

DESCRIPCIÓN

Nota: Texto basado en procesos automáticos de reconocimiento óptico de caracteres. Utilice la versión PDF para asuntos legales.

DISPOSITIVO POR CAVITACION PARA TRATAMIENTO DE LIQUIDOS

Campo tecnológico

El invento pertenece a dispositivos diseñados para procesar medios líquidos creando cavitación en una corriente para actuar sobre ella con el fin de cambiar direccionalmente sus propiedades, y puede usarse para llevar a cabo diversos procesos tecnológicos (modificación, molienda, dispersión, mezcla, emulsificación, homogeneización, activación, desinfección, calentamiento, etc.) que se producen en medios líquidos, en minería e industrias de petróleo, combustible, química, farmacéutica, alimentaria y otras industrias.

Estado anterior de la tecnología

Los dispositivos por cavitación para tratamiento de medios líquidos son ampliamente conocidos; su principio de funcionamiento se basa en la excitación de vibraciones hidrodinámicas en un par rotor-estátor con elementos de engranaje. Los requisitos para los dispositivos hidrodinámicos pueden variar significativamente, dependiendo del problema que se resuelva.

El grado de influencia sobre el medio líquido procesado en los dispositivos hidrodinámicos depende principalmente de tres parámetros principales: la velocidad del líquido en relación con la superficie sólida, el espacio entre las superficies sólidas y el tiempo que el líquido se encuentra en la zona de tratamiento. Los costos de energía para el procesamiento, además de los parámetros anteriores, también dependen de la densidad y la viscosidad del líquido.

Se conoce un dispositivo rotativo por cavitación hidrodinámica para tratamiento de medios líquidos, que comprende una carcasa con boquillas para suministrar y descargar el medio líquido procesado y una cámara de trabajo, dentro de la cual se instala coaxialmente un estátor, que contiene al menos una fila concéntrica de cavitadores, y un rotor montado en el eje de accionamiento que contiene cuchillas de bomba, y al menos una fila concéntrica de cavitadores, mientras que el número de cavitadores del rotor en la fila es un número primo de al menos 7 y aumenta en cada fila concéntrica posterior en una dirección del eje de accionamiento hacia la periferia [1].

La desventaja de este dispositivo es que el diseño es adecuado solo para operaciones con baja presión del líquido en la entrada. Con el aumento de la presión de entrada, al rotor se le transmite una fuerza significativa, que a su vez se transmite a la suspensión del rotor. Al mismo tiempo, se vuelve más complicado el diseño de la suspensión, aumenta el peso y disminuye la vida útil de los cojinetes de la suspensión. También es posible la falla de los cojinetes y soportes en caso de exceder la carga nominal máxima.

Lo más cercano al dispositivo presentado es el generador de cavitación, que comprende una carcasa con una cámara de trabajo interna y boquillas para suministrar y descargar líquido desde la cámara, un eje de accionamiento ubicado en la cámara y un activador rotor montado en el semieje, hecho en forma de disco en el que, a lo largo de las superficies normales a las laterales y a lo largo del radio, en pilones aerodinámicos se instalan cavitadores móviles que se superponen a la cámara de trabajo con algo de espacio libre con respecto a sus paredes finales, y en las

paredes finales de la cámara de trabajo, también en los pilones aerodinámicos se instalan los cavitadores fijos similares [2].

Las desventajas del dispositivo conocido según el prototipo incluyen lo siguiente: que no puede funcionar con una presión de entrada significativa, está diseñado para una baja productividad, solo hay una fila de cavitadores en el rotor y también una fila de cavitadores ubicados en la línea de diámetro en las paredes finales de la cámara. Como resultado de esto, solo una pequeña parte del volumen de la cámara se utiliza para procesar el líquido, lo que conduce a una disminución en la calidad del procesamiento. Además, la mayor parte del líquido en la cámara gira como un todo y no se somete a cavitación, es decir, no se logra la integridad del procesamiento. Asimismo, para llenar toda la cámara, es decir, para que el líquido pase de la entrada a la segunda parte de la cámara detrás del disco, el líquido debe circunvalar este disco por el borde exterior. Al mismo tiempo, parte de él se retira de la cámara a través del tubo de salida, sin ser sometido a cavitación, lo cual degrada la integridad y calidad del procesamiento de los medios líquidos y, en términos generales, reduce la efectividad de su tratamiento de cavitación.

Descubrimiento del invento

El objetivo del invento consiste en remediar estas desventajas y desarrollar un diseño efectivo de un dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos.

