



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118774** (13) **C2**
(51) МПК

F22B 37/12 (2006.01)

F22B 1/18 (2006.01)

F28F 1/40 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

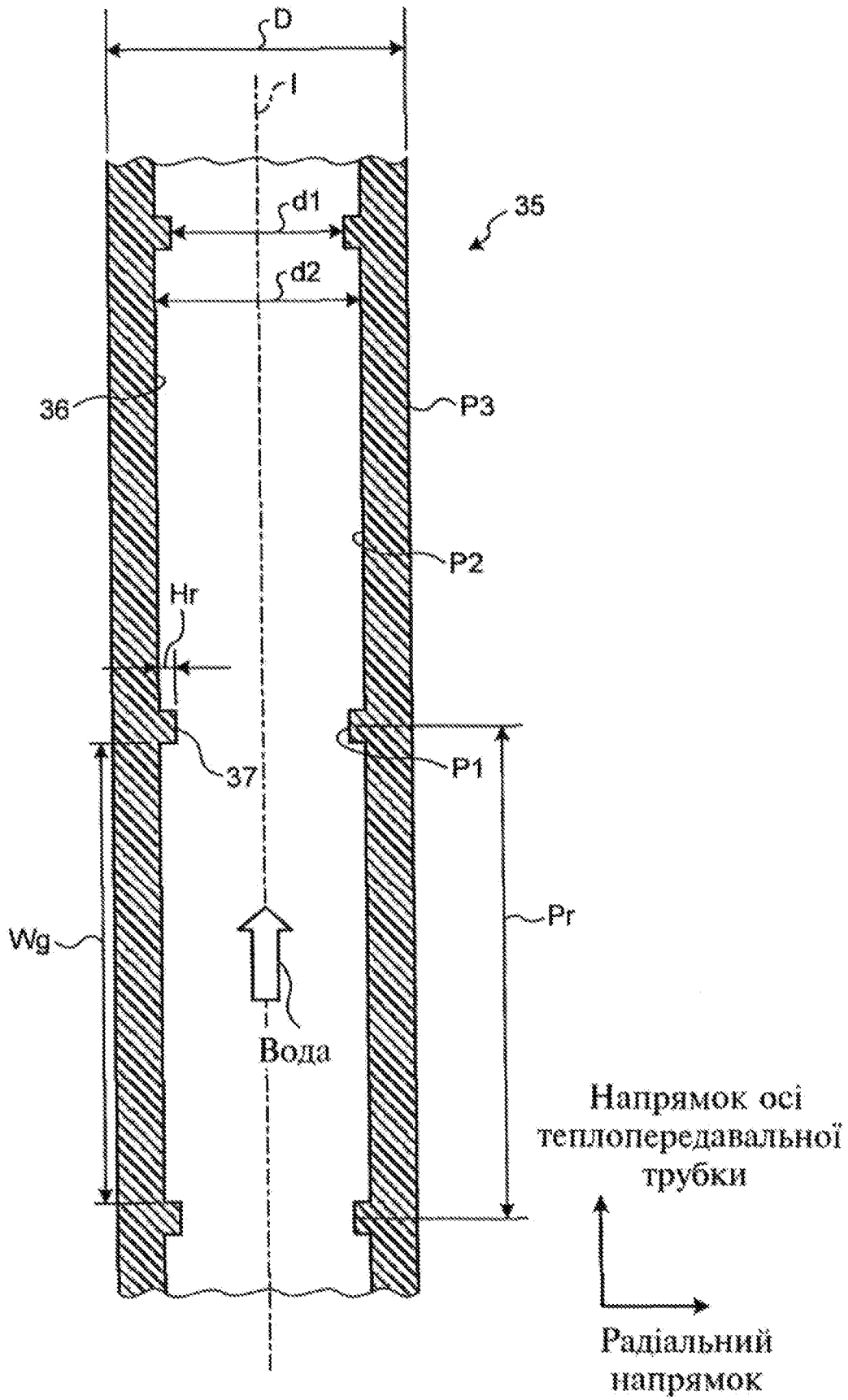
<p>(21) Номер заявки: a 2016 07512</p> <p>(22) Дата подання заявки: 25.12.2014</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.03.2019</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 2013-272804, 2014-082139, 2014-227415</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 27.12.2013, 11.04.2014, 07.11.2014</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: JP, JP, JP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 26.09.2016, Бюл.№ 18</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.03.2019, Бюл.№ 5</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/JP2014/084238, 25.12.2014</p>	<p>(72) Винахідник(и): Накахарай Хіроюкі (JP), Канемакі Юіті (JP), Домото Кадзухіро (JP), Ямасаки Йосінорі (JP)</p> <p>(73) Власник(и): МІЦУБІСІ ХІТАТІ ПАУЕР СИСТЕМЗ, ЛТД., 3-1, Minatomirai 3-chome, Nishi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 2208401, Japan (JP)</p> <p>(74) Представник: Шляховецький Ілля Олександрович, реєстр. №190</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: JP H06137501 A, 17.05.1994 JP H0842805 A, 16.02.1996 JP H05118507 A, 14.05.1993 JP S5623603 A, 06.03.1981 JP S60139107 U, 14.09.1985 JP S60139106 U, 14.06.1985</p>
--	--

(54) ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНА ТРУБКА, КОТЕЛ І ПАРОТУРБІННА УСТАНОВКА

(57) Реферат:

Трубка (35) стінки топкової камери встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір вказаної трубки стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносіє, включає в себе: канавкову частину (36), яка сформована на внутрішній круговій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки; і реберну частину (37), яка виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини (36) спіральної форми, яка відрізняється тим, що на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, коли ширина [мм] канавкової частини (36) в напрямку осі теплопередавальної трубки визначається як Wg , висота [мм] реберної частини (37) в радіальному напрямку визначається як Hr , а зовнішній діаметр теплопередавальної трубки [мм] визначається як D , ширина Wg [мм] канавкової частини (36), висота Hr [мм] реберної частини (37) і зовнішній діаметр D [мм] трубки задовольняють умову $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$.

UA 118774 C2



Фіг. 2

Галузь техніки

[0001] Цей винахід стосується теплопередавальної трубки, крізь яку протікає теплоносієм, такий як вода, котла та паротурбінної установки.

