

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 949 859**

51 Int. Cl.:

F01K 9/00 (2006.01)

F01K 11/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2017** **E 17197248 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3473822**

54 Título: **Sistema de reciclaje de vapor para una turbina de vapor de baja presión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.10.2023

73 Titular/es:

DOOSAN SKODA POWER S.R.O. (100.0%)
Tylova 1/57
30128 Plzen, CZ

72 Inventor/es:

KUCERA, JIRI

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 949 859 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

Sistema de reciclaje de vapor para una turbina de vapor de baja presión

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sistema de derivación para una central eléctrica con una turbina de vapor de baja presión y a un método de procesamiento de un vapor generado en una central eléctrica durante un modo de flujo bajo de una turbina de vapor de baja presión.

10

Antecedentes de la técnica

15

En una central de turbina de vapor típica, se produce vapor en un generador de vapor (caldera) y pasa a través de la turbina de vapor. El vapor que ha pasado a través de la turbina de vapor se dirige a través de un sistema de escape a un condensador. En una central de turbina de vapor típica, hay un condensador de superficie principal dispuesto después del escape de la turbina de vapor para enfriar y condensar el vapor.

20

El condensador de superficie principal está conectado a una torre de refrigeración a través de una línea de refrigeración. Un medio de refrigeración, por ejemplo, agua, circula en la línea de refrigeración entre la torre de refrigeración y el condensador principal y tiene una cierta temperatura de entrada cuando ingresa al condensador principal y una cierta temperatura de salida más alta cuando sale del condensador y fluye de vuelta a la torre de refrigeración.

25

En el condensador principal, el medio de refrigeración que circula en la línea de refrigeración enfría y condensa el vapor caliente proveniente del escape de la turbina de vapor y el condensado líquido producido se recoge y se devuelve al generador de vapor para continuar el ciclo.

30

La turbina de vapor puede funcionar en diferentes modos. Por lo general, funciona en un modo de funcionamiento en el que la cantidad total de vapor producido en el generador de vapor pasa por la turbina de vapor. Sin embargo, a menudo la turbina de vapor debe hacerse funcionar en un modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo, en el que solo se permite una pequeña cantidad de vapor (flujo másico bajo) a través de la turbina. En este caso, debido a las restricciones de producción de vapor en el lado del generador de vapor, el resto del vapor producido en el generador de vapor debe desviarse a través de una línea de derivación, evitando la turbina de vapor.

35

Por lo tanto, el flujo másico del vapor que pasa a través de la línea de derivación, el llamado vapor de derivación, es mucho mayor que el flujo másico del vapor que pasa a través de la turbina de vapor y aumenta debido a la atemperación (pulverización por condensado frío).

40

En una central de turbina de vapor típica, la línea de escape (que contiene el vapor proveniente del sistema de escape de la turbina de vapor) y la línea de derivación (que contiene el vapor de derivación) se combinan antes de ingresar al condensador principal, de modo que el vapor de escape de bajo flujo másico del escape de la turbina de vapor y el vapor de derivación de alto flujo másico se combinan antes de ingresar al condensador y luego se condensan juntos en el condensador principal, que se muestra en la figura 4. Sin embargo, esta configuración tiene varios inconvenientes, que posiblemente provoquen un fallo de la turbina de vapor.

45

50

El rendimiento del condensador principal se ve afectado considerablemente por la carga de vapor que ingresa al condensador. Cuanto más se carga el condensador, se crea peor vacío, es decir, mayor contrapresión. La contrapresión actúa en la línea de escape entre el escape de la turbina de vapor y el condensador principal. Dependiendo de la carga de vapor, la contrapresión puede ser relativamente alta y afecta el flujo volumétrico de vapor del escape de la turbina de vapor. La reducción de la carga de vapor conduciría a temperaturas más bajas en el condensador principal y, por lo tanto, a una contrapresión más baja.

55

60

En el modo de funcionamiento normal de la turbina de vapor, el flujo másico de vapor del escape de la turbina de vapor es relativamente alto. El flujo volumétrico de escape es lo suficientemente alto incluso si la contrapresión también es relativamente alta, por lo que, en principio, los efectos negativos son insignificantes en el modo de funcionamiento normal. Sin embargo, en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo de la turbina de vapor, la combinación de contrapresión alta junto con el flujo másico de vapor bajo crea un flujo volumétrico de escape bajo. En ese caso, puede ocurrir el llamado "flujo hacia atrás" en la raíz de la pala. El vapor es "succionado" del escape en la raíz de la pala y es transportado hacia la punta de la pala. Estos fenómenos, junto con la alta contrapresión, pueden provocar sobrecalentamiento y vibraciones de las palas de última etapa (LSB) y un deterioro general del material de las palas. Además, el vapor que es forzado de vuelta hacia las LSB puede contener gotas de agua, lo que puede provocar la erosión del material de las palas de última etapa de la turbina de vapor, provocando de nuevo el deterioro del material. El deterioro del material de las palas contribuye considerablemente a la reducción de la vida útil de la turbina de vapor.

65

Una solución común al inconveniente descrito anteriormente es una limitación aplicada en el modo de funcionamiento de mantenimiento/no producción/flujo bajo. Se proporciona un límite inferior del flujo másico a través de la turbina de

vapor o un límite superior del tiempo de funcionamiento de la turbina de vapor. Aunque tales limitaciones podrían haber sido suficientes hasta ahora, no son deseables hoy en día. La razón principal es que los sistemas de producción de energía variable (por ejemplo, de fuentes de energía renovable) se volvieron mucho más comunes como fuentes de energía de entrada para sistemas como las centrales eléctricas de turbina que en el pasado. La energía de entrada variable aumenta la necesidad de modos de operación de carga baja. Por lo tanto, la aplicación de tales limitaciones no es deseable y la no aplicación conduce al deterioro del material de las palas de última etapa y, en consecuencia, a la reducción de la vida útil de una turbina.