Su base estriba en la tarea de mejorar el dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, en el que no haya carga axial en los cojinetes de la suspensión del rotor cuando trabaje con exceso de presión en la entrada, lo que lleva a una simplificación del diseño del conjunto de cojinetes, disminución del peso total de la estructura y aumento de la seguridad y la vida útil del dispositivo por cavitación, así como al uso máximo del volumen de la cámara para el procesamiento y los efectos múltiples de cavitación sobre todo el volumen de líquido en una pasada, lo que aumenta la integridad y calidad del tratamiento del líquido, y en general aumenta la eficiencia del tratamiento de cavitación.

Este objetivo se logra gracias a que en el dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, que comprende una carcasa con una cámara de trabajo de forma cilíndrica y boquillas para suministrar y descargar líquido desde la cámara, el eje de accionamiento ubicado en la cámara y el rotor en forma de disco montado en él que, a lo largo de las superficies normales a las laterales y a lo largo del radio del disco, se instalan cavitadores móviles que se superponen a la cámara de trabajo dejando espacio libre con respecto a sus paredes finales, y también se instalan cavitadores fijos similares en las paredes finales de la cámara de trabajo, con su respectivo desplazamiento radial uno con respecto al otro; en este invento, en el disco del rotor cerca del semieje están hechos unos orificios con la sección transversal total no menor que el área de la sección transversal de la boquilla de entrada, los cavitadores móviles y fijos están hechos en forma de paralelepípedo y están dispuestos en filas concéntricas, cuyo número es al menos tres, mientras que la distancia entre los cavitadores de una fila concéntrica no es menos de 5 veces menor que la longitud del cavitador.

Además, en algunos casos, el uso de este dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos difiere en que en las paredes laterales de la cámara desde diferentes lados se instalan boquillas de entrada para suministrar líquido por separado a cada mitad de la cámara.

Como resultado del uso de este invento, es posible obtener un resultado técnico que consiste en eliminar la carga axial sobre los cojinetes de la suspensión cuando se trabaja con una presión de fluido excesiva en la entrada, lo cual permite simplificar el diseño del conjunto de cojinetes, reducir el peso total de la estructura y aumentar la seguridad del dispositivo por cavitación, mejorar la calidad del procesamiento debido a los múltiples efectos de cavitación en todo el volumen de líquido en una pasada, aumentando la integridad del procesamiento debido al uso máximo del volumen de la cámara.

El resultado técnico obtenido, como lo demuestran los registros de prueba, solo puede realizarse mediante un conjunto interdependiente de todas las características esenciales de este dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos especificados en la fórmula del invento.

La eliminación de la carga axial sobre los cojinetes de la suspensión se logra haciendo orificios en el disco del rotor cerca del eje, cuya sección transversal total no es menor que el área de la sección transversal de la boquilla de entrada. Como resultado, hay un flujo libre del líquido procesado a ambos lados del disco del rotor en el que se encuentran los cavitadores, y por lo tanto la presión del líquido es la misma en ambos lados, y no hay carga axial en la suspensión cuando se trabaja con sobrepresión en la entrada. Esto conduce a una simplificación del diseño de la cámara y la suspensión, reduciendo el peso total de la estructura y aumentando la seguridad del dispositivo por cavitación. Además, gracias a tales orificios el líquido ingresa a ambas partes de la cámara de trabajo cerca del rotor y pasa a la boquilla de salida solo entre los cavitadores móviles y fijos a través de todas las filas concéntricas, lo cual ayuda a aumentar la integridad del tratamiento del líquido, e implementar múltiples efectos de cavitación en el volumen total de líquido en una pasada lo cual, a su vez, se debe a los cavitadores móviles y fijos hechos en forma de paralelepípedo, que se encuentran en el rotor y las paredes finales de la cámara de trabajo en filas concéntricas con un desplazamiento radial entre sí, con una distancia entre los cavitadores de una fila concéntrica no menos de 5 veces menor que la longitud del cavitador. Esto ayuda a mejorar la calidad y la integridad del procesamiento de los medios líquidos.

Breve descripción de los planos

El invento se especifica en el plano, donde la figura 1 muestra la vista general del dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos con una boquilla de entrada para la operación; la figura 2 es una vista general del dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos con dos boquillas de entrada para la operación; la figura 3 muestra la sección transversal del dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, perpendicular al eje de rotación del rotor a lo largo de la línea A - A, fig. 1, 2; la figura 4 presenta un gráfico de la relación entre el número de cavitación para el agua dependiendo de la presión y la velocidad en la periferia del rotor; la figura 5 muestra el diagrama de conexión del dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, que se utilizó para probar su rendimiento.