Передумови створення винаходу

5 [0002] Відомо, що зазвичай як теплопередавальну трубку, крізь яку протікає теплоносієм, такий як вода, використовують трубку з ребром на внутрішній поверхні, споряджену ребром, призначеним для утворення множини гвинтових виступів на внутрішній поверхні трубки (дивись, наприклад, джерело 1 патентної літератури). Вміст теплопередавальної трубки з ребром на
10 внутрішній поверхні знаходиться під докритичним тиском. У деяких випадках, при нагріванні теплопередавальної трубки, вода, яка тече крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки з ребром на внутрішній поверхні, під докритичним тиском піддається плівковому кипінню. У разі плівкового кипіння, оскільки теплопередача зменшується паровою плівкою, що утворюється на внутрішній поверхні теплопередавальної трубки, температура цієї трубки збільшується. У зв'язку з цим ребро в теплопередавальній трубці з ребром на внутрішній поверхні має наперед
15 визначену форму для запобігання збільшенню температури теплопередавальної трубки унаслідок плівкового кипіння. Зокрема, теплопередавальній трубці з ребром на внутрішній поверхні надається така форма, при якій максимальний крок ребра дорівнює 0,9 кореню квадратного середнього внутрішнього діаметра теплопередавальної трубки, або мінімальна радіальна висота ребра дорівнює 0,04 середнього внутрішнього діаметра теплопередавальної
20 трубки.

[0003] Крім того відомо, що як теплопередавальна трубка, яка застосовується в прямооточному парогенераторі, який працює з надкритичним змінним тиском, застосовується екранна труба (рифлена труба), яка входить до складу водоохолоджуваної трубчастої стінки (дивись, наприклад, джерело 2 патентної літератури). Запропонована рифлена трубка зі
25 спіральним виступом на її внутрішній поверхні. Вказаний прямооточний парогенератор працює при докритичному тиску з неповним навантаженням і, завдяки спіральному виступу на внутрішній поверхні рифленої трубки, температура стінки вказаної рифленої трубки під час роботи при докритичному тиску підтримується нижче допустимої температури.

Перелік цитованих джерел

30 Патентна література

[0004] Джерело 1: викладена заявка на патент Японії № 5-118507.

Джерело 2: викладена заявка на патент Японії № 6-137501.

Суть винаходу

Технічна проблема

35 [0005] Отже, коли вміст теплопередавальної трубки, такої як трубка з ребром на внутрішній поверхні, яка описана в джерелі 1 патентної літератури, знаходиться у стані докритичного тиску, для того, щоб запобігти збільшенню температури цієї теплопередавальної трубки через плівкове кипіння, ребро має наперед визначену форму. Аналогічно, для того, щоб підтримувати температуру стінки трубки згаданої рифленої трубки нижче допустимої температури під час
40 експлуатації при докритичному тиску, рифлена трубка, описана в джерелі 2 патентної літератури, запропонована із спіральним виступом на внутрішній поверхні.

[0006] Разом з тим, в деяких випадках вода як теплоносієм тече крізь теплопередавальну трубку в стані, при якому внутрішній простір вказаної теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском. Вода, яка тече під надкритичним тиском, не кипить, навіть якщо вона є нагрітою (не переходить в двофазний стан типу газ-рідина), і проходить крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки в однофазному стані. У випадку, коли вода, що тече крізь
45 внутрішній простір теплопередавальної трубки і знаходиться під надкритичним тиском, має низьку масову швидкість (низьку швидкість потоку), або коли до води під час нагрівання вказаної теплопередавальної трубки підводиться високий питомий тепловий потік, відбувається явище зменшення теплопередачі, у разі якого в деяких випадках знижується коефіцієнт теплопередачі. Коли відбувається явище зменшення теплопередачі, температура теплопередавальної трубки може збільшуватися, оскільки теплопередача від теплопередавальної трубки до води зменшується, .

[0007] Крім того, у теплопередавальній трубці, яка знаходиться під надкритичним внутрішнім тиском, коли коефіцієнт теплопередачі є низьким, оскільки цей коефіцієнт теплопередачі від теплопередавальної трубки до води знижується, температура цієї теплопередавальної трубки
55 зазнає підвищення. Так, в джерелі 1 патентної літератури ребро має форму, засновану на припущенні про те, що вміст теплопередавальної трубки знаходиться в стані докритичного тиску, тобто, що вміст теплопередавальної трубки знаходиться в двофазному стані типу газ-рідина. Тому, оскільки форма ребра не засновується на передумові, що вміст
60

теплопередавальної труби знаходиться в однофазному стані, підвищенню температури теплопередавальної трубки важко запобігти навіть у разі застосування винаходу за джерелом 1 патентної літератури.

5 [0008] Отже метою цього винаходу є створення теплопередавальної трубки, котла і паротурбінної установки, здатних запобігти збільшенню температури теплопередавальної трубки шляхом запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі при надкритичного тиску.

10 [0009] Крім того, іншою метою цього винаходу є надання теплопередавальної трубки, котла і паротурбінної установки, здатних запобігти збільшенню температури теплопередавальної трубки шляхом збільшення коефіцієнта теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі у разі надкритичного тиску.

Розв'язок проблеми

15 [0010] За одним з аспектів цього винаходу теплопередавальна трубка, яка встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносія, включає в себе: канавкову частину, яка сформована на внутрішній круговій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки, і реберну частину, яка сформована так, що виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми. На перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, коли ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Wg , висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як Hr , та зовнішній діаметр теплопередавальної трубки [мм] визначений як D , ширина Wg [мм] канавкової частини, висота Hr [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки задовольняють умову " $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$ ".

25 [0011] Відповідно до цієї конфігурації, коли тиск у внутрішньому просторі теплопередавальної трубки стає надкритичним, через задоволення умови $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$ можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти при надкритичному тиску, можливим є й запобігання збільшенню температури теплопередавальної трубки.

30 [0012] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно становить 1000-2000 $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$.

35 [0013] Відповідно до цієї конфігурації, навіть коли теплоносія, такий як вода, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, має низьку масову швидкість або до теплоносія підводиться високий питомий тепловий потік, можливе запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі.

40 [0014] В теплопередавальній трубці, коли відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Pr , кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як Nr , і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L , висота Hr [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, кількість Nr реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра переважно задовольняють умову " $(Pr \cdot Nr)/Hr > 1,25L + 55$ ".

45 [0015] Відповідно до цієї конфігурації, коли тиск у внутрішньому просторі теплопередавальної трубки стає надкритичним, через задоволення умови " $(Pr \cdot Nr)/Hr > 1,25L + 55$ " можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі. Отже, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти при надкритичному тиску, то можливе й запобігання збільшенню температури теплопередавальної трубки.

50 [0016] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно дорівнює або є меншою ніж 1500 $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$.

55 [0017] Відповідно до цієї конфігурації, навіть коли масова швидкість теплоносія, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, знижується, можливе запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0018] В теплопередавальній трубці зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки переважно становить " $25 \text{ мм} \leq D \leq 40 \text{ мм}$ ".

[0019] Відповідно до цієї конфігурації, якщо зовнішній діаметр теплопередавальної трубки

становить 25-40 мм, вказаний ефект стає більш помітним.

