor en estado gaseoso. Los reactores con intercambiadores de calor aquí descritos se utilizan en un procedimiento para la producción de cianuro de hidrógeno.

5 De la patente GB 456,446 A se conoce una disposición para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente, en la que la mezcla de gas se enfría en un primer dispositivo de enfriamiento por el que fluye verticalmente, y tras el cual fluye horizontalmente a través de un segundo dispositivo de enfriamiento, de modo que el eje del segundo dispositivo de enfriamiento se prolonga transversalmente al del primer dispositivo de enfriamiento. Sin embargo, entre los dos dispositivos de enfriamiento hay una tubería más larga por la que se desvía la mezcla, de modo que los dos dispositivos de enfriamiento no están conectados directamente entre sí. El primer dispositivo de enfriamiento es un intercambiador de calor. Sin embargo, la condensación de la mezcla gaseosa caliente sólo tiene lugar en el segundo dispositivo de enfriamiento, de modo que la mezcla gaseosa fluye sobre una sección en flujo horizontal a través de la tubería entre los dos dispositivos de enfriamiento.

10 El documento EP 0 213 669 A1 describe un procedimiento para la producción de urea a partir de amoníaco y dióxido de carbono, en el que dos zonas de condensación están conectadas después de una zona de síntesis y una zona de extracción. Una mezcla de gas procedente de la zona de despojamiento, que contiene amoníaco, dióxido de carbono y vapor de agua, ingresa en el área de la camisa de una primera zona de condensación, que está orientada en sentido horizontal. Una porción no condensada de la mezcla de gases se introduce entonces en una segunda zona de condensación en la que tiene lugar una condensación adicional de una solución de carbamato, esta segunda zona de condensación comprende un recipiente orientado en sentido vertical.

15 La Patente Austriaca AT 319 275 B describe una disposición para la producción de ácido nítrico con varios dispositivos de enfriamiento, en la que un primer dispositivo de enfriamiento es atravesado horizontalmente por la corriente y el otro dispositivo de enfriamiento conectado a continuación de éste está alineado en sentido vertical con su eje y, por lo tanto, transversalmente al primer dispositivo de enfriamiento. Ambos dispositivos de enfriamiento están dispuestos uno al lado del otro. Las tuberías del primer dispositivo de enfriamiento se prolongan horizontalmente y la mezcla de gases ingresa lateralmente en el segundo dispositivo de enfriamiento.

20 La Patente Estadounidense 4.354.040 A describe un procedimiento para la producción de urea con un dispositivo de condensación de carbamato, que está diseñado como un intercambiador de calor y cuyo eje se prolonga en dirección vertical. Aquí se condensa la mezcla de gases de un extractor y se absorbe en una solución acuosa. Debajo del primer intercambiador de calor hay un segundo intercambiador de calor dentro del mismo dispositivo de condensación, en el que se absorben partes de los gases no absorbidos anteriormente. El eje del segundo intercambiador de calor inferior es también vertical.

25 El objetivo de la presente invención es proporcionar un procedimiento para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente, que sea poco costoso y en el que se evite el calentamiento del condensado formado en la corriente de gas con ataque de corrosión.

30 La solución al problema antes mencionado proporciona un procedimiento para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente con las características de la reivindicación 1.

35 Según una realización que no forma parte de la invención, se prevé que los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento estén dispuestos sustancialmente en vertical, el segundo dispositivo de enfriamiento tiene una camisa de contenedor a través de la cual fluye la mezcla de gas caliente y un interior de contenedor por el que circula un refrigerante, estando la camisa de contenedor del segundo dispositivo de enfriamiento conectada fluidicamente en su lado de entrada a la pieza de conexión de salida del primer dispositivo de enfriamiento.

40 Según una realización que no forma parte de la invención, la condensación de ácido se inicia en el primer dispositivo de enfriamiento, permitiendo que el condensado fluya sin obstáculos, de modo que la concentración por transferencia de calor del gas caliente que contiene óxido de nitrógeno no puede producirse en absoluto, o sólo en una pequeña medida que no sea perjudicial para el ataque corrosivo. En las partes del dispositivo de enfriamiento en las que no sería posible que el condensado ácido fluyera, por ejemplo, porque la superficie allí es horizontal o no tiene depresiones autodrenantes, la condensación de líquidos se evita desde el principio porque el medio de enfriamiento en esos puntos tiene una temperatura superior al punto de rocío del gas que contiene óxido de nitrógeno. En los dispositivos de enfriamiento de acuerdo con la invención, se pueden utilizar materiales líquidos o gaseosos como medios de enfriamiento. Algunos ejemplos de medios adecuados son el agua de alimentación de la caldera que se utilizará para la generación de vapor, el agua desmineralizada, el aire, el gas residual u otros medios gaseosos.

45 De manera ventajosa, por lo tanto, el primer dispositivo de enfriamiento descrito anteriormente está conectado a al menos un segundo dispositivo de enfriamiento hacia el cual puede fluir el condensado ácido formado en el primer dispositivo de enfriamiento y hacia el cual fluye el gas que contiene óxido de nitrógeno parcialmente enfriado.

50 En el segundo dispositivo de enfriamiento, por ejemplo, el gas que contiene óxido de nitrógeno puede enfriarse por debajo de la temperatura de rocío, y más de la mitad de los gases condensables por encima de 0 °C se condensan con la formación de soluciones acuosas de ácido nítrico, ácido nitroso y óxidos de nitrógeno.

Este dispositivo de enfriamiento adicional tiene, por ejemplo, dispositivos integrados o dispositivos a continuación del dispositivo de enfriamiento para separar el condensado de ácido del gas restante que contiene óxido de nitrógeno.