En general, la principal ventaja de la presente invención es una ampliación del rango operativo de la turbina de vapor en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo, de modo que se superan las limitaciones actuales en el flujo másico mínimo o el tiempo máximo de funcionamiento en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo.

Los documentos EP2980474 A1 y US2014/165565 A1 divulgan las características técnicas del preámbulo de la reivindicación independiente 1.

Divulgación de la invención

El sistema de derivación según la invención puede implementarse en cualquier turbina de vapor de baja presión y/o central de turbina de vapor.

La solución presentada se aplica principalmente al funcionamiento en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo. Aunque generalmente no es necesario considerar estos aspectos en el modo de funcionamiento, en principio, la solución presentada puede usarse en cualquier modo, donde al menos una parte del vapor se desvía a través de la línea de derivación.

El objetivo de la presente invención es superar los inconvenientes descritos anteriormente al proporcionar un sistema de derivación con medios de condensación de vapor adicionales, lo que permite la reducción del flujo másico del vapor que ingresa al condensador de superficie principal, la reducción de la presión en el condensador principal, la reducción de la contrapresión en el sistema de escape y la reducción del deterioro del material de las palas de última etapa, ampliando así el rango de funcionamiento del modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo.

Cuando el vapor de escape de bajo flujo másico del escape de la turbina de vapor y el vapor de derivación de alto flujo másico se combinan antes de ingresar al condensador y luego se condensan juntos en el condensador principal, la presión en el condensador aumenta dependiendo de la cantidad de vapor desviado hasta la presión nominal, es decir, la presión en un modo de funcionamiento típico, o incluso superior, y se produce el inconveniente mencionado anteriormente. Sin embargo, al proporcionar un sistema de derivación con medios de condensación de vapor adicionales, la presión en el condensador principal se reduce entre un 40 % y un 60 % de la presión nominal, lo que permite eliminar los efectos no deseados o, al menos, reducirlos significativamente, porque el sistema de derivación con al menos unos medios de condensación de vapor adicionales permite que el alto flujo másico de vapor de derivación, o al menos una parte importante del mismo, se enfríe y condense por separado del vapor de escape de bajo flujo másico.

La línea de escape del escape de la turbina de vapor termina directamente en el condensador principal. La línea de derivación para transportar el vapor de alto flujo másico desde el generador de vapor está separada de la línea de escape, es decir, no está conectada a la línea de escape antes de ingresar al condensador principal. En cambio, la línea de derivación comprende al menos unos medios de condensación de vapor adicionales, de manera que el vapor de derivación de alto flujo másico, o al menos una parte importante del mismo, se enfría y condensa por separado del vapor de escape de bajo flujo másico. Por lo tanto, la carga de vapor que ingresa al condensador de superficie principal corresponde al vapor de escape de bajo flujo másico del escape de la turbina de vapor únicamente y el vapor de derivación de alto flujo másico se enfría y condensa por separado. Como resultado, el condensador de superficie principal no se sobrecarga y la contrapresión creada es menor.

Por lo tanto, el vapor generado en la central eléctrica durante el modo de flujo bajo de la turbina de vapor de baja presión se encuentra en el modo de flujo bajo procesado en dos procesos paralelos: el vapor de escape proveniente del escape de la turbina de vapor de baja presión a través de la línea de escape se condensa en un condensador principal y el vapor de derivación proveniente del generador de vapor a través de la línea de derivación se condensa en medios de condensación de vapor adicionales, por separado del vapor de escape.

Mientras que la presión en el condensador principal permanecerá en el intervalo del 40 % al 60 % como se indicó anteriormente, la presión en los medios de condensación adicionales puede ser mayor, por ejemplo 0,5 - 3 bar, pero puede ser incluso mayor. En general, la presión en los medios de condensación adicionales depende del tipo de medios de condensación y de los parámetros operativos recomendados por un fabricante. Cuanto mayor es la presión, menores son los requisitos en cuanto al tamaño de los medios de condensación. Además, con la presión más baja de, por ejemplo, 0,5 - 1 bar, los requisitos en cuanto a la resistencia de las paredes de los medios de condensación adicionales también son menores.

Los medios de condensación de vapor adicionales tienen que estar conectados a un sistema de refrigeración para enfriar el vapor de derivación que ingresa a los medios de condensación de vapor adicionales desde la línea de derivación. El sistema de refrigeración comprende unos medios de refrigeración para enfriar un medio de refrigeración y una línea de refrigeración para transportar un medio de refrigeración en un sistema de refrigeración entre los medios de refrigeración y los medios de condensación de vapor adicionales.

Los medios de refrigeración pueden comprender una torre de refrigeración típica, donde una pequeña parte del medio de refrigeración se evapora y el medio se enfría, o comprende un intercambiador de calor, donde el medio de refrigeración se enfría con aire. Alternativamente, el condensado puede usarse directamente como medio de refrigeración, en cuyo caso, el condensador principal es un condensador de contacto directo. En aún otra alternativa, los medios de refrigeración pueden comprender un suministro de agua natural directo o cualquier otro suministro de agua adecuado. En este caso, no hay torre de refrigeración en el sistema de refrigeración, porque el agua se suministra directamente desde una fuente natural.

Aunque los medios de condensación adicionales pueden estar provistos de su propio sistema de refrigeración, en una realización preferida, están conectados al sistema de refrigeración del condensador principal, en el que el sistema de refrigeración del condensador principal comprende la línea de refrigeración que conecta el condensador principal con los medios de refrigeración, de manera que el medio de refrigeración, por ejemplo, agua, ingresa al condensador principal para enfriar el vapor en el condensador principal.