[0020] За іншим аспектом цього винаходу теплопередавальна трубка, яка встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносій, включає в себе: канавкову частину, яка сформована на внутрішній круговій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки, і реберну частину, яка сформована так, що виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми. Коли висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як H_r , відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як P_r , кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як N_r , і довжина змоченого периметра [мм] перерізу, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L , висота H_r [мм] реберної частини, відстань P_r [мм] між реберними частинами, кількість N_r реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову " $(P_r \cdot N_r) / H_r > 1,25L + 55$ ".

[0021] Відповідно до цієї конфігурації, коли тиск у внутрішньому просторі теплопередавальної трубки стає надкритичним, через задоволення умови $(P_r \cdot N_r) / H_r > 1,25L + 55$ можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти при надкритичному тиску, можливе й запобігання збільшенню температури теплопередавальної трубки.

[0022] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно дорівнює або є меншою ніж $1500 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

[0023] Відповідно до цієї конфігурації, навіть коли масова швидкість теплоносія, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, знижується, можливе й запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0024] В теплопередавальній трубці на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, коли ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як W_g , а зовнішній діаметр [мм] теплопередавальної трубки визначений як D , ширина W_g [мм] канавкової частини, висота H_r [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки переважно задовольняють умову " $W_g / (H_r \cdot D) > 0,40$ ".

[0025] Відповідно до цієї конфігурації, коли тиск у внутрішньому просторі теплопередавальної трубки стає надкритичним, через задоволення умови $W_g / (H_r \cdot D) > 0,40$ можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти при надкритичному тиску, можливе й запобігання збільшенню температури теплопередавальної трубки.

[0026] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно становить $1000\text{-}2000 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

[0027] Відповідно до цієї конфігурації, навіть якщо теплоносій, такий як вода, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, має низьку масову швидкість або до теплоносія підводиться високий питомий тепловий потік, можливе й запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0028] В теплопередавальній трубці зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки переважно становить " $25 \text{ мм} \leq D \leq 40 \text{ мм}$ ".

[0029] Відповідно до цієї конфігурації, якщо зовнішній діаметр теплопередавальної трубки дорівнює 25-40 мм, вказаний ефект стає більш помітним.

[0030] За ще одним іншим аспектом цього винаходу теплопередавальна трубка, яка встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносій, включає в себе: канавкову частину, яка сформована на внутрішній круговій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки, і реберну частину, яка виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми. Коли висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як H_r , відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як P_r , ширина [мм] реберної частини в круговому напрямку внутрішньої кругової поверхні визначена як W_r , кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі

теплопередавальної трубки, визначена як N_r , і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L , ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як W_g , та зовнішній діаметр [мм] теплопередавальної трубки визначений як D , ширина W_g [мм] канавкової частини, висота H_r [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки задовольняють умову " $W_g/(H_r \cdot D) > 0,40$ ", та висота H_r [мм] реберної частини, відстань P_r [мм] між реберними частинами, ширина W_r [мм] реберної частини, кількість N_r реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову " $(P_r \cdot N_r)/(H_r \cdot W_r) > 0,40L + 9,0$ ".

[0031] Відповідно до цієї конфігурації, коли тиск у внутрішньому просторі теплопередавальної трубки стає надкритичним, можливе підвищення коефіцієнта теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому збільшенню температури теплопередавальної трубки можна запобігти шляхом підвищення коефіцієнта теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі при надкритичному тиску.

[0032] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно становить 1000-2000 $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$.

[0033] Відповідно до цієї конфігурації навіть тоді, коли теплоносієм, такий як вода, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, має низьку масову швидкість або до теплоносія підводиться високий питомий тепловий потік, можливе підвищення коефіцієнта теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0034] В теплопередавальній трубці, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, переважно дорівнює або є меншою ніж 1500 $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$.

[0035] Відповідно до цієї конфігурації, навіть коли масова швидкість теплоносія, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, знижується, можливе підвищення коефіцієнта теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0036] В теплопередавальній трубці зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки переважно становить " $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$ ".

[0037] Відповідно до цієї конфігурації, якщо зовнішній діаметр теплопередавальної трубки дорівнює 25-35 мм, масова швидкість потоку теплоносія може бути встановлена щонайменше в межах будь-якого одного з описаних вище діапазонів, і ця масова швидкість потоку теплоносія може бути встановлена на рівні прийнятної масової швидкості потоку. Отже, що стосується застосування вказаної теплопередавальної трубки в котлі, то масову швидкість потоку теплоносія, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, встановлюють на рівні заздалегідь визначеної масової швидкості потоку. У цьому випадку, стосовно визначеної масової швидкості потоку, коли зовнішній діаметр теплопередавальної трубки зменшується, масова швидкість потоку підвищується, і у той самий час, коли зовнішній діаметр теплопередавальної трубки збільшується, масова швидкість потоку зменшується. Тому, щоб одержати масову швидкість потоку, прийнятну для такої форми теплопередавальної трубки, яка задовольняє вищеописану формулу, згадану визначену масову швидкість потоку можна одержати шляхом встановлення зовнішнього діаметра теплопередавальної трубки в межах від 25 мм до 35 мм, і це робить можливим оптимізацію значення коефіцієнта теплопередачі.

[0038] В теплопередавальній трубці висота H_r [мм] реберної частини, відстань P_r [мм] між реберними частинами, ширина W_r [мм] реберної частини, кількість N_r реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра переважно задовольняють умову " $(P_r \cdot N_r)/(H_r \cdot W_r) < 0,40L + 80$ ".

[0039] Відповідно до цієї конфігурації у формулі " $(P_r \cdot N_r)/(H_r \cdot W_r) > 0,40L + 9,0$ ", коли ліва частина формули стрімко зростає, відстань P_r між реберними частинами збільшується, кількість N_r реберних ділянок зростає, висота H_r реберної частини стає рівною нулю, і ширина W_r реберної частини в круговому напрямку стає рівною нулю. Відповідно, підтримувати форму теплопередавальної трубки не легко. Тому, шляхом задоволення формули " $(P_r \cdot N_r)/(H_r \cdot W_r) < 0,40L + 80$ ", можна легко підтримувати відповідну форму теплопередавальної трубки.

[0040] За ще одним аспектом даного винаходу котел включає в себе будь-яку з описаних вище теплопередавальних трубок, яку застосовують як трубку стінки топкової камери, яка

утворює стінку топкової камери котла, який працює при надкритичному тиску, коли працює з номінальною вихідною потужністю.