5 La solución, que no forma parte de la invención, tiene la ventaja de que es posible enfriar la corriente de gas caliente hasta tal punto que su temperatura es sólo ligeramente superior a la temperatura de rocío de la corriente de gas que contiene óxido de nitrógeno o incluso por debajo de esta temperatura. El enfriamiento del gas que contiene nitrógeno es especialmente ventajoso si el gas es conducido al segundo dispositivo para su posterior enfriamiento y el segundo dispositivo de enfriamiento puede presentar sitios en los que puede acumularse el condensado de ácido o puede estar suspendido en las paredes interiores del segundo dispositivo de enfriamiento durante un tiempo más largo, por ejemplo, en forma de gotas. Debido al enfriamiento previo de la corriente de gas en el primer dispositivo de enfriamiento, el efecto del calentamiento del condensado es menor y el ataque de la corrosión es menor o insignificante.

10 Una ventaja importante surge, por lo tanto, del hecho de que es posible trabajar con al menos dos dispositivos de enfriamiento y que la transferencia de energía entre las tuberías por las que fluye la mezcla de gas caliente y el medio de enfriamiento puede ajustarse de tal manera que el paso seguro a través del punto de rocío de la mezcla de gas caliente tenga lugar ya en el primer dispositivo de enfriamiento, es decir, en un primer intercambiador de calor.

15 Los tubos de este intercambiador de calor de camisa y tubos están dispuestos esencialmente de forma vertical. Esencialmente vertical significa que los tubos están alineados exactamente en la vertical o con una desviación angular respecto a la vertical de preferentemente no más de aproximadamente 40 grados, en particular, no más de 30 grados, preferentemente no más de 20 grados, de manera particularmente preferente no más de aproximadamente 10 grados. Por ejemplo, los tubos se extienden en dirección vertical a lo largo de prácticamente toda la longitud del intercambiador de calor de camisa y tubos.

20 Además, esta pluralidad de tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos está dispuesta preferentemente de forma coaxial en un recipiente sustancialmente cilíndrico, a través del cual la mezcla de gases a enfriar fluye en la dirección axial y en la dirección de la gravedad a través de una pieza de conexión de entrada que entra y a través de una pieza de conexión de salida que sale.

25 De acuerdo con otra realización preferente de la invención, el dispositivo de enfriamiento configurado como un intercambiador de calor de camisa y tubos comprende un recipiente sustancialmente cilíndrico con una camisa de recipiente a través de la cual fluye el refrigerante.

30 La mencionada camisa del recipiente en ese caso preferentemente presenta una conexión de entrada inferior para el refrigerante, así como una conexión de salida superior, y el refrigerante fluye en esta variante de diseño en contracorriente de la mezcla de gas caliente que fluye por los tubos, preferentemente fluye a través de los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos de forma aproximadamente vertical de arriba hacia abajo.

La camisa del contenedor del dispositivo de enfriamiento descrito anteriormente presenta, por ejemplo, dispositivos de desviación para el refrigerante que se prolongan aproximadamente en la dirección transversal, de modo que el refrigerante fluye a través de la camisa del contenedor de forma serpenteante desde su punto de entrada hasta su punto de salida.

35 Por lo demás, se da el caso de que el segundo dispositivo de enfriamiento tiene una camisa de contenedor a través de la cual fluye la mezcla de gas caliente y un interior de contenedor a través del cual fluye un refrigerante, estando la camisa de contenedor del segundo dispositivo de enfriamiento conectada fluidicamente en su lado de entrada a la pieza de conexión de salida del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento. En esta realización constructiva preferente de la invención, se da el caso de que en el primer dispositivo de enfriamiento, en el que la mezcla de gas caliente es sometida a un primer enfriamiento, fluye inicialmente por el lado del tubo, mientras que el medio de enfriamiento fluye por el lado de la camisa, mientras que en el segundo dispositivo de enfriamiento, en el que tiene lugar el enfriamiento posterior, la mezcla de gas caliente fluye por el lado de la camisa, posiblemente debido al enfriamiento que ya ha tenido lugar en la mezcla con el condensado, y el refrigerante fluye a través de tubos que se extienden por el interior del dispositivo de enfriamiento. Según un perfeccionamiento ajeno a la invención, el segundo dispositivo de enfriamiento está diseñado como un intercambiador de calor de camisa y tubos con una pluralidad de tubos dispuestos en paralelo, a través de los cuales fluye el refrigerante.

45 Preferentemente, el eje de los tubos paralelos del intercambiador de calor de camisa y tubos del segundo dispositivo de enfriamiento está alineado en la dirección axial del eje del segundo dispositivo de enfriamiento y, por lo tanto, es transversal y aproximadamente perpendicular al eje de los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento.

50 El objeto de la presente invención es un procedimiento según la reivindicación 1 para la condensación controlada de una mezcla de gas ácido caliente, en particular, de gases que contienen óxido de nitrógeno en la producción de ácido nítrico a partir de amoníaco por oxidación con aire o un gas oxidante, en el que en un primer dispositivo de enfriamiento la mezcla de gas caliente se enfría y condensa mediante un refrigerante, en el que la mezcla de gas caliente se enfría y condensa en un primer dispositivo de enfriamiento por medio de un refrigerante, en el que la mezcla de gas caliente se enfría en el primer dispositivo de enfriamiento por medio de un intercambiador de calor en un flujo descendente dirigido esencialmente de forma vertical hasta tal punto que el punto de rocío de la mezcla de gas se reduce al menos parcialmente, en el que la mezcla ya parcialmente condensada que sale del primer dispositivo de enfriamiento pasa a un

segundo dispositivo de enfriamiento, en el que se enfría aún más, estando el segundo dispositivo de enfriamiento dispuesto debajo del primer dispositivo de enfriamiento y entrando la mezcla ya parcialmente condensada en el segundo dispositivo de enfriamiento en un flujo dirigido esencialmente en sentido vertical hacia abajo, en el que el primer dispositivo de enfriamiento está formado como un intercambiador de calor de camisa y tubos con una pluralidad de tubos dispuestos sustancialmente paralelos entre sí y los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento están dispuestos sustancialmente de forma vertical, en el que el segundo dispositivo de enfriamiento está formado sustancialmente de forma cilíndrica y su eje se extiende sustancialmente de forma transversal al eje del primer dispositivo de enfriamiento.