Posibilidad de desarrollar el invento

El dispositivo por cavitación para procesar medios líquidos (ver fig. 1, 2, 3) contiene una carcasa 1 con cojinetes de suspensión 2, una cámara de trabajo 3 de forma cilíndrica, en la que se dispone una boquilla de entrada 4 y una boquilla de salida 5 para suministrar y descargar líquido. En la cámara 3 se dispone el eje de accionamiento 6, en el que está montado el rotor 7, hecho en forma de disco, en el que a lo largo de las superficies normales a las laterales y a lo largo del radio se instalan cavitadores móviles 8, que se superponen a la cámara de trabajo 3 dejando

espacio libre con respecto a sus paredes finales 9. En las paredes finales 9 de la cámara de trabajo 3 también se instalan cavitadores fijos similares 10, con el respectivo desplazamiento entre sí a lo largo del radio. En el disco del rotor 7, cerca del eje 6, se encuentran los orificios 11, con la sección transversal total no menor que el área de la sección transversal de la boquilla de entrada 4. Los cavitadores móviles 8 y los fijos 10 están hechos en forma de paralelepípedo y están dispuestos en filas concéntricas, cuyo número es al menos tres (ver fig. 3). Al mismo tiempo, la distancia entre los cavitadores 8, 10 de una fila concéntrica no es menos de 5 veces menor que la longitud del cavitador (ver fig. 3).

En algunos casos, el diseño del dispositivo por cavitación propuesto puede tener a lo largo del eje de la cámara de trabajo 3 una boquilla de entrada 4 (ver figura 1) o dos boquillas de entrada 4, instaladas en las paredes finales 9 de la cámara 3 en sus diferentes lados (ver fig. 2), donde están hechos los orificios para suministrar líquido por separado a cada mitad de la cámara. El número y la configuración de las boquillas de entrada 4 (ver fig. 1, 2) de este dispositivo por cavitación depende de la viscosidad dinámica del fluido tratado, es decir, la propiedad del fluido con resistencia mínima para igualar las caídas de presión. Por lo tanto, cuando se procesen líquidos con viscosidad dinámica de menos de 100 cSt, es preferible usar una boquilla de entrada 4 a lo largo del eje del rotor 7 (ver fig. 1), y cuando se procesen líquidos con viscosidad de más de 100 cSt, usar dos boquillas de entrada 4 (ver fig. 2) para suministrar líquido por separado a cada mitad de la cámara de trabajo 3.

El disco del rotor 7 divide la cámara de trabajo 3 en dos partes iguales. La rotación del rotor 7 se lleva a cabo a través del eje 6. Cerca del eje 6, se hacen orificios 11 en el disco del rotor 7, centralmente simétricos con respecto al eje de rotación, para el paso de líquido de una mitad de la cámara a la otra. El área total de los orificios 11 no debe ser menor que el área de la boquilla de entrada 4 para que la resistencia dinámica sea mínima durante el paso de la mitad del fluido total desde el espacio frente al disco al espacio detrás del disco.

Aplicabilidad industrial

El dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos que presentamos puede implementarse repetidamente en los campos petroquímico, químico y de otro tipo en la producción industrial en que se usan los dispositivos estándar conocidos, para obtener el resultado técnico proyectado.

Este dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos con una boquilla de entrada funciona de la siguiente manera (ver fig. 1, 3).

El fluido procesado bajo presión a través de la boquilla de entrada 4 ingresa a la parte de la cámara de trabajo 3 frente al rotor 7, donde se divide en dos corrientes: la mitad del líquido permanece en el espacio frente al rotor 7, y la otra mitad a través de los orificios 11 en el disco del rotor 7 ingresa al espacio detrás del rotor 7 de la cámara de trabajo 3. Debido al exceso de presión en la entrada y al efecto centrífugo del rotor giratorio 7, el líquido fluye en dos corrientes a través de los espacios entre los cavitadores móviles 8 y los cavitadores fijos 10 y se somete repetidamente a los efectos de la cavitación y mezcla. Después de alcanzar la periferia del rotor 7, el fluido tratado se retira de la cámara 3 a través de la boquilla de salida 5.

Como la resistencia dinámica del fluido en el espacio entre los cavitadores móviles 8 del rotor 7 y los cavitadores fijos 10 de las paredes finales 9 de la cámara de trabajo 3 excede

significativamente la resistencia dinámica del paso del fluido a través de los orificios 1 1 en el rotor 7, las corrientes en la espacio de la cámara 3 delante del disco del rotor 7 y detrás del disco pueden considerarse prácticamente iguales. La cavitación en un fluido en movimiento se da como resultado de la reducción de la presión local, cuando se altera la integridad del flujo y en el líquido se forman vacíos de vapor, que colapsan con el aumento de presión. Las condiciones de cavitación dependen de las propiedades del fluido, la presión y la configuración de la superficie.