5 [0041] Відповідно до цієї конфігурації теплопередавальна трубка може бути застосована як трубка стінки топкової камери, яка утворює стінку топкової камери котла. Крім того, така трубка стінки топкової камери також може згадуватись як рифлена трубка.

[0042] За ще одним аспектом цього винаходу запропонований котел, який нагріває теплоносії, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, шляхом нагрівання будь-якої з описаних вище теплопередавальних трубок енергією, яка випромінюється полум'ям або високотемпературним газом.

10 [0043] Відповідно до цієї конфігурації, можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі теплопередавальної трубки при надкритичному тиску або підвищувати коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому можна відповідно підтримувати передачу тепла від теплопередавальної трубки до води, що застосовується як теплоносії, і можна стабільно виробляти пару з води. 15 Крім того, наприклад, згаданий високотемпературний газ може бути продуктом горіння, який утворюється шляхом спалювання палива, і може бути димовим газом, що випускається з пристроєм, такого як газова турбіна. Іншими словами, у ролі котла, у якому застосовують теплопередавальну трубку, тиск у внутрішньому просторі якої стає надкритичним, наприклад, котла, що працює з надкритичним змінним тиском, може бути застосований котел, що працює 20 при постійному надкритичному тиску, або аналогічний, який нагріває теплопередавальну трубку енергією, яка випромінюється полум'ям або продуктом горіння. У цьому випадку теплопередавальна трубка виконана у вигляді стінки топкової камери топки, якою споряджений котел, шляхом розміщення множини теплопередавальних трубок в радіальному напрямку. Крім того, як ще один котел, у якому застосована теплопередавальна трубка, тиск у внутрішньому 25 просторі якої стає надкритичним, може бути застосований, наприклад, котел-утилізатор тепла відхідних газів, який нагріває теплопередавальну трубку із застосуванням димових газів. У цьому випадку теплопередавальна трубка виконана у вигляді множини груп теплопередавальних трубок, розташованих в радіальному напрямку, і розміщена в контейнері, крізь який проходить димовий газ. Тому теплопередавальна трубка може бути застосована у 30 будь-якому котлі за умови, що тиск у внутрішньому просторі котла стає надкритичним.

[0044] За ще одним аспектом цього винаходу паротурбінна установка включає в себе: котел, який відповідає будь-якому з наведених вище; і парову турбіну, яка приводиться в дію паром, що виробляється шляхом нагрівання води як теплоносія, яка протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, встановленої в котлі.

35 [0045] Відповідно до цієї конфігурації конструкції можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі теплопередавальної трубки при надкритичному тиску або підвищувати коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі теплопередавальної трубки. Тому можна відповідно підтримувати передачу тепла від теплопередавальної трубки до води, і стабільно виробляти пару. Тому, 40 оскільки можна стабільно подавати пару на парову турбіну, також можна підтримувати стабільну роботу парової турбіни.

Короткий опис фігур

[0046] Фіг. 1 являє собою принципову схему, що ілюструє тепловий енергоблок за першим 45 варіантом здійснення цього винаходу.

Фіг. 2 являє собою вид трубки стінки топкової камери в перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки стінки топкової камери.

Фіг. 3 являє собою вид трубки стінки топкової камери в перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки стінки топкової камери.

50 Фіг. 4 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії.

Фіг. 5 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії.

Фіг. 6 являє собою частковий вид в перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

55 Фіг. 7 являє собою частковий вид в перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

Фіг. 8 являє собою частковий вид в перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

60 Фіг. 9 являє собою частковий вид в перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

Фіг. 10 являє собою пояснювальний вид, який ілюструє взаємозв'язок між потоком (зворотноступінчастим потоком) під час переходу над виступом і коефіцієнтом теплопередачі.

Фіг. 11 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії.

5 Фіг. 12 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії.

Фіг. 13 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за другим варіантом здійснення цього винаходу.

10 Фіг. 14 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за третім варіантом здійснення цього винаходу.

15 Фіг. 15 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за четвертим варіантом здійснення цього винаходу.

Опис варіантів здійснення цього винаходу

20 [0047] Варіанти здійснення, які відповідають цьому винаходу, будуть докладно описані нижче на основі фігур. Крім того, цей винахід не обмежується цими варіантами здійснення цього винаходу. Більше того, складові елементи у варіантах здійснення цього винаходу охоплюють ті, які легко можуть бути замінені на відомі в цій галузі техніки, або на ті, що по суті ідентичні їм. Крім того, складові елементи, описані нижче, можуть бути відповідним чином об'єднані один з іншим, і у разі існування декількох варіантів здійснення винаходу ці варіанти здійснення можна також комбінувати.

[Перший варіант здійснення цього винаходу]

30 [0048] Фіг. 1 являє собою принципову схему, що ілюструє тепловий енергоблок за першим варіантом здійснення цього винаходу. Фіг. 2 являє собою вид трубки стінки топкової камери в перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки стінки топкової камери. Фіг. 3 являє собою вид трубки стінки топкової камери в перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки стінки топкової камери.

35 [0049] Тепловий енергоблок за першим варіантом здійснення цього винаходу використовує пилоподібне вугілля, одержане шляхом подрібнення вугілля (такого як бітумінозне вугілля і напівбітумінозне вугілля), як пилоподібне паливо (тверде паливо). Цей тепловий енергоблок спалює пилоподібне вугілля для вироблення пари із використанням тепла, яке утворюється при згорянні, і приводить в дію генератор, з'єднаний з паровою турбіною, для вироблення електроенергії шляхом обертання парової турбіни виробленою паром.

40 [0050] Як показано на Фіг. 1, тепловий енергоблок 1 споряджений котлом 10, паровою турбіною 11, конденсатором 12, підігрівачем 13 живильної води високого тиску і підігрівачем 14 живильної води низького тиску, деаератором 15, живильним насосом 16 і генератором 17. Тепловий енергоблок 1 скомпонований як паротурбінна установка, споряджена паровою турбіною 11.

45 [0051] Котел 10 застосований як звичайний котел, і являє собою котел, що працює на пилоподібному вугіллі, здатний спалювати пилоподібне вугілля за допомогою пальника 41, і регенерувати тепло, що виділяється в результаті згорання, за допомогою трубки 35 стінки топкової камери, яка функціонує як теплопередавальна трубка. Крім того, котел 10 являє собою котел, що працює з надкритичним змінним тиском, в якому тиск у внутрішньому просторі трубки 35 стінки топкової камери встановлюється надкритичним або докритичним. Котел 10 споряджений топкою 21, камерою згорання 22, сепаратором 23 пари, пароперегрівачем 24 і проміжним пароперегрівачем 25.