En un flujo sustancialmente vertical hacia abajo significa que es un flujo dirigido exactamente en sentido vertical hacia abajo o un flujo con una desviación angular de la vertical de preferentemente no más de aproximadamente 40 grados, en particular, no más de 30 grados, preferentemente no más de 20 grados, más preferentemente no más de aproximadamente 10 grados. Es importante en este contexto que la mezcla ya parcialmente condensada pueda fluir hacia abajo y no quedarse en zonas del dispositivo condensadas de líquido agresivo y así permanecer más tiempo. En cualquier caso, por lo tanto, debe ser un dispositivo con un gradiente suficiente y continuo para garantizar dicho flujo de la mezcla ya parcialmente condensada.

Según la invención está previsto que el primer dispositivo de enfriamiento comprenda una lámina tubular superior y que las condiciones del procedimiento se seleccionen de manera que la temperatura de esta lámina tubular superior esté por encima del punto de rocío de la mezcla de gases calientes. En esta lámina tubular superior (por lo general, horizontal) se sujetan las secciones extremas superiores de los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento. Esta medida garantiza que no se forme condensado en la zona de la lámina tubular superior y se concentre allí en el flujo de gas caliente.

Preferentemente, en el segundo dispositivo de enfriamiento se produce una separación de fases en una solución de ácido nítrico débil que sale hacia abajo a través de una o más boquillas y una mezcla de gas que contiene NOx que sale hacia arriba a través de al menos una boquilla. De manera particularmente preferente, el procedimiento de acuerdo con la invención se lleva a cabo en una disposición que tiene las características descritas anteriormente.

A continuación, la presente invención se explicará con más detalle mediante ejemplos de realización con referencia a los dibujos. Las figuras muestran:

La Figura 1 muestra una vista esquemáticamente simplificada de un primer dispositivo de enfriamiento ejemplar en sección longitudinal;

La Figura 2 es una ilustración esquemática que explica los procedimientos en un solo tubo del primer dispositivo de enfriamiento;

La Figura 3 es una vista esquemáticamente simplificada de una disposición con un primer y un segundo dispositivo de enfriamiento según un ejemplo ejemplar;

La figura 4 es una vista en sección esquemáticamente simplificada de la disposición de la figura 3.

En primer lugar, a continuación se explica con más detalle un primer ejemplo de realización del primer dispositivo de enfriamiento con ayuda de la figura 1. El primer dispositivo de enfriamiento 10 que se muestra simplificado esquemáticamente en dicho ejemplo está concebido, en principio, como una especie de intercambiador de calor de camisa y tubos, que comprende una serie de tubos 8 dispuestos de forma aproximadamente paralela entre sí y, por ejemplo, de forma aproximadamente vertical. Estos tubos 11 se prolongan entre una lámina tubular superior 6 y una lámina tubular inferior 7 del dispositivo de enfriamiento. El gas caliente que contiene óxido de nitrógeno, originado por la oxidación del amoníaco en el gas que contiene oxígeno, ingresa en el primer dispositivo de enfriamiento 10 a través de una boquilla superior del lado del tubo 1. El gas nitrogenado enfriado y el condensado ácido formado por el enfriamiento fluyen hacia abajo fuera de las tuberías 8 del dispositivo de enfriamiento 10 y abandonan el dispositivo de enfriamiento a través de la boquilla inferior 2, que en el presente ejemplo tiene aproximadamente el mismo diámetro que la camisa del propio dispositivo de enfriamiento 10. Por supuesto, este dimensionamiento no es una característica necesaria de la disposición.

El medio de enfriamiento, en este ejemplo agua completamente desmineralizada (agua DI), que se va a utilizar para la generación de vapor, fluye por el lado de la camisa del primer dispositivo de enfriamiento 10 mostrado en la figura 1. El agua desionizada ingresa en la boquilla inferior del lado de la camisa 3 del primer dispositivo de enfriamiento 10 a una temperatura de, por ejemplo, 45 °C, que es inferior a la temperatura de rocío del gas que contiene óxido de nitrógeno. El agua desionizada se dirige de un lado a otro a través de varios deflectores 5 para que pase repetidamente por los tubos 8 por los que circula el medio caliente. Con cada desviación, el agua desionizada asciende en el primer dispositivo de enfriamiento 10 y, al mismo tiempo, la temperatura del agua desionizada aumenta. La cantidad de agua desionizada y la superficie total de intercambio de calor del dispositivo de enfriamiento se ajustan a la cantidad, la composición y la temperatura del gas que contiene óxido de nitrógeno entrante, de manera que la temperatura del agua desionizada supera el punto de rocío del gas que contiene óxido de nitrógeno entrante cuando llega al espacio entre el deflector superior 5 y la lámina tubular superior 6 del primer dispositivo de enfriamiento 10. Así se evita la formación de condensación en la lámina tubular superior 6. El agua desionizada sale del primer dispositivo de enfriamiento 10 a través de la boquilla

superior, por ejemplo, montada radialmente, aproximadamente horizontal, 4 a una temperatura de, por ejemplo, aproximadamente 120 °C.