La corriente de cavitación se caracteriza por un parámetro adimensional: el número de cavitación. Para las bombas (los dispositivos de cavitación rotativa son similares a una bomba centrífuga), el número de cavitación está determinado por la fórmula [3]:

$$\sigma_v = (P_{\text{in}} - P_v(T)) / \rho V_p^2,$$

donde: σ_v es el número de cavitación, P_{in} es la presión de entrada, $P_v(T)$ es la presión de vapor saturado del líquido a cierta temperatura, ρ es la densidad del medio líquido, V es la velocidad de flujo en la periferia.

Se distinguen cuatro tipos de flujos dependiendo de σ_v :

1. Cavitación previa: flujo continuo (homogéneo) para $\sigma_v > 1$.
2. Cavitación: flujo (bifásico) a $\sigma_v \sim 1$.
3. El de película: con separación estable del área de cavitación de otro flujo continuo (cavitación de película) a $\sigma_v < 1$.
4. Supercavitación - con $\sigma_v \ll 1$.

La Tabla 1 muestra los valores del número de cavitación σ_v para el agua, dependiendo de la presión y la velocidad en la periferia del rotor.

Tabla 1

Número de cavitación σ_v a presión	Velocidad circunferencial en la periferia del rotor V_p									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
0.1 MPa	0,99	0,44	0,25	0,16	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
0.5 MPa	4,95	2,2	1,24	0,79	0,55	0,40	0,31	0,24	0,20	0,16
1 MPa	9,89	4,40	2,47	1,58	1,10	0,81	0,62	0,49	0,40	0,33

La figura 4 presenta los gráficos de la relación del número de cavitación σ_v para el agua de la presión y la velocidad periférica en la periferia del rotor, donde se indica: 1 - gráfico de la relación a presión de 0,1 MPa (1 atm.), 2 - gráfico de la relación a presión de 0.5 MPa (5 atm.), 3 - gráfico de la relación a presión de 1 MPa (10 atm.). Como se puede ver en los gráficos (figura 4), la cavitación persistente a la presión de 0.1 MPa comienza a una velocidad de aproximadamente 10 m/s, a velocidades más bajas el flujo es laminar.

Los cálculos de la carga en la suspensión del rotor se hicieron en función de la diferencia de presión en la boquilla de entrada 4 y la boquilla de salida 5 de la cámara de trabajo 3 y el área de superficie del rotor 7 en sección perpendicular al eje (ver fig. 3). Así, para el tratamiento del agua

a la temperatura de 20°C y operación con una diferencia de presión de 1 MPa (10 atm.) en la boquilla de entrada 4 y en la boquilla de salida 5 de la cámara de trabajo 3, en el régimen de cavitación persistente (película) ($\sigma_v < 1$), (ver tabla 1 y fig. 4), la velocidad en la periferia del rotor debe ser de aproximadamente 35 m/s. Para un accionamiento estándar con un motor de 3000 rpm, el disco del rotor 7 debe tener 223 mm de diámetro, mientras que la carga axial estimada en la suspensión para el prototipo es de 3910 kg. En comparación con el prototipo, en el dispositivo propuesto cuando funciona con exceso de presión en la entrada, no hay carga axial, lo que simplifica enormemente el diseño de la suspensión y del conjunto de cojinetes. Esto reduce el peso y las dimensiones, lo que conduce a una disminución del peso total del dispositivo por cavitación y aumento de su seguridad.

Para confirmar la efectividad del dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, se realizaron pruebas comparativas, donde se utilizaron dos dispositivos por cavitación:

1. Prototipo (según la patente de la Federación de Rusia N_o 21 15176 [2]),
2. Dispositivo propuesto.

El diagrama de conexión (ver fig. 5), que se utilizó para pruebas de operabilidad, incluye: 1 - un tanque para emulsión de agua y aceite, 2 - una bomba de engranajes, 3 - un dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, 4 - un manómetro que mide la presión del líquido en la boquilla de entrada, 5 - un manómetro que mide la presión del líquido en la boquilla de salida (ver fig. 1).

Como medio procesado, se usó una emulsión de agua y aceite en la proporción agua / aceite, en la proporción porcentual igual a 95/5. Era necesario un suplemento de aceite para garantizar las condiciones de funcionamiento del pasaporte de la bomba de engranajes. El procesamiento se realizó en modo de flujo.