50 [0052] Топка 21 має стінки 31 топкової камери, які оточують її з чотирьох боків, і форму якій у вигляді трубчастого квадрату надають вказані стінки 31 топкової камери, розміщені з чотирьох боків. Крім того, топка 21, що має квадратну трубчасту форму, в поздовжньому напрямку займає вертикальне положення і розміщується перпендикулярно по відношенню до поверхні установки котла 10. Стінка 31 топкової камери утворена із застосуванням множини трубок 35 стінки топкової камери, і трубки 35 стінки топкової камери цієї множини одна поруч з іншою в радіальному напрямку з утворенням поверхонь стінок 31 топкової камери.

60 [0053] Кожна трубка 35 стінки топкової камери виконана у формі циліндра з віссю трубки, спрямованою у вертикальному напрямку і перпендикулярно до поверхні установки котла 10.

Крім того, трубки 35 стінки топкової камери являють собою так звані рифлені трубки, які усередині мають сформовані спіральні канавки. Вода як теплоносіє тече крізь внутрішній простір трубок 35 стінки топкової камери. Внутрішній тиск трубок 35 стінки топкової камери стає надкритичним або докритичним, в залежності від роботи котла 10. Трубки 35 стінки топкової камери розміщені так, що нижній бік у вертикальному напрямку являє собою впускний бік, а верхній бік у вертикальному напрямку являє собою випускний бік. Отже топка 21 котла 10 за цим варіантом здійснення цього винаходу являє собою топку вертикального трубчастого типу, в якій трубки 35 стінки топкової камери є вертикальними. Елементи трубок 35 стінки топкової камери будуть описана нижче.

[0054] Камера згоряння 22 має множини пальників 41, встановлених на стінці 31 топкової камери. Більш того, на Фіг. 1 показаний лише один пальник 41. Згадана множина пальників 41 спалює пилоподібне вугілля як паливо для утворення полум'я в топці 21. Водночас множина пальників 41 спалює пилоподібне вугілля так, що утворений факел набуває форми повернутого потоку. Крім того, множина пальників 41 нагріває трубки 35 стінки топкової камери високотемпературним продуктом горіння, що утворюється при згорянні палива (високотемпературний газ). Щодо множини пальників 41, наприклад, множини пальників, розташованих групою на заздалегідь визначеній відстані по колу топки 21, то ця група пальників 41 розміщується декількома ступенями з наперед визначеним інтервалом у вертикальному напрямку (поздовжньому напрямку топки 21).

[0055] Усередині топки 21 розташований пароперегрівач 24, призначений для перегріву пари, що подається з трубок 35 стінки топкової камери топки 21 крізь сепаратор 23 пари. Пара, перегріта в пароперегрівачі 24, подається на парову турбіну 11 крізь головний паропровід 46.

[0056] Усередині топки 21 розташований проміжний пароперегрівач 25 для нагрівання пари, що використовується в (турбіні високого тиску 51) паровій турбіні 11. Пара, що проходить в проміжний пароперегрівач 25 з (турбіні високого тиску 51) парової турбіни 11 крізь трубопровід 47 низькотемпературної проміжної перегрітої пари, нагрівається проміжним пароперегрівачем 25, і нагріта пара надходить в (турбіну середнього тиску 52) парову турбіну 11 з проміжного пароперегрівача 25 знову крізь трубопровід 48 високотемпературної проміжної перегрітої пари.

[0057] Парова турбіна 11 має турбіну високого тиску 51, турбіну середнього тиску 52 і турбіну низького тиску 53. Ці турбіни 51, 52 і 53 з'єднані ротором 54 як обертовим валом, який є здатним до обертання як одне ціле. Головний паропровід 46 з'єднаний з впускним боком турбіни високого тиску 51, а трубопровід 47 низькотемпературної проміжної перегрітої пари з'єднаний з її випускним боком. Турбіна високого тиску 51 обертається парою, що подається з головного паропроводу 46, і випускає пару після використання з трубопроводу 47 низькотемпературної проміжної перегрітої пари. Трубопровід 48 високотемпературної проміжної перегрітої пари з'єднаний з впускним боком турбіни середнього тиску 52, та турбіна низького тиску 53 з'єднана з її випускним боком. Турбіна середнього тиску 52 обертається парою, що підігривається та подається з трубопроводу 48 високотемпературної проміжної перегрітої пари, і випускає пару після використання на турбіну низького тиску 53. Турбіна середнього тиску 52 з'єднана з впускним боком турбіни низького тиску 53, та конденсатор 12 з'єднаний з її випускним боком. Турбіна низького тиску 53 обертається парою, що подається з турбіни середнього тиску 52, і випускає пару після використання на конденсатор 12. Ротор 54 з'єднаний з генератором 17, і приводить в обертовий рух генератор 17 в результаті обертання турбіни високого тиску 51, турбіни середнього тиску 52 і турбіни низького тиску 53.

[0058] Конденсатор 12 конденсує пару, що випускається з турбіни низького тиску 53, із застосуванням охолоджувального трубопроводу 56, розташованого в ньому для перетворення (конденсування) пари на воду. Сконденсована вода з конденсатора 12 подається на підігрівач 14 живильної води низького тиску. Підігрівач 14 живильної води низького тиску нагріває воду, сконденсовану конденсатором 12 в стані низького тиску. Нагріта вода з підігрівача 14 живильної води низького тиску подається на деаератор 15. Деаератор 15 видаляє повітря з води, яка подається з підігрівача 14 живильної води низького тиску. Деаерована вода з деаератора 15 подається на підігрівач 13 живильної води високого тиску. Підігрівач 13 живильної води високого тиску нагріває воду, деаеровану деаератором 15, в стані високого тиску. Нагріта вода з підігрівача 13 живильної води високого тиску подається на трубки 35 стінки топкової камери котла 10. Крім того, між деаератором 15 і підігрівачем 13 живильної води високого тиску розташований живильний насос 16, який подає воду з деаератора 15 на підігрівач 13 живильної води високого тиску.

[0059] Генератор 17 з'єднаний з ротором 54 парової турбіни 11, і виробляє енергію в результаті приведення в обертовий рух за допомогою ротора 54.

[0060] Крім того, хоча це і не показано, тепловий енергоблок 1 споряджений пристроєм для

денітрифікації, електростатичним осаджувачем, витяжним вентилятором і пристроєм для десульфуризації, та на вихідній кінцевій частині розташована димова труба.