A continuación, se hace referencia a la figura 2 y se explican los procedimientos en un solo tubo del intercambiador de calor de camisa y tubos 10 sobre la base de la misma. El tubo simple se muestra aquí en escorzo y se puede ver la lámina superior del tubo 6 en el extremo superior del tubo 8, así como la lámina inferior del tubo 7 en el extremo inferior del tubo, en el que el tubo está incrustado en cada caso. El gas que contiene óxido de nitrógeno ingresa en la parte superior del tubo 8 a una temperatura de, por ejemplo, 190 °C. La temperatura de la lámina tubular superior 6 del primer dispositivo de enfriamiento 10 se encuentra entre la temperatura del gas que contiene óxido de nitrógeno (por ejemplo, 190 °C) y la del agua desionizada (por ejemplo, 120 °C). No se forma condensado en la parte superior de la lámina tubular superior 6 porque su temperatura es superior a la temperatura de rocío (por ejemplo, 95 °C). A medida que el gas que contiene óxido de nitrógeno fluye hacia abajo a través del tubo 8, se enfría. La temperatura de la pared interior del tubo 8 es más fría que la del gas que contiene óxido de nitrógeno. En un momento determinado, la temperatura de la pared interior desciende por debajo del punto de rocío (por ejemplo, aproximadamente 95 °C) del gas que contiene óxido de nitrógeno y se forma el primer condensado en la pared interior del tubo 8. El condensado puede bajar sin obstáculos por el tubo 8 junto con el gas que contiene óxido de nitrógeno. Cuanto más desciende el gas, más se enfría y más condensado se forma. Ambas fases, líquido y gas, salen del tubo 8 por el extremo inferior. En ningún momento el condensado de ácido en el flujo de gas caliente se calienta de forma significativa, por lo que no se produce un ataque de corrosión.

En el ejemplo de acuerdo con la invención, la condensación y el enfriamiento adicionales tienen lugar en un segundo dispositivo de enfriamiento 20, que, como puede verse en la figura 3, está dispuesto debajo del primer dispositivo de enfriamiento 10. En el presente ejemplo de realización, el gas que contiene óxido de nitrógeno y el condensado se enfrían en el lado de la camisa de un intercambiador de calor horizontal de camisa y tubos contra el agua de enfriamiento en el lado de los tubos. Por último, el gas restante que contiene óxido de nitrógeno fluye hacia arriba desde una o más boquillas superiores 10 a del segundo dispositivo de enfriamiento 20 previsto para ello, mientras que el condensado ácido fluye hacia abajo en la dirección de la flecha 11 desde una o más boquillas inferiores 16 previstas para ello.

Este segundo dispositivo de enfriamiento 20, mostrado en las figuras 3 y 4, es un recipiente de forma cilíndrica, por ejemplo, pero cuyo eje está orientado aproximadamente en sentido horizontal, de modo que se trata de un recipiente prácticamente horizontal cuyo eje es transversal al eje del primer dispositivo de enfriamiento 10. Esta última está dispuesta, por ejemplo, aproximadamente en el centro de la parte superior del segundo dispositivo de enfriamiento 20, de modo que el condensado que sale del primer dispositivo de enfriamiento 10 fluye en una mezcla con el gas caliente aún no condensado desde arriba casi radialmente hacia el segundo dispositivo de enfriamiento en la dirección de la flecha a través de la boquilla 2. Mientras que en el primer dispositivo de enfriamiento 10 la mezcla de gas caliente fluye verticalmente a través de los tubos del intercambiador de calor de camisa y tubos y el refrigerante fluye hacia el exterior en la zona de la camisa del dispositivo, en el segundo dispositivo de enfriamiento 20 es al revés. El gas que fluye verticalmente a través de la toma de tubo 2 en una mezcla con el condensado ingresa en la camisa del segundo dispositivo de enfriamiento, de modo que finalmente el condensado ácido enfriado sale de esta zona de la camisa del dispositivo de enfriamiento 20 hacia abajo a través de la boquilla inferior 16 en la dirección de la flecha. Por otro lado, el refrigerante fluye internamente en el segundo dispositivo de enfriamiento 20 a través de una pluralidad de tubos individuales aproximadamente paralelos de un segundo intercambiador de calor de camisa y tubos. Así, el refrigerante fluye en dirección axial entre dos láminas tubulares 14, en las que se fijan respectivamente los extremos de los tubos individuales del intercambiador de calor de camisa y tubos. En consecuencia, el refrigerante fluye en el segundo dispositivo de enfriamiento en una dirección aproximadamente horizontal. El intercambio de calor mejorado con la mezcla caliente de gas y condensado que ingresa por la boquilla 2 en la parte superior tiene lugar en el sentido de que en el segundo dispositivo de enfriamiento 20 también se han instalado deflectores 15, que en este caso se prolongan verticalmente y en cada caso a una distancia entre sí, de modo que la mezcla caliente de gas y condensado fluye desde el centro donde ingresa hacia ambos lados de forma aproximadamente serpenteante, fluyendo alternativamente hacia abajo y hacia arriba y, en el procedimiento, entrando repetidamente en contacto con los tubos por los que fluye el refrigerante.