En el sistema de refrigeración del condensador principal, el medio de refrigeración tiene cierta temperatura de entrada en la entrada del condensador principal cuando ingresa al condensador principal y una cierta temperatura de salida más alta en la salida del condensador principal cuando sale del condensador principal y vuelve a los medios de refrigeración.

La línea de derivación comprende los medios de condensación de vapor adicionales en forma de un condensador adicional, que se coloca de manera separada de la línea de escape y del condensador principal.

El condensador adicional está conectado al sistema de refrigeración, preferentemente, al sistema de refrigeración del condensador de superficie principal.

Cuando se conecta al sistema de refrigeración del condensador principal, el condensador adicional se puede conectar al condensador principal en serie o en paralelo.

En el caso de conexión en serie, el condensador adicional se coloca en la salida del medio de refrigeración del condensador principal, de modo que la temperatura de entrada del medio de refrigeración que ingresa al condensador adicional corresponde a la temperatura de salida del medio de refrigeración que sale del condensador principal. Primero, un vapor de escape de bajo flujo másico se enfría en el condensador principal (el medio de refrigeración proviene directamente de los medios de refrigeración, por ejemplo, una torre de refrigeración, y tiene la temperatura más baja posible), luego el vapor de derivación se enfría en el condensador adicional (la temperatura del medio de refrigeración es más alta que cuando proviene directamente de los medios de refrigeración, pero sigue siendo suficiente para enfriar el vapor de derivación), y solo entonces el medio de refrigeración regresa a los medios de refrigeración para enfriarse.

Alternativamente, la conexión en paralelo permite que tanto el vapor de escape en el condensador principal como el vapor de derivación en el condensador adicional sean condensados por un medio de refrigeración proveniente directamente de los medios de refrigeración. De esta forma, tanto el condensador principal como el adicional reciben el medio más frío posible, mejorando así la condensación del vapor de escape de bajo flujo másico en el condensador principal, así como la condensación del vapor de derivación en el condensador adicional. La salida del condensador principal y la salida del condensador adicional conducen de vuelta a los medios de refrigeración; pueden conducir de vuelta a los medios de refrigeración por separado, o pueden combinarse antes de ingresar a los medios de refrigeración.

En cualquier caso, el condensado producido en el condensador adicional se devuelve para continuar el ciclo principal, preferiblemente después de haber sido combinado con el condensado del condensador principal.

El vapor de derivación de alto flujo másico se enfría y condensa por separado, de modo que la carga de vapor que ingresa al condensador de superficie principal corresponde al vapor de escape de bajo flujo másico del escape de la turbina de vapor únicamente. Como resultado, el condensador de superficie principal no se sobrecarga y la contrapresión creada es considerablemente menor. A su vez, se amplía el rango de funcionamiento de la turbina de vapor de baja presión en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo.

En otra realización, los medios de condensación de vapor adicionales también pueden comprender, además del condensador adicional, una bomba de calor. En esta realización, la línea de derivación puede dividirse en una primera parte y una segunda parte, siendo la primera parte y la segunda parte dos líneas separadas, comprendiendo la primera parte el condensador adicional y comprendiendo la segunda parte una bomba de calor. Alternativamente, el

condensador adicional puede integrarse como parte de la bomba de calor. En cualquier caso, parte del vapor de derivación se dirige al condensador adicional y parte del vapor de derivación se dirige a la bomba de calor, impulsándose la bomba de calor por el vapor de derivación.

- 5 La cantidad y las propiedades del vapor de derivación redirigido a través de la bomba de calor pueden controlarse mediante una válvula colocada antes de que ingrese a la bomba de calor.

10 La bomba de calor se coloca de manera separada de la línea de escape y del condensador principal. La bomba de calor está conectada a un sistema de refrigeración, preferiblemente al sistema de refrigeración del condensador de superficie principal. En la bomba de calor, el calor se absorbe del medio de refrigeración, de modo que se enfría. La bomba de calor transfiere el calor absorbido a la parte de retorno de la línea de refrigeración, donde el medio de refrigeración regresa a los medios de refrigeración.

15 El medio de refrigeración enfriado por los medios de refrigeración pasa a través de la bomba de calor antes de ingresar al condensador principal. Por tanto, la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal después de pasar por la bomba de calor es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal directamente desde los medios de refrigeración, es decir, incluso más baja que en las otras realizaciones. La diferencia de temperatura entre el medio de refrigeración que ingresa a la bomba de calor y sale de la bomba de calor puede ser de hasta 20 grados centígrados, preferiblemente de entre 5 y 15 grados, probablemente unos 10 grados.

25 El condensador adicional puede conectarse al sistema de la misma manera que se ha descrito anteriormente, es decir, conectarse preferiblemente al sistema de refrigeración del condensador de superficie principal en paralelo o en serie. Cuando se conecta en serie, debe conectarse en la salida del medio de refrigeración del condensador principal para no calentar el medio de refrigeración antes de ingresar al condensador principal.

30 La línea de refrigeración que contiene el medio de refrigeración directamente desde los medios de refrigeración se divide preferiblemente en dos líneas paralelas: la "línea de refrigeración de la bomba de calor" y la "línea de refrigeración del condensador".

El medio de refrigeración de la "línea de refrigeración de la bomba de calor" pasa únicamente a través de la bomba de calor, de modo que la bomba de calor se enfría y vuelve directamente a los medios de refrigeración.

35 Cuando el condensador principal y el condensador adicional están conectados en serie, el medio de refrigeración de la "línea de refrigeración del condensador" pasa primero a través de la bomba de calor, luego a través del condensador de superficie principal y finalmente a través del condensador adicional antes de regresar a los medios de refrigeración. Por lo tanto, el medio de refrigeración se enfría primero en la bomba de calor. Entonces, teniendo una temperatura que es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal directamente desde los medios de refrigeración, el medio de refrigeración ingresa al condensador principal y enfría el vapor que pasa a través del condensador principal. Posteriormente, ingresa al condensador adicional y enfría la parte del vapor de derivación dirigido a través de la primera parte de la línea de derivación al condensador adicional. Finalmente, después de haber pasado por el condensador adicional, se acopla preferentemente con el medio de refrigeración de la "línea de refrigeración de la bomba de calor" y vuelve a ser enfriado por los medios de refrigeración y devuelto nuevamente al ciclo.