[0061] В тепловому енергоблоці 1 з подібним взаєморозміщенням складових елементів вода, яка тече крізь внутрішній простір трубок 35 стінки топкової камери котла 10, нагрівається із застосуванням камери згоряння 22 котла 10. Вода, нагріта в камері згоряння 22, перетворюється на пару і спрямовується на пароперегрівач 24 крізь сепаратор 23 пари, і пара проходить крізь пароперегрівач 24 і головний паропровід 46 в цьому порядку, і подається на парову турбіну 11. Пара, що подається на парову турбіну 11, проходить крізь турбіну високого тиску 51, трубопровід 47 низькотемпературної проміжної перегрітої пари, проміжний пароперегрівач 25, трубопровід 48 високотемпературної проміжної перегрітої пари, турбіну середнього тиску 52 і турбіну низького тиску 53 в зазначеному порядку, і надходить в конденсатор 12. В цей час парова турбіна 11 обертається паром, що надходить, та тим самим за допомогою ротора 54 приводить у обертовий рух генератор 17 для вироблення електроенергії в цьому генераторі 17. Пара, що надійшла в конденсатор 12, перетворюється на воду шляхом конденсації за допомогою охолоджувального трубопроводу 56. Вода, сконденсована в конденсаторі 12, проходить крізь підігрівач 14 живильної води низького тиску, деаератор 15, живильний насос 16 і підігрівач 13 живильної води високого тиску в зазначеному порядку, і знову подається на трубки 35 стінки топкової камери. У такий спосіб котел 10 в цьому варіанті здійснення цього винаходу стає прямоточним котлом.

[0062] Далі, з посиланням на Фіг. 2 і Фіг. 3, буде описана трубка 35 стінки топкової камери. Як показано на Фіг. 2 і Фіг. 3, трубка 35 стінки топкової камери виконана у формі циліндра навколо центральної лінії I. Як було описано вище, трубка 35 стінки топкової камери розміщується так, що напрямок осі трубки стає вертикальним напрямком, і вода у трубці тече з нижнього до верхнього боку у вертикальному напрямку. Крім того, на виконаній у формі рифленої трубки внутрішній круговій поверхні P1 трубки 35 стінки топкової камери сформована канавкова частина 36, що має форму спіралі у напрямку осі трубки. Далі, в трубці 35 стінки топкової камери канавковою частиною 36 сформована реберна частина 37 спіральної форми у напрямку осі труби, яка виступає в радіальному напрямку всередину трубки. При цьому зовнішній діаметр трубки 35 стінки топкової камери, тобто діаметр, що проходить через центрову лінію I на зовнішню кругову поверхню P3, являє собою зовнішній діаметр D трубки. Крім того, зовнішній діаметр D трубки є довжиною, порядок якої становить декілька десятків міліметрів. Тому одиницею зовнішнього діаметра D трубки є міліметр [мм].

[0063] Як показано на показаному на Фіг. 3 перерізі, виконаному перпендикулярно напрямку осі трубки, на внутрішній круговій поверхні P1 з заздалегідь визначеним інтервалом сформована множина канавкових частин 36. У першому варіанті здійснення цього винаходу на перерізі, показаному на Фіг. 3, сформовані шість канавкових частин 36. Отже на перерізі, показаному на Фіг. 3, сформовані також шість реберних частин 37. У першому варіанті здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що кількість канавкових частин 36, сформованих у трубці 35 стінки топкової камери, дорівнює шести, сформованою може бути множина канавкових частин 36, і вказана кількість не має конкретних обмежень.

[0064] Крім того, оскільки кожна канавкова частина 36 сформована так, що вона опускається назовні в радіальному напрямку, нижня поверхня (тобто зовнішня площа канавкової частини 36 в радіальному напрямку) кожної канавкової частини 36 являє собою внутрішню кругову поверхню P2, яка розташована назовні в радіальному напрямку відносно внутрішньої кругової поверхні P1. Внутрішня кругова поверхня P2, як показано на перерізі на Фіг. 3, має круглу форму навколо центральної лінії I. Тобто внутрішня кругова поверхня P1 і внутрішня кругова поверхня P2 сформовані у вигляді концентричних кіл, де внутрішня кругова поверхня P1 розташована всередині в радіальному напрямку, а внутрішня кругова поверхня P2 розташована зовні в радіальному напрямку. При цьому діаметр внутрішньої кругової поверхні P1 трубки 35 стінки топкової камери є малим внутрішнім діаметром d1, та діаметр зовнішньої кругової поверхні P2 трубки 35 стінки топкової камери є великим внутрішнім діаметром d2.

[0065] Також, як показано на Фіг. 2 на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, оскільки канавковій частині 36 надана спіральна форма у напрямку осі трубки, то на внутрішній круговій поверхні P1 в напрямку осі трубки з заздалегідь визначеним інтервалом сформована множина канавкових частин 36.

[0066] Як показано на показаному на Фіг. 3 перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки, на внутрішній круговій поверхні P1 в круговому напрямку з заздалегідь визначеним інтервалом сформована множина реберних частин 37. У першому варіанті здійснення цього винаходу, оскільки сформовано шість канавкових частин 36, між вказаними канавковими частинами 36 утворилися шість реберних частин 37. У першому варіанті

здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що кількість реберних частин 37, сформованих у трубці 35 стінки топкової камери, дорівнює шести, як і кількість канавкових частин 36, сформованою може бути множина реберних частин 36, і вказана кількість не має конкретних обмежень.

5 [0067] Крім того, кожна з реберних частин 37 сформована так, що вона виступає досередини в радіальному напрямку з нижньої поверхні (тобто внутрішньої кругової поверхні P2) відповідних канавкових частин 36. Крім того, оскільки згаданим реберним частинам 37 надана спіральна форма у напрямку осі трубки, множина реберних частин 37 сформована на внутрішній круговій
10 на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки.

[0068] Далі, як показано на Фіг. 2, висота реберної частини 37 в радіальному напрямку відповідає висоті ребра H_r. Зокрема, висотою ребра H_r є висота від внутрішньої кругової поверхні P2 до ділянки (тобто верхньої частини), на якій реберна частина 37 розташована на найбільш заглибленій в радіальному напрямку поверхні. Крім того, на перерізі, показаному на
15 Фіг. 3, ширина реберної частини 37 в круговому напрямку відповідає ширині ребра W_r. Зокрема, шириною ребра W_r є відстань між межею внутрішньої кругової поверхні P2 з одним боком реберної частини 37 у круговому напрямку і межею внутрішньої кругової поверхні P2 з іншим боком реберної частини 37 в круговому напрямку.

[0069] Крім того, на перерізі, показаному на Фіг. 2, ширина канавкової частини 36 в напрямку осі трубки відповідає ширині канавки W_g, та відстань між реберними частинами 37, розташованими поруч одна з іншою в напрямку осі труби, відповідає відстані між ребрами P_r. Зокрема, шириною канавки W_g є відстань між межею між внутрішньою круговою поверхнею P2 і реберною частиною 37 з одного боку канавкової частини 36 в напрямку осі трубки, і межею між внутрішньою круговою поверхнею P2 і реберною частиною 37 з іншого боку канавкової частини
20 36 в напрямку осі трубки. Крім того, відстанню між ребрами P_r є відстань між центрами в напрямку осі трубки реберних частин 37.