En cada paso entre los deflectores, la mayor parte del condensado ácido se separa del gas y fluye por los tubos hasta la parte más baja de la camisa. Una pequeña parte del condensado se lleva al siguiente paso. Los deflectores que dirigen el gas hacia arriba, es decir, los que ocupan la parte inferior de la camisa, tienen una abertura en el punto más bajo o cerca de él para que el condensado pueda fluir por debajo del deflector respectivo hacia una de las boquillas 16, o bien estos deflectores no están listados a ras de la pared interior de la camisa, de modo que el espacio entre el deflector y la camisa es lo suficientemente grande como para que el condensado pueda fluir sin obstáculos hacia una boquilla 16.

En el dibujo de la figura 4, a la izquierda se ha previsto una boquilla de salida 16 más pequeña, a través de la cual se puede recoger el condensado y dirigirlo a través de un tubo de conexión 18 a la boquilla de salida 16 más grande, desde donde fluye hacia abajo fuera del segundo dispositivo de enfriamiento. Por otra parte, el gas que contiene óxido de nitrógeno, después de haber pasado el último deflector 15, asciende en cada una de las áreas finales del espacio interior delante de las láminas tubulares 14 y emerge del segundo dispositivo de enfriamiento 20 hacia arriba a través de las dos boquillas 10a dispuestas en la parte superior.

El refrigerante ingresa en el depósito del segundo dispositivo de enfriamiento 20 a través de la boquilla de entrada inferior 12 en la zona de la derecha en la figura 4, donde ingresa a baja temperatura. Desde allí fluye a través de un primer número de tubos paralelos inferiores del intercambiador de calor de camisa y tubos en dirección axial y, por lo tanto, horizontal en

- 5 el dibujo hacia la izquierda hasta más allá de la lámina tubular izquierda 14. Allí puede volver a fluir en dirección horizontal (hacia la derecha en el dibujo) a través de un segundo número de tubos (aquí hay un total de cuatro tubos superiores) hasta la lámina tubular derecha 14, donde ingresa a una cámara superior para el refrigerante, que está separada de una cámara inferior para el refrigerante por una pared de separación 17, que es horizontal, por ejemplo. La boquilla de entrada inferior 12 tiene una conexión de fluido sólo con la cámara inferior, donde el refrigerante sólo puede subir hasta el nivel de la pared de separación 17. Por otra parte, la cámara superior, situada por encima de la pared de separación, está provista de una boquilla de salida 13 en la parte superior para que el refrigerante calentado pueda salir del segundo dispositivo de enfriamiento 20. En este dibujo, el lado del enfriamiento está diseñado con dos pasos. Son posibles otras versiones con, por ejemplo, enfriamiento de un solo paso o de cuatro pasos.
- 10 Las condiciones de temperatura en los dos dispositivos de enfriamiento 10 o 20, que están conectados en serie en términos de flujo, se seleccionan de tal manera que el enfriamiento parcial y la condensación parcial de la mezcla de gas caliente tiene lugar en el primer dispositivo de enfriamiento 10, por lo que prácticamente sólo hay un flujo vertical de gas y condensado en el primer dispositivo de enfriamiento. Cuando la mezcla de gas y condensado ya parcialmente enfriada ingresa en el segundo dispositivo de enfriamiento 20, el gas ya tiene una temperatura significativamente menor debido al enfriamiento anterior.
- 15 La temperatura del flujo de gas que ingresa en el primer dispositivo de enfriamiento 10 a través de la boquilla superior del lado del tubo 1 es, por ejemplo, de aproximadamente 190 °C. La presión del gas es, por ejemplo, de aproximadamente 4 bares. La temperatura de rocío del gas que contiene óxido de nitrógeno a la que comienza a formarse el condensado ácido es, por ejemplo, de aproximadamente 95 °C. La temperatura del flujo de gas y del flujo de condensado de ácido que sale del primer dispositivo de enfriamiento 10 a través de la boquilla 2 es, por ejemplo, de aproximadamente 125 °C. Si el condensado de ácido llega a un punto del segundo dispositivo de enfriamiento 20 en el que no puede fluir libremente, la temperatura del gas que contiene óxido de nitrógeno a 125 °C es ya demasiado baja para provocar la corrosión de este segundo dispositivo de enfriamiento en una medida apreciable mediante el calentamiento del condensado de ácido.

Lista de símbolos de referencia

- 25 1 boquilla superior del lado del tubo  
 2 boquilla inferior  
 3 boquilla horizontal inferior del lado de la camisa  
 4 boquilla horizontal superior del lado de la camisa  
 5 deflectores
- 30 6 lámina tubular superior  
 7 lámina tubular inferior  
 8 tubo único  
 10 primer dispositivo de enfriamiento  
 10a boquilla superior para el gas NOx
- 35 12 boquilla de entrada del refrigerante  
 13 boquilla de salida del refrigerante  
 14 lámina tubular  
 15 deflectores  
 16 boquilla para el condensado de ácido
- 40 17 pared de separación horizontal  
 18 pared de separación horizontal  
 20 segundo dispositivo de enfriamiento