45 Cuando el condensador principal y el condensador adicional están conectados en paralelo, el medio de refrigeración de la "línea de refrigeración del condensador" pasa primero a través de la bomba de calor. Luego pasa simultáneamente a través del condensador de superficie principal y a través del condensador adicional antes de volver a ser enfriado por los medios de refrigeración. Por lo tanto, el medio de refrigeración se enfría primero en la bomba de calor. Entonces, teniendo una temperatura que es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal directamente desde los medios de refrigeración, el medio de refrigeración ingresa al condensador principal y al condensador adicional simultáneamente, de modo que el vapor de baja masa que pasa a través del condensador principal y parte del vapor de derivación dirigido a través del condensador adicional se enfrían mediante el medio de refrigeración de la misma temperatura, la más baja posible. Finalmente, la "línea de refrigeración del condensador" se acopla preferentemente con el medio de refrigeración de la "línea de refrigeración de la bomba de calor" y vuelve a ser enfriado y devuelto nuevamente al ciclo.

60 A medida que la energía del vapor de derivación se aplica para impulsar la bomba de calor, el vapor de derivación se enfría y se condensa, y se devuelve al sistema. La parte restante del vapor de derivación se enfría y se condensa por el condensador adicional. El condensado del condensador adicional preferiblemente se combina con el condensado del condensador principal. Luego, el condensado se devuelve al ciclo principal.

65 Esta realización es especialmente ventajosa, porque la gran cantidad de energía contenida en el vapor de derivación puede usarse en lugar de perderse, lo que suele ser el caso en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo. Además, la carga de vapor que ingresa al condensador de superficie principal corresponde al vapor de escape de bajo flujo másico del escape de la turbina de vapor únicamente y se enfría mediante un medio de refrigeración de una

temperatura que es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal directamente desde los medios de refrigeración. Como resultado, el condensador de superficie principal no se sobrecarga y la contrapresión creada es considerablemente menor. A su vez, el rango de funcionamiento de la turbina de vapor de baja presión en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo se vuelve más amplio.

Además, la disposición que habilita la bomba de calor puede ser especialmente beneficiosa para un sistema con fluctuaciones esperadas de la temperatura del medio de refrigeración. Como se describirá en el ejemplo 4, estas fluctuaciones pueden hacer que la presión en el condensador principal aumente hasta valores relativamente altos, por ejemplo, incluso hasta la presión nominal, es decir, la presión del modo de funcionamiento normal. El acoplamiento de la bomba de calor en el sistema permite que la temperatura del medio de refrigeración disminuya a un nivel más bajo. Además, también permite que la temperatura del medio de refrigeración sea relativamente constante, de manera que se eliminan al menos fluctuaciones importantes.

En un ejemplo, la línea de derivación puede comprender solo la bomba de calor. La bomba de calor se puede conectar al sistema sustancialmente de la misma manera que se ha descrito anteriormente, es decir, al sistema de refrigeración del condensador principal.

En este ejemplo, el vapor de derivación se dirige a través de la bomba de calor, impulsándose la bomba de calor por el vapor de derivación, de modo que el vapor de derivación se enfría y se condensa a medida que la energía del vapor de derivación se aplica para impulsar la bomba de calor.

El medio de refrigeración desde los medios de refrigeración pasa a través de la bomba de calor antes de ingresar al condensador principal, de modo que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador principal directamente desde los medios de refrigeración.

En cualquier caso, el condensado producido por los medios de condensación de vapor adicionales se devuelve para continuar el ciclo principal. Preferiblemente, el condensado se combina con el condensado producido por el condensador principal. En una realización, los medios de condensación de vapor adicionales pueden estar conectados a un tanque de condensado del condensador principal mediante una línea de condensado, de modo que el condensado producido por los medios de condensación de vapor adicionales se combine con el condensado del condensador principal antes de ser devuelto al sistema.

Preferiblemente, los medios de condensación de vapor adicionales y/o la línea de condensado pueden comprender además medios para controlar las propiedades del condensado drenado de los medios de condensación de vapor adicionales. En particular, puede habilitarse unos medios de reducción de presión para equilibrar la presión en los medios de condensación de vapor adicionales con la presión del condensador principal, que es menor que la presión en los medios de condensación de vapor adicionales. Los medios de reducción de presión pueden comprender una válvula o cualesquiera otros medios adecuados. De manera similar, se puede habilitar unos medios de control de temperatura en el sistema.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 muestra una parte de la central de turbina de vapor con un sistema de reciclaje de vapor según una realización, donde los medios de condensación de vapor comprenden un condensador conectado en serie con el condensador de superficie principal.

La figura 2 muestra una parte de la central de turbina de vapor con un sistema de reciclaje de vapor según una realización, donde los medios de condensación de vapor comprenden un condensador conectado en paralelo con el condensador de superficie principal.

La figura 3 muestra una parte de la central de turbina de vapor con un sistema de reciclaje de vapor según una realización, donde los medios de condensación de vapor comprenden una combinación del condensador y la bomba de calor.

La figura 4 muestra una parte de la central de turbina de vapor con un sistema de reciclaje de vapor conocido con el condensador de superficie principal solamente.

Ejemplos de realizaciones preferidas

En los siguientes ejemplos, los medios de refrigeración comprenden una torre de refrigeración y se usa agua como medio de refrigeración, pero en principio podría usarse cualesquiera medios de refrigeración y medio de refrigeración adecuados.