La prueba se realizó de la siguiente manera: la emulsión de agua y aceite del tanque 1 con una bomba de engranajes 2 se suministró a presión a la entrada 3 del dispositivo por cavitación, donde se procesó, después de lo cual la emulsión se devolvió al tanque 1. La presión en la entrada 3 al dispositivo por cavitación se reguló cambiando la velocidad de rotación del eje de la bomba de engranajes 2, y se midió con el manómetro 4; la presión de salida con un manómetro 5.

La efectividad del invento se estimó por la magnitud de la carga axial sobre los cojinetes de suspensión. Se sabe que un aumento de la carga sobre los cojinetes de la suspensión conduce al aumento de la fuerza de fricción, lo que a su vez provoca un aumento en la temperatura de los cojinetes durante la operación. La temperatura de los cojinetes se midió a través de una abertura en la suspensión con un termómetro bimetalico TBU-100, clase de precisión 1, con un rango de medición de 0-420°C.

La carga axial para el dispositivo prototipo se calculó con base en el área del rotor en sección perpendicular al eje (ver fig. 3) y la diferencia de presión ΔP en la entrada y salida del dispositivo por cavitación.

Los rotores en ambos dispositivos tenían el diámetro de 225 mm. El rotor fue accionado en rotación por un motor eléctrico AIRM1 12M2 con la frecuencia de rotación de 2895

revoluciones por minuto. Con estos parámetros, la velocidad periférica del rotor en la periferia fue de 34,1 m/s.

Los resultados obtenidos se promediaron de acuerdo con no menos de tres experimentos; los datos se registraron después de la estabilización de la temperatura de la suspensión. La temperatura ambiente durante la prueba osciló entre 19 y 23°C.

Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 2.

Tabla 2

Temperatura de los cojinetes de la suspensión, °C	Diferencia de presión en la entrada y salida ΔP , MPa										
	-0,02	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Prototipo	40	43	54	63	70	76	81	84	87	90	92
Dispositivo propuesto	38	40	39	40	42	42	40	41	41	40	40

En el experimento con la diferencia de presión entre la entrada y la salida $\Delta P = -0.02$ MPa, el dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos funcionó en el modo de presión de entrada mínima, como resultado de lo cual la presión de salida fue mayor debido al efecto centrífugo del rotor giratorio.

Con base en los datos presentados en la tabla 2, podemos sacar las siguientes conclusiones: cuando la presión en la entrada del dispositivo por cavitación aumenta debido a la diferencia de presión en la entrada y salida de $\Delta P = -0.02$ MPa a $\Delta P = 1$ MPa, la temperatura de trabajo de los cojinetes de suspensión prototipo aumenta de 40°C a 92°C. Cabe señalar que al aumentar la presión, el aumento de la temperatura se desaceleró debido al aumento del intercambio de calor con el medio ambiente que depende de la diferencia de temperatura.

Como mostraron las pruebas, durante la operación del dispositivo por cavitación para procesar medios líquidos, la temperatura de los cojinetes de la suspensión, teniendo en cuenta la fluctuación de la temperatura ambiente, se encuentra dentro del error estadístico, lo cual confirma la ausencia de carga axial en la suspensión del rotor cuando este dispositivo funciona con una presión de líquido excesiva en la entrada. Esto nos permite simplificar todo el diseño. Al mismo tiempo, las dimensiones y el peso de la suspensión se reducen significativamente, lo que conduce a una disminución del peso total de la estructura y aumento en la confiabilidad y recursos del dispositivo por cavitación.

El uso del conjunto completo de características esenciales del invento presentado permite crear un dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos, que funciona a sobrepresión en la entrada de la cámara de trabajo, en ausencia de carga axial sobre los cojinetes de la suspensión, así como con un procesamiento de cavitación de medios líquidos de alta eficiencia.

El dispositivo por cavitación para tratamiento de medios líquidos objeto de esta presentación puede usarse para procesar líquidos multicomponentes, bajo presión, incluso para la modificación del petróleo y productos derivados del petróleo, así como también puede usarse como un reactor químico, en que la cavitación se usa como iniciador y catalizador de reacciones.

Fuentes de información

1. Patente FRN» 2438769, MP B01F 3/08, B01F 1 1/02, prioridad del 13/07/2010, publ. 10/01/2012.
2. Patente FRN° 21 15176, IPC G10K 15/04, B01F 1 1/02, prioridad del 26/03/1977, publ. 10/07/1998 (prototipo).
3. Jean-Pierre Franc, Jean-Marie Michel. Fundamentos de la cavitación. -Dordrecht, Luwer Academic Publishers, 2004. P. 11.