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la condensación controlada de una mezcla de gases ácidos calientes, en particular, de gases que contienen óxido de nitrógeno en la producción de ácido nítrico a partir de amoníaco por oxidación con aire o con un gas oxidante, en el que la mezcla de gases calientes es enfriada mediante un refrigerante y condensada en un primer dispositivo de enfriamiento (10), en el que la mezcla de gas caliente es enfriada en el primer dispositivo de enfriamiento (10) por medio de un intercambiador de calor mientras fluye en un flujo descendente dirigido sustancialmente perpendicularmente, hasta tal punto que la temperatura de la mezcla de gas está al menos parcialmente por debajo del punto de rocío, **en el que** la mezcla ya parcialmente condensada que sale del primer dispositivo de enfriamiento (10) pasa a un segundo dispositivo de enfriamiento (20), en el que se enfría aún más, estando el segundo dispositivo de enfriamiento dispuesto debajo del primer dispositivo de enfriamiento, entrando la mezcla ya parcialmente condensada en el segundo dispositivo de enfriamiento (20) en un flujo orientado esencialmente en sentido vertical hacia abajo, **caracterizado porque** el primer dispositivo de enfriamiento (10) está diseñado como un intercambiador de calor de camisa y tubos con una pluralidad de tubos dispuestos esencialmente paralelos entre sí, y los tubos (8) del intercambiador de calor de camisa y tubos del primer dispositivo de enfriamiento (10) están dispuestos esencialmente de forma vertical, estando el segundo dispositivo de enfriamiento (20) diseñado esencialmente de forma cilíndrica y su eje se prolonga esencialmente de forma transversal con respecto al eje del primer dispositivo de enfriamiento y **porque** el primer dispositivo de enfriamiento (10) comprende una lámina tubular superior (6) y las condiciones de procedimiento se seleccionan de manera que la temperatura de esta lámina tubular superior (6) esté por encima del punto de rocío de la mezcla de gases calientes.
2. El procedimiento de acuerdo con una de la reivindicación 1, **caracterizado porque** en el segundo dispositivo de enfriamiento (20) se produce una separación de fases en una solución de ácido nítrico débil que emerge hacia abajo a través de una boquilla y una mezcla de gas que contiene NOx que emerge hacia arriba a través de al menos una boquilla.