Ejemplo 1

En el primer ejemplo, se describe la realización con el condensador adicional conectado en serie al condensador de superficie principal y se puede ver en la figura 1.

El condensador 6 adicional se coloca de manera separada tanto de la línea 21 de escape como del condensador 3 principal. Está conectado al sistema de refrigeración del condensador 3 de superficie principal y colocado en la salida 32 del medio de refrigeración desde el condensador 3 principal, de forma que la temperatura de entrada del medio de refrigeración que ingresa al condensador 6 adicional corresponde a la temperatura de salida del medio de refrigeración que sale del condensador 3 principal.

Primero, un vapor de escape de bajo flujo másico se enfría en el condensador 3 principal (el medio de refrigeración proviene directamente de la torre 4 de refrigeración y, por lo tanto, tiene la temperatura más baja posible en esta realización), luego el vapor de derivación se enfría en el condensador 6 adicional (la temperatura del medio de refrigeración es más alta que cuando proviene directamente de la torre 4 de refrigeración, pero todavía es suficiente para enfriar el vapor de derivación), y solo entonces el medio de refrigeración regresa a la torre 4 de refrigeración para enfriarse.

El condensado producido en el condensador 6 adicional se envía, a través de una línea 8, al tanque 10 de condensado del condensador 3 principal para ser combinado con el condensado producido por el condensador 3 principal y devuelto al ciclo.

El vapor de derivación de alto flujo másico se enfría y condensa por separado, de modo que la carga de vapor que ingresa al condensador 3 de superficie principal corresponde al vapor de escape de bajo flujo másico del escape 2 de la turbina 1 de vapor únicamente. Como resultado, el condensador 3 de superficie principal no se sobrecarga y la contrapresión creada es considerablemente menor. A su vez, se amplía el rango de funcionamiento de la turbina de vapor de baja presión en el modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo.

Ejemplo 2

En el segundo ejemplo, se describe la realización con el condensador 6 adicional conectado en paralelo al condensador 3 de superficie principal y se puede ver en la figura 2.

El principio del sistema de derivación en el ejemplo 2 es el mismo que en el ejemplo 1, es decir, el vapor de derivación de alto flujo másico se enfría y se condensa por separado, y la carga de vapor que ingresa al condensador 3 de superficie principal corresponde al vapor de escape de bajo flujo másico desde el escape 2 de la turbina 1 de vapor solamente. El condensador 3 de superficie principal no está sobrecargado y la contrapresión creada es considerablemente menor.

De nuevo, el condensador 6 adicional se coloca de manera separada tanto de la línea 21 de escape como del condensador 3 principal. Sin embargo, existe una diferencia en el enfriamiento del condensador 3 principal y el condensador 6 adicional. La conexión en paralelo permite que tanto el vapor de escape en el condensador 3 principal como el vapor de derivación en el condensador 6 adicional sean condensados por un medio de refrigeración proveniente directamente de la torre 4 de refrigeración, proporcionando así una temperatura más baja del medio de refrigeración para la condensación del vapor de escape de bajo flujo másico en el condensador 3 principal, así como la condensación del vapor de derivación en el condensador 6 adicional.

La ventaja de esta realización, en comparación con la realización del ejemplo 1, es que hay una menor pérdida de presión en el sistema de refrigeración, por lo que el consumo de energía final de las bombas de circulación de agua de refrigeración (consumo de energía necesario para hacer funcionar el sistema de refrigeración) es menor.

Ejemplo 3

En el tercer ejemplo, se describe la realización con el condensador 6 adicional en combinación con la bomba 7 de calor y se puede ver en la figura 3.

En este caso, la línea 5 de derivación se divide en una primera parte 5a y una segunda parte 5b, siendo la primera parte y la segunda parte 5a, 5b dos líneas separadas. En el ejemplo, la primera parte 5a comprende el condensador 6 adicional y la segunda parte 5b comprende una bomba 7 de calor, de modo que parte del vapor de derivación se dirige al condensador 6 adicional y parte del vapor de derivación se dirige a la bomba 7 de calor.

El condensador 6 adicional se puede conectar al sistema de la misma manera que se ha descrito anteriormente en el ejemplo 1. El condensador 6 adicional está conectado al sistema de refrigeración del condensador 3 de superficie principal, en serie con respecto al condensador 3 principal, en este ejemplo, de manera que está conectado en la salida 32 del medio de refrigeración del condensador 3 principal para no calentar el medio de refrigeración antes de ingresar al condensador 3 principal.

Sin embargo, el condensador 6 adicional también se puede conectar en paralelo al condensador 3 principal, como se

describe en el ejemplo 2.

Alternativamente, el condensador 6 adicional puede integrarse como parte de la bomba 7 de calor.