[0070] Крім того, на перерізі, показаному на Фіг. 3, довжина контакту трубки 35 стінки топкової камери з водою, що проходить крізь внутрішній простір, відповідає довжині змоченого периметра L, а кількість реберних частин 37 відповідає кількості ребер N_r. На Фіг. 3 довжина змоченого периметра L розглядається як коло для зручності ілюстрації, але це є загальна довжина поверхні стінки в контакт з рідиною на перерізі каналу для проходження потоку, як описано вище. На цей раз зовнішній діаметр труби D є довжиною, порядок якої становить декілька десятків міліметрів. Відповідно, висота ребра H_r стає висотою, порядок якої становить міліметри. Аналогічно ширина ребра W_r, ширина канавки W_g, відстань між ребрами P_r і
35 довжина змоченого параметра L також стають довжиною, порядок якої становить міліметри. Отже одиницями висоти ребра H_r, ширини ребра W_r, ширини канавки W_g, відстані між ребрами P_r і довжини змоченого периметра L є [мм].

[0071] Далі буде описана форма трубки 35 стінки топкової камери. Як було описано вище, вода тече крізь трубку 35 стінки топкової камери в такому стані, при якому внутрішній простір цієї трубки знаходиться під надкритичним тиском. У цьому випадку в трубці 35 стінки топкової камери, що нагрівається камерою згоряння 22, в деяких випадках відбувається явище зменшення теплопередачі, при якому знижується коефіцієнт теплопередачі. Тому, трубці 35 стінки топкової камери надана форма, при якій малий внутрішній діаметр d₁, великий внутрішній діаметр d₂, зовнішній діаметр трубки D, ширина канавки W_g, ширина ребра W_r, відстань між ребрами P_r, кількість ребер N_r, висота ребра H_r і довжина змоченого периметра L задовольняють формулу співвідношення, описану нижче.
45

[0072] У трубці 35 стінки топкової камери ширина канавки W_g, висота ребра H_r і зовнішній діаметр трубки D задовольняють формулу співвідношення " $W_g/(H_r \cdot D) > 0,40$ ". У випадку, коли " $W_g/(H \cdot D) = F$ ", одержують співвідношення " $F > 0,40$ ". Цього разу висота ребра H_r є " $H_r > 0$ ", і реберній частині 37 надана така форма, що вона виступає в радіальному напрямку досередини. Крім того, висота ребра H_r, відстань між ребрами P_r, кількість ребер N_r і довжина змоченого периметра L задовольняють формулу співвідношення " $(P_r \cdot N_r)/H_r > 1,25L + 55$ ". Хоча подробиці будуть описані нижче, з утворенням такої форми трубки 35 стінки топкової камери, яка б задовольняла вищеописану формулу співвідношення, можливим є запобігання виникненню явища зменшення теплопередачі. Цього разу, якщо зовнішній діаметр трубки D становить " 25
55 $mm \leq D \leq 40 mm$ ", досягається більш помітний ефект.

[0073] Кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37, що має спіральну форму, стає кутом, який задовольняє вищезгадану формулу співвідношення. Крім того, цей кут підйому гвинтової лінії є кутом по відношенню до напрямку осі трубки. Якщо кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 дорівнює 0°, він стає напрямком уздовж напрямку осі трубки, а якщо кут підйому
60

гвинтової лінії реберної частини 37 дорівнює 90° , він стає напрямком вздовж кругового напрямку. У цьому випадку кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 також належним чином змінюється в залежності від кількості реберних частин 37. Іншими словами, якщо існує велика кількість реберних частин 37, кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 стає пологим кутом (наближається до 0°), а, з іншого боку, якщо існує невелика кількість реберних частин 37, кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 стає крутим кутом (наближається до 90°).

[0074] Далі, з посиланням на Фіг. 4 і Фіг. 5, будуть описані зміни температури поверхні стінки трубки стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. Фіг. 4 і Фіг. 5 являють собою графіки одного з прикладів температури поверхні трубки стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. На Фіг. 4 і Фіг. 5 на горизонтальних осях показана ентальпія стінки 31 топкової камери (трубки 35 стінки топкової камери 35), і на вертикальних осях цих графіків показана температура поверхні стінки трубки (температура трубки 35 стінки топкової камери).

[0075] Як показано на Фіг. 4 і Фіг. 5, F_1 являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки при " $F=0,35$ ", і відповідає формі звичайної трубки 35 стінки топкової камери, яка не задовольняє формулу співвідношення за цим варіантом здійснення цього винаходу. До того ж F_2 являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки у разі " $F>0,40$ ", і відповідає формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє формулу співвідношення за цим варіантом здійснення цього винаходу. На додаток до цього F_3 являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки у разі задоволення формули співвідношення " $(Pr \cdot Nr)/Hr > 1,25L + 55$ ", і відповідає іншій формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє формулу співвідношення за цим варіантом здійснення цього винаходу. На додаток до цього T_w являє собою графік, який ілюструє зміну температури (температура плинного середовища) води, яка тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, та T_{max} являє собою критичну температуру трубки, яка є прийнятною для трубки 35 стінки топкової камери.

[0076] Як показано на Фіг. 4, масова швидкість води, яка тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, стає низькою масовою швидкістю, при якій може бути забезпечена стабільність потоку води всередині трубки 35 стінки топкової камери, і внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском. Зокрема, низька масова швидкість розрізняється залежно від розмірів зовнішнього діаметра D трубки, малого внутрішнього діаметра d_1 і великого внутрішнього діаметра d_2 , але, наприклад, при роботі котла 10 при номінальній вихідній потужності середня масова швидкість трубки 35 стінки топкової камери становить від $1000 \text{ (кг/м}^2\text{с)}$ або більше і до $2000 \text{ (кг/м}^2\text{с)}$ або менше. Крім того, у разі досягнення масової швидкості потоку, при якій може бути забезпечена стабільність потоку води всередині трубки 35 стінки топкової камери, масова швидкість потоку не обмежується описаним вище діапазоном. За цим варіантом здійснення цього винаходу номінальна вихідна потужність забезпечує номінальну електричну потужність в генераторі теплового енергоблоку 1.

[0077] Як показано на Фіг. 4, у випадку F_1 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, температура поверхні стінки трубки тимчасово зростає. Тобто у випадку F_1 було перевірено, що при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, має місце явище зменшення теплопередачі, при якому коефіцієнт теплопередачі знижується при надкритичному тиску.