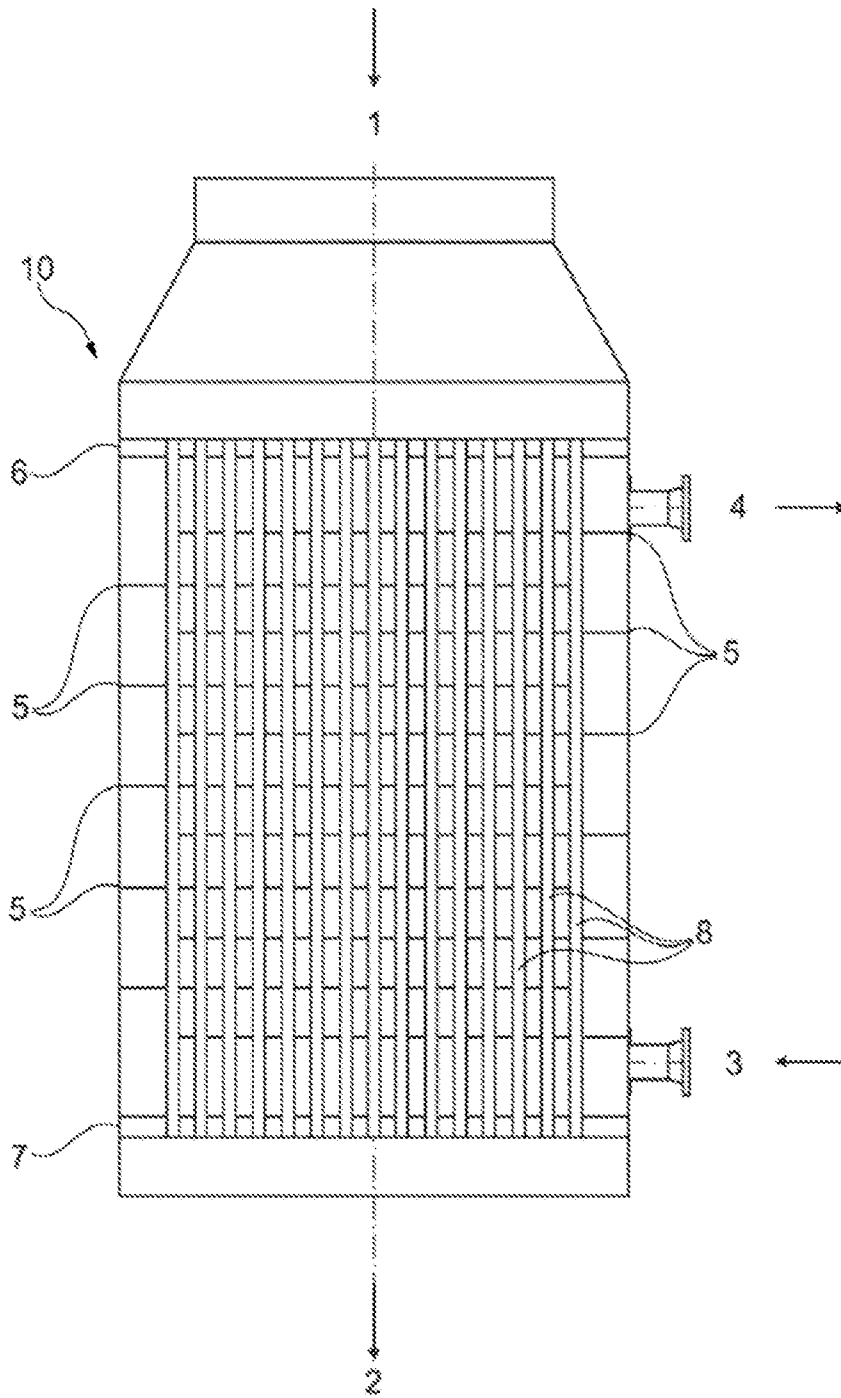


Fig. 1

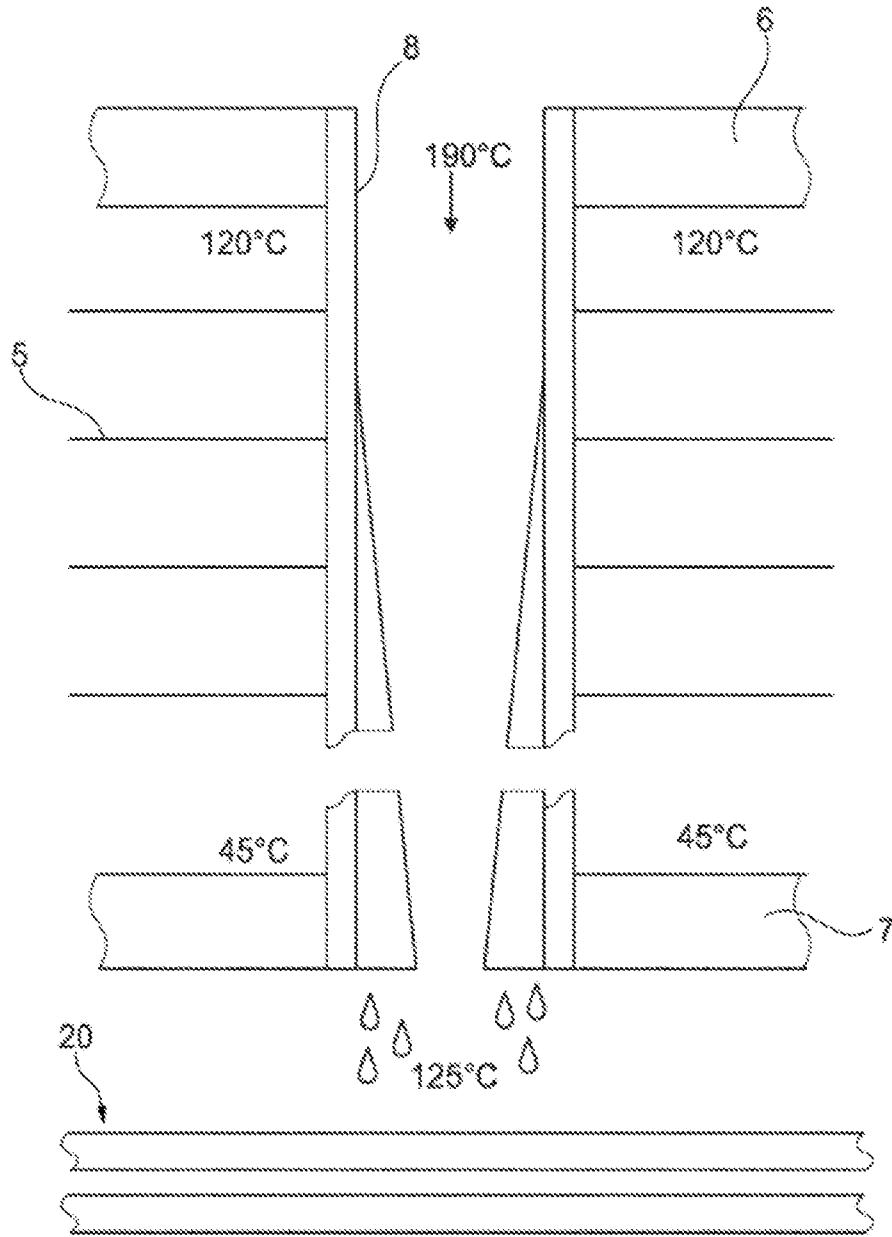


Fig. 2