- 5 La bomba 7 de calor se coloca de manera separada de la línea 21 de escape y del condensador 3 principal. La cantidad y las propiedades del vapor de derivación redirigido a través de la bomba de calor pueden controlarse mediante una válvula (no mostrada) colocada preferiblemente en una entrada de la bomba 7 de calor.
- 10 La bomba 7 de calor está conectada al sistema de refrigeración del condensador 3 de superficie principal.
- 10 La línea de refrigeración que contiene el medio de refrigeración directamente desde la torre 4 de refrigeración se divide en dos líneas paralelas: la "línea 41a de refrigeración del condensador" y la "línea 41b de refrigeración de la bomba de calor".
- 15 El medio de refrigeración de la "línea 41a de refrigeración del condensador" pasa primero a través de la bomba 7 de calor, luego a través del condensador 3 de superficie principal y finalmente a través del condensador 6 adicional antes de regresar a la torre 4 de refrigeración. Por lo tanto, el medio de refrigeración se enfría primero en la bomba 7 de calor. Entonces, teniendo una temperatura que es más baja que la temperatura del medio de refrigeración que ingresa al condensador 3 principal directamente desde la torre 4 de refrigeración, es decir, más baja que en realizaciones anteriores, el medio de refrigeración ingresa al condensador 3 principal y enfría el vapor que pasa a través del condensador 3 principal. La diferencia de temperatura entre el medio de refrigeración que ingresa a la bomba 7 de calor y sale de la bomba 7 de calor puede ser de hasta 20 grados centígrados, preferiblemente de entre 5 y 15 grados, probablemente unos 10 grados.
- 20
- 25 Posteriormente, el medio de refrigeración ingresa al condensador 6 adicional y enfría la parte del vapor de derivación dirigido a través de la primera parte 5a de la línea 5 de derivación al condensador 6 adicional.
- Finalmente, después de haber pasado por el condensador 6 adicional, el medio de refrigeración se acopla preferentemente con el medio de refrigeración de la "línea 41b de refrigeración de la bomba de calor" (descrita a continuación) y vuelve a la torre 4 de refrigeración para ser enfriado y devuelto nuevamente al ciclo.
- 30
- El medio de refrigeración de la "línea 41b de refrigeración de la bomba de calor" pasa a través de la bomba 7 de calor solamente, para enfriar la propia bomba 7 de calor (es decir, para eliminar la energía térmica acumulada). Después de haber pasado por la bomba 7 de calor, el medio de refrigeración de la "línea 41b de refrigeración de la bomba de calor" vuelve directamente a la torre 4 de refrigeración.
- 35
- En este ejemplo, el condensado producido en la bomba 7 de calor se envía, a través de la línea 9, al tanque 11 de condensado del condensador 6 adicional, y luego, junto con el condensado producido en el condensador 6 adicional, se envía, a través de una línea 8, al tanque 10 de condensado del condensador 3 principal para ser combinado con el condensado producido por el condensador 3 principal y devuelto al ciclo. Las líneas 8 y 9 de condensado también se pueden colocar de manera separada o en cualquier configuración adecuada para devolver el condensado al ciclo.
- 40

Ejemplo 4

- 45 En la siguiente sección, se proporcionan los parámetros calculados del flujo de vapor, que sustentan el efecto de la implementación de los medios de condensación adicionales en el sistema de derivación de la central de turbina de vapor.
- Los resultados se proporcionan para una turbina de vapor de 250 MW que comprende una primera parte HP/IP (alta presión, presión intermedia) y una segunda parte simétrica LP (baja presión). Sin embargo, la solución presentada no se limita a este tipo particular de turbina.
- 50
- Los parámetros del vapor en el escape de la turbina de vapor se resumen en la tabla 1 a continuación. Los parámetros presentados comprenden el flujo másico, la presión, la densidad, el flujo volumétrico y el flujo volumétrico relativo al flujo volumétrico de la carga nominal de referencia.
- 55

Tabla 1

Fila n.º	Carga	Flujo másico del vapor de escape	Presión del vapor de escape	Densidad del vapor de escape	Flujo volumétrico del vapor de escape	Flujo de escape volumétrico relativo al flujo de escape volumétrico de la carga nominal de referencia
		m [kg/s]	p [bar]	P [m³/kg]	V [m³/s]	V/V ₀ [%]
1	Carga nominal de referencia	123	0,0409	0,0328	3750	100,0 %
2	Carga mínima de referencia	17,11	0,0569	0,034	503	13,4 %
3	Ejemplo 1	17,11	0,0222	0,0132	1296	34,6 %
4	Ejemplo 2	17,11	0,0246	0,0147	1164	31,0 %
5	Ejemplo 3	17,11	0,0159	0,009501	1801	48,0 %

La fila n.º 1 describe los parámetros de una carga nominal de referencia, es decir, la carga de condensación, que considera un modo de funcionamiento típico con el sistema de derivación deshabilitado y corresponde a un flujo másico nominal, una presión nominal p_0 , densidad nominal y flujo volumétrico nominal V_0 . El flujo másico es el mismo para la carga mínima de referencia y para los tres ejemplos dados y corresponde a un 14 % del flujo nominal, que es el flujo másico mínimo típico que ingresa al condensador principal.

En la fila n.º 2, se proporciona una carga mínima de referencia, que corresponde a una central de turbina de vapor típica, donde la línea de escape y la línea de derivación se combinan antes de ingresar al condensador principal, de modo que el vapor de escape de bajo flujo másico y el vapor de derivación de alto flujo másico se combinan antes de ingresar al condensador y luego se condensan juntos en el condensador principal como se muestra en la figura 4. Se puede observar que la presión en el condensador principal puede alcanzar valores incluso superiores a la presión nominal. Generalmente, la presión en el condensador principal aumenta según la cantidad de vapor desviado.

Las siguientes filas se refieren a los parámetros calculados para los ejemplos individuales: la fila n.º 3 se refiere a los parámetros del ejemplo 1, correspondientes a la realización con condensador adicional en conexión en serie. Los parámetros del ejemplo 2, correspondientes a la realización con condensador adicional en conexión en paralelo, se proporcionan en la fila n.º 4, y los parámetros del ejemplo 3, correspondientes a la realización que comprende una combinación del condensador adicional y la bomba de calor, se proporcionan en la fila n.º 5.

Comparando los parámetros de los ejemplos individuales con los parámetros de la carga mínima de referencia, se puede ver que la presión del vapor de escape es considerablemente más baja en los ejemplos que en el caso de la carga mínima de referencia, disminuye del 40 % al 60 % de una presión nominal p_0 .