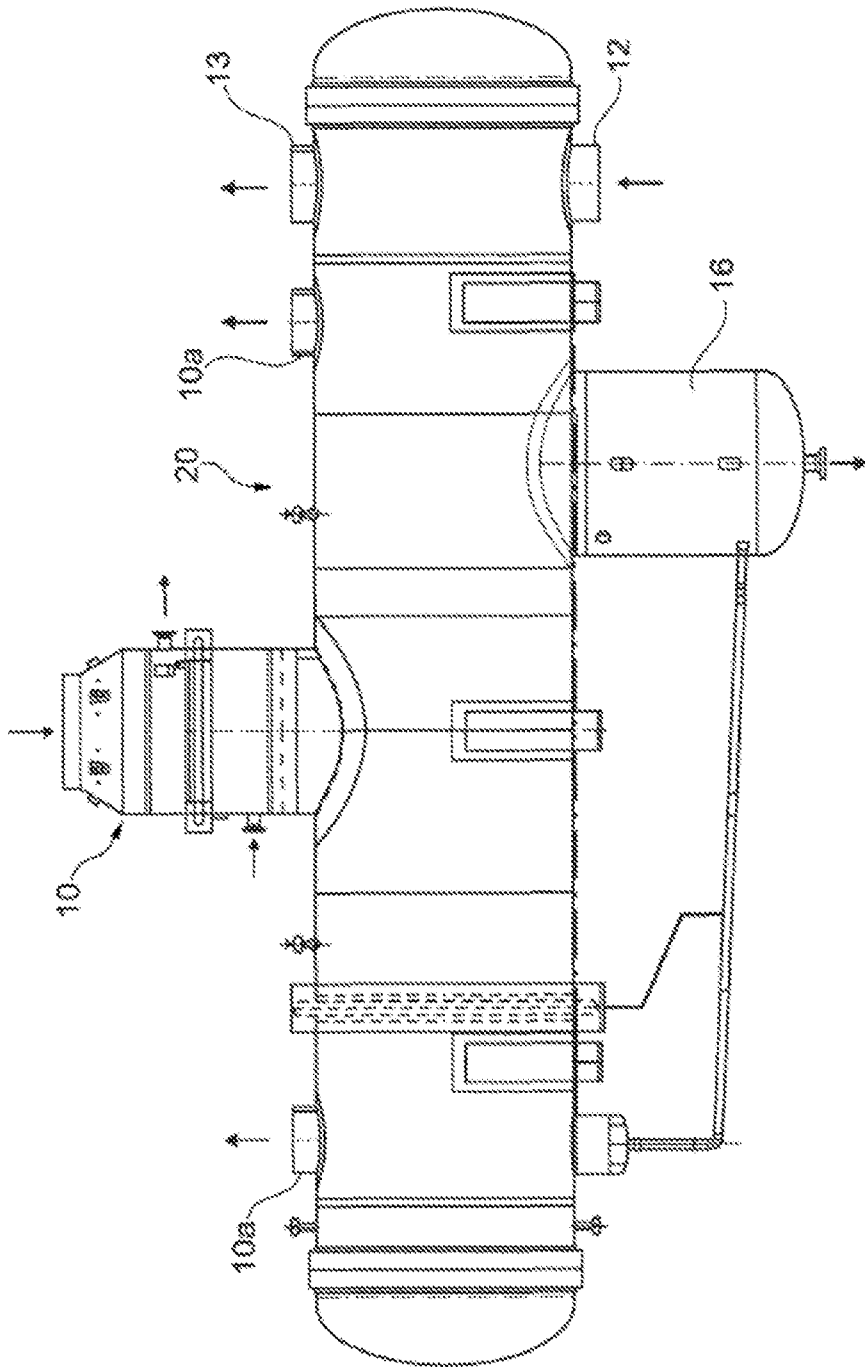


Fig. 3

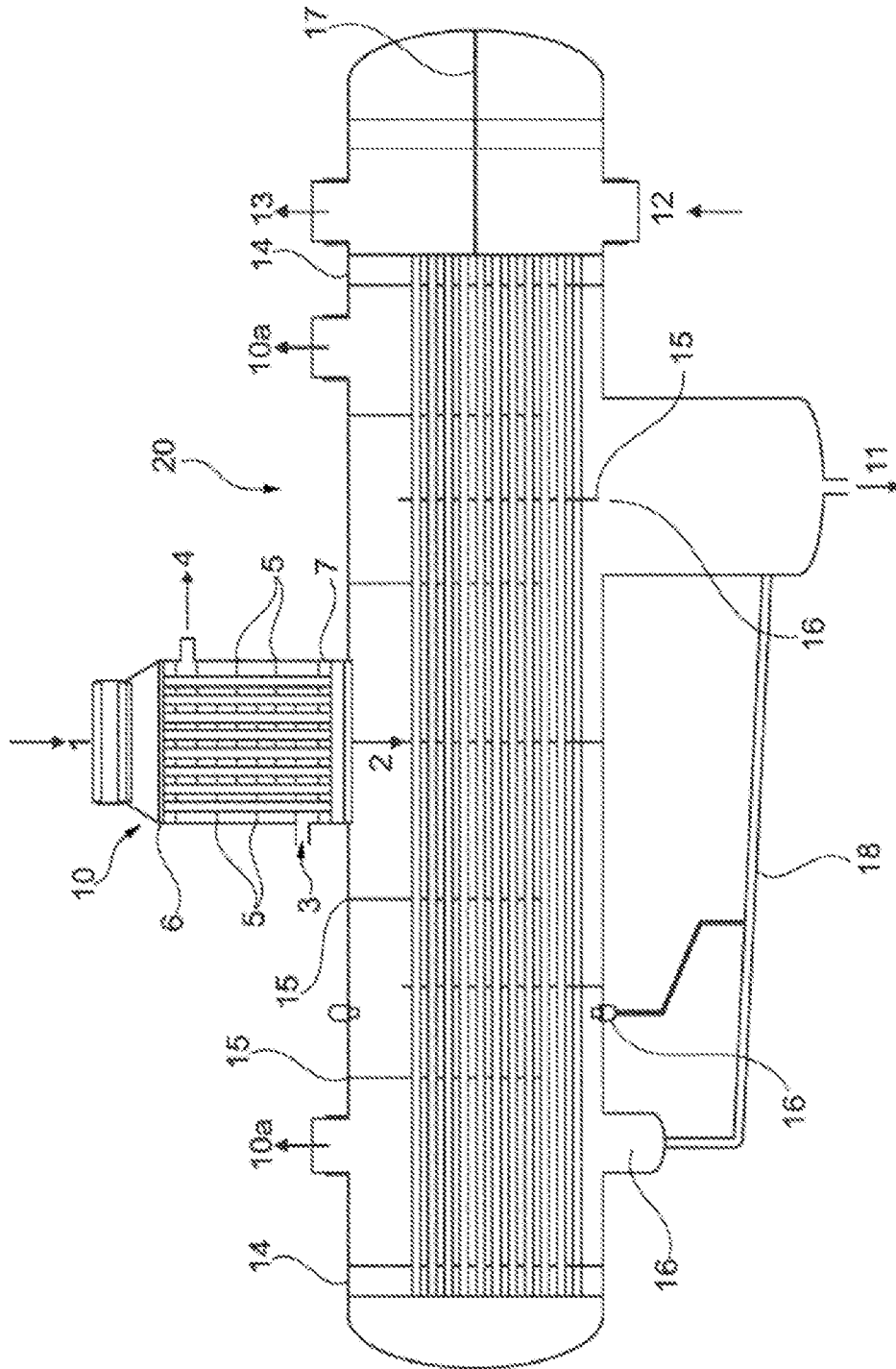


Fig. 4