En la tabla 2 se pueden ver más cálculos y varios escenarios. Los cálculos se basan en el supuesto de que el flujo másico de vapor mínimo típico ϵ_{ps} hacia el interior del condensador es el 14 % del flujo nominal, que el aumento de temperatura del agua de refrigeración ΔT_{cw} y la diferencia de temperatura terminal TTD del condensador principal dependen linealmente del flujo másico de vapor hacia el interior del condensador, y que la temperatura del agua de refrigeración t_{cw} a la entrada del condensador principal permanece constante. El último escenario de la tabla 2 - "Escenario basado en cambio de temperatura del agua de refrigeración", muestra cómo empeora la situación si no se cumple el último supuesto. Por ejemplo, en un escenario en el que el condensador, que se suponía que utilizaba una temperatura del agua de refrigeración de entrada de 20 °C (t_{cw}), se hace funcionar en la carga mínima de "verano" con un agua de refrigeración de 30 °C, la relación de presión mínima frente a presión nominal p_k/p_k puede aumentar hasta alrededor del 90 %. Sin embargo, la disposición sugerida por la presente invención es beneficiosa, especialmente la disposición que habilita la bomba de calor, porque permite que la temperatura del agua de refrigeración t_{cw} disminuya a un nivel inferior. Además, también permite que esta temperatura sea relativamente constante, de modo que al menos se eliminen fluctuaciones importantes.

Tabla 2

Análisis de sensibilidad de cargas mínimas del condensador

t_{cw} °C	ΔT_{cw} °C	TTD °C	eps %	ΔT_{cw} °C	TTD °C	T_{sat} °C	T_{sat} °C	pk bar	pk' bar	eps' %	pk'/pk %	pk'' bar	pk''/pk %
Sensibilidad a la temperatura del agua de refrigeración													
15	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	28,5	16,89	0,039	0,019	28,3%	49,4%	0,017	43,8%
20	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	33,5	21,89	0,052	0,026	27,6%	50,7%	0,023	45,2%
25	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	38,5	26,89	0,068	0,035	26,9%	52,0%	0,032	46,5%
30	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	43,5	31,89	0,089	0,047	26,3%	53,3%	0,042	47,8%
35	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	48,5	36,89	0,115	0,062	25,7%	54,5%	0,056	49,1%
40	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	53,5	41,89	0,147	0,082	25,2%	55,7%	0,074	50,4%
Sensibilidad al aumento de la temperatura del agua de refrigeración													
20	8	3,5	14,0%	1,12	0,49	31,5	21,61	0,046	0,026	25,1%	55,8%	0,023	50,6%
20	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	33,5	21,89	0,052	0,026	27,6%	50,7%	0,023	45,2%
20	12	3,5	14,0%	1,68	0,49	35,5	22,17	0,058	0,027	30,3%	46,2%	0,023	40,4%
Sensibilidad a TTD (diferencia de temperatura terminal) del condensador													
20	10	2	14,0%	1,4	0,28	32	21,68	0,048	0,026	25,7%	54,5%	0,023	49,2%
20	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	33,5	21,89	0,052	0,026	27,6%	50,7%	0,023	45,2%
20	10	5	14,0%	1,4	0,7	35	22,1	0,056	0,027	29,6%	47,3%	0,023	41,6%
Escenario basado en el cambio de la temperatura del agua de refrigeración													
t_{cw} °C	ΔT_{cw} °C	TTD °C	eps %	ΔT_{cw} °C	TTD °C	T_{sat} °C	T_{sat} °C	pk bar	pk' bar	eos' %	pk'/pk %		
20	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	33,5	21,89	0,052	0,026				
25	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	38,5	26,89	0,068	0,035	15,3%	91,3%		
30	10	3,5	14,0%	1,4	0,49	43,5	31,89	0,089	0,047				

Leyenda de la tabla 2

t_{cw}	°C	Temperatura del agua de refrigeración a la entrada del condensador
ΔT_{cw}	°C	Aumento de temperatura del agua de refrigeración nominal a través del condensador
TTD	°C	Diferencia de temperatura terminal nominal del condensador
eps	%	Relación de flujos másicos de vapor a la entrada del condensador (flujo mínimo típico frente a flujo nominal)
$\Delta T_{cw}'$	°C	Aumento de la temperatura del agua de refrigeración a través del condensador en la carga mínima
TTD'	°C	Diferencia de temperatura terminal del condensador en la carga mínima
T_{sat}	°C	Temperatura de saturación en el condensador en carga nominal
T_{sat}'	°C	Temperatura de saturación en el condensador en carga mínima
p_k	bar	Presión en el condensador en carga nominal (derivada de T_{sat})
p_k'	bar	Presión en el condensador en carga mínima (derivada de T_{sat}')
eps'	%	"Relación de relaciones" de flujo másico frente a la presión del condensador. Se correlaciona bien con la proporción de los flujos volumétricos de escape.
p_k'/p_k	%	Relación de presiones del condensador en cargas mínimas frente a nominales
p_k''	bar	Presión mínima hipotética en el condensador derivada únicamente de la temperatura del agua de refrigeración de entrada
p_k''/p_k	%	Relación de presiones del condensador: mínima hipotética frente a presión nominal

Además, volviendo a la tabla 1, el flujo volumétrico del vapor de escape es mucho mayor en los ejemplos individuales que en el caso de la carga mínima de referencia, lo que corresponde al flujo volumétrico relativo V/V_0 superior al 30 % para los ejemplos y un valor mucho menor de alrededor del 13 % para la carga mínima de referencia.

El valor del 30 % determina sustancialmente si el flujo hacia atrás se produce o no en el escape de la turbina de vapor. Por debajo del umbral, los efectos del contraflujo de vapor son considerables en el escape de la turbina de vapor y en la raíz de la pala de última etapa, como se describe en la literatura: según M. Gloger *et al.* (Designing of LP bladings for steam turbines, VGB Kraftwerkstechnik 69, n.º 8, agosto de 1989), una tensión dinámica de una pala de última etapa (determinada por la amplitud de tensión alterna de una punta de una pala en este caso) aumenta considerablemente cuando el flujo volumétrico disminuye por debajo del 30 %. Esto fue confirmado también más tarde por Sigg *et al.* (Numerical and experimental investigation of a low-pressure steam turbine during windage, Proc. IMechE Vol. 223 Parte A: J. Power and Energy), donde se observó que por debajo del 34 % del flujo másico relativo, se inicia un contraflujo en el buje, que empeora con la disminución del flujo másico relativo.

Estos efectos se reducen fuertemente cuando el flujo volumétrico relativo V/V_0 está por encima del umbral del 30 %.

La relación entre la presión en el condensador principal y el flujo másico que ingresa al condensador está en el intervalo del 25 % al 30 %, lo cual está bien correlacionado con el flujo volumétrico relativo. Al considerar ejemplos individuales, y en base a los supuestos mencionados anteriormente (consulte la tabla 2), los resultados están alrededor del límite donde comienza el régimen de ventilación problemático.

En el último escenario, cuando no se cumple el último supuesto, es decir, cuando la temperatura del agua de refrigeración no es constante, puede ocurrir que esta relación pueda disminuirse al 15 %, es decir, al régimen de ventilación problemático. Sin embargo, la disposición sugerida por la presente invención es beneficiosa, porque disminuye la presión en el condensador principal. Como ya se mencionó anteriormente, la disposición que habilita la bomba de calor puede ser especialmente ventajosa en este caso, porque permite que la temperatura del medio de refrigeración disminuya a un nivel inferior e incluso que sea relativamente constante, de modo que al menos se eliminen fluctuaciones importantes.

En conclusión, en las tres realizaciones presentadas (ejemplos 1, 2 y 3) la presión en el condensador principal es considerablemente menor en comparación con la solución conocida. Por otro lado, el flujo volumétrico relativo está por encima del 30 % en los tres casos, es decir, por encima de los regímenes de ventilación problemáticos. Así, mantener la presión del condensador principal entre el 40 % - el 60 % habilitando los medios de condensación de vapor adicionales permite disminuir, o incluso eliminar, los efectos no deseados antes descritos, reduciendo así el deterioro del material de las palas de última etapa, y ampliando así el rango de funcionamiento del modo de mantenimiento/no producción/flujo bajo.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de reciclaje de vapor para una central eléctrica que comprende un generador de vapor y una turbina (1) de vapor de baja presión, comprendiendo el sistema de reciclaje de vapor:
 - un condensador (3) principal,
 - un sistema de refrigeración,
 - una línea (21) de escape para transportar vapor de escape de bajo flujo másico desde un escape (2) de la turbina (1) de vapor de baja presión al condensador (3) principal, y
 - una línea (5) de derivación para transportar vapor de alto flujo másico desde el generador de vapor para condensación sin pasar por la turbina (1) de vapor de baja presión,
 - en el que la línea (5) de derivación está separada de la línea (21) de escape,
 - y en el que la línea (5) de derivación comprende al menos unos medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales,
 - caracterizado por que los medios de condensación de vapor adicionales comprenden un condensador adicional colocado de manera separada de la línea de escape y del condensador principal, y los medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales están conectados al sistema de refrigeración, y el sistema de refrigeración está adaptado para enfriar el vapor que ingresa al condensador (3) principal y el vapor que ingresa a los medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales.
2. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 1, en el que el sistema de reciclaje de vapor está configurado para tener una presión mínima en el condensador (3) principal del 40 % al 60 % de la presión nominal en el condensador (3) principal, en el que la presión nominal se define como la presión en el condensador (3) principal a la carga nominal.
3. Sistema de reciclaje de vapor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de refrigeración comprende unos medios (4) de refrigeración adaptados para enfriar un medio de refrigeración, y una línea (41) de refrigeración para transportar el medio de refrigeración en el sistema de refrigeración entre los medios (4) de refrigeración, el condensador (3) principal, y los medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales.
4. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 1, en el que el condensador (6) adicional está configurado para tener una presión de 0,5-3 bar.
5. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 1, en el que el condensador adicional se coloca en serie con respecto al condensador (3) principal en una salida (32) de la línea (41) de refrigeración del condensador (3) principal.
6. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 1, en el que el condensador (6) adicional se coloca en paralelo al condensador (3) principal.
7. Sistema de reciclaje de vapor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de condensación de vapor adicionales comprenden una bomba (7) de calor.
8. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 7, en el que la línea (5) de derivación comprende una primera parte (5a) y una segunda parte (5b), comprendiendo la primera parte el condensador (6) adicional y comprendiendo la segunda parte la bomba (7) de calor.
9. Sistema de reciclaje de vapor según la reivindicación 7 u 8, en el que la línea (5) de derivación comprende una válvula para controlar la cantidad de vapor de derivación que fluye hacia el interior de la bomba (7) de calor.
10. Central eléctrica, que comprende:
 - un generador de vapor,
 - una turbina de vapor de baja presión,
 - un sistema de escape de la turbina de vapor de baja presión, y

un sistema de reciclaje de vapor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

- 5 11. Método de procesamiento de un vapor generado en una central eléctrica durante un modo de flujo bajo de una turbina (1) de vapor de baja presión, utilizando el sistema de reciclaje de vapor según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende la etapa de
- condensar un vapor de escape en un condensador (3) principal,
- 10 caracterizado por que comprende, además, la etapa de
- condensar un vapor de derivación en al menos unos medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales por separado del vapor de escape, en el que los al menos unos medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales comprenden un condensador (6) adicional.
- 15 12. Método de procesamiento de un vapor según la reivindicación 11, en el que los medios (6, 7) de condensación de vapor adicionales comprenden una combinación del condensador (6) adicional y una bomba (7) de calor.