[0078] Водночас, як показано на Фіг. 4, у випадку F_2 і F_3 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, в порівнянні з випадком F_1 , температура поверхні стінки трубки поступово збільшується. Тобто у випадку F_2 і F_3 було перевірено, що навіть при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, відбувається запобігання зниженню коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску, і можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі в трубці 35 стінки топкової камери.

[0079] Як показано на Фіг. 5, масова швидкість води, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, стає менше, ніж у випадку, показаному на Фіг. 4, і стає мінімальною (нижня межа) масовою швидкістю, при якій котел 10 може працювати. Крім того, аналогічно показаному на Фіг. 4, внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском. Зокрема, мінімальна масова швидкість розрізняється залежно від розмірів зовнішнього діаметра D трубки, малого внутрішнього діаметра d_1 і великого внутрішнього діаметра d_2 , але, наприклад, при роботі котла 10 при номінальній вихідній потужності середня масова швидкість трубки 35 стінки топкової камери становить 1500

(кг/м²с) або менше. Крім того, у разі мінімальної масової швидкості, при якій може бути забезпечена робота котла 10, масова швидкість потоку не обмежується описаним вище діапазоном, але загальна нижня межа становить приблизно 700 кг/м²с.

5 [0080] Як показано на Фіг. 5, у випадку F_1 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, температура поверхні стінки трубки тимчасово зростає. Тобто у випадку F_1 було перевірено, що теплоносій тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери з мінімальною масовою швидкістю i , коли кількість теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, збільшується, має місце явище зменшення теплопередачі, при якому коефіцієнт теплопередачі
10 знижується при надкритичному тиску.

[0081] Водночас, як показано на Фіг. 5, у випадку F_2 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, в порівнянні з випадком F_1 , температура поверхні стінки трубки поступово збільшується, але перевищує критичну температуру трубки T_{max} . На відміну від цього, у випадку F_3 , коли ентальпія зростає, тобто коли кількість теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, збільшується в порівнянні з випадком F_2 , температура поверхні стінки трубки поступово збільшується. Тобто було перевірено, що у випадку F_3 , іншими словами, коли форма трубки 35 стінки топкової камери задовольняє формулу співвідношення " $(Pr \cdot Nr)/Hr > 1,25L + 55$ ", теплоносій тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери з мінімальною масовою швидкістю навіть тоді, коли кількість теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, збільшується, відбувається запобігання зниженню коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску, і можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі в трубці 35 стінки топкової камери.

[0082] Як описано вище, відповідно до конструкції у першому варіанті здійснення цього винаходу в трубках 35 стінки топкової камери, тиск у внутрішньому просторі яких стає надкритичним, навіть якщо вода, що тече крізь внутрішній простір трубок 35 стінки топкової камери, має низьку масову швидкість або до неї підводиться високий питомий тепловий потік, через задоволення співвідношення $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$, як показано на Фіг. 4, можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти при надкритичному тиску, то можна запобігти й збільшенню температури трубки 35 стінки топкової камери (температуру поверхні стінки трубки згаданої стінки 31 топкової камери).

[0083] Крім того, відповідно до конструкції у першому варіанті здійснення цього винаходу, навіть якщо вода, що тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, має нижню граничну швидкість, шляхом задоволення формули співвідношення $(Pr \cdot Nr)/Hr > 1,25L + 55$, як це показано на Фіг. 5, виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти. Тому, навіть якщо вода тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери з низькою граничною масовою швидкістю при надкритичному тиску, виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти, і отже можна запобігти збільшенню температури трубки 35 стінки топкової камери (температури поверхні стінки трубки згаданої стінки 31 топкової камери).

[0084] Крім того, відповідно до конфігурації за першим варіантом здійснення цього винаходу, трубка 35 стінки топкової камери, що задовольняє вищезгадану формулу співвідношення, може бути застосована у парогенераторі, що працює з надкритичним змінним тиском з топкою вертикального трубчастого типу. Отже, оскільки можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери при надкритичному тиску, можна відповідним чином підтримувати передачу тепла від трубки 35 стінки топкової камери до води, і стабільно генерувати пару.

[0085] Крім того, відповідно до конфігурації за першим варіантом здійснення цього винаходу, котел 10, що має трубку 35 стінки топкової камери, може бути застосований у тепловому енергоблоці 1, що використовує парову турбіну 11. Тому, оскільки пара може бути стабільно вироблювана в котлі 10, цю пару можна стабільно подавати на парову турбіну 11, і відповідно можна забезпечити стабільну роботу парової турбіни 11.

[0086] У першому варіанті здійснення цього винаходу трубка 35 стінки топкової камери, яка функціонує як теплопередавальна трубка, застосована у звичайному котлі, і звичайний котел застосований у тепловому енергоблоці 1, але цей винахід не обмежується цією компоновкою. Наприклад, теплопередавальна трубка, яка задовольняє вищезгадану формулу співвідношення, може бути застосована в котлі-утилізаторі тепла відхідних газів, та цей котел-утилізатор тепла відхідних газів може бути застосований в парогазовій установці з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля (IGCC). Тобто, якщо прямоточний котел пристосований для роботи з теплопередавальною трубою, внутрішній простір якої знаходиться
60

під надкритичним тиском, вона може бути застосована у будь-якому котлі.

[0087] Крім того, у першому варіанті здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що F_2 відповідає формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє формулу співвідношення " $F > 0,40$ ", а F_3 відповідає формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє формулу співвідношення " $(Pr \cdot Nr) / Hr > 1,25L + 55$ ", форма трубки 35 стінки топкової камери не обмежується формою, якій відповідає F_2 або F_3 . Тобто форма трубки 35 стінки топкової камери може бути формою, одержаною шляхом об'єднання форми, якій відповідає F_2 , і форми, якій відповідає F_3 .

[0088] У першому варіанті здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що форма реберної частини 37 трубки 35 стінки топкової камери не має конкретних обмежень, наприклад, це може бути форма, показана на Фіг. 6. Фіг. 6 являє собою частковий вид на перерізі, виконаному вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

[0089] Як показано на Фіг. 6, в реберній частині 37 трубки 35 стінки топкової камери формі перерізу, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, надана трапецієподібна форма, при якій внутрішня кругова поверхня P_2 являє собою нижню поверхню (нижня основа), та внутрішня кругова поверхня P_1 являє собою верхню поверхню (верхня основа). Крім того, в цьому випадку, як і в першому варіанті здійснення цього винаходу, висотою ребра H_r реберної частини 37 є висота від внутрішньої кругової поверхні P_2 до ділянки, біля якої реберна частина 37 розташована на найбільш заглибленій в радіальному напрямку поверхні (тобто внутрішній круговій поверхні P_1). Крім того, шириною канавки W_g є ширина між місцем вигину як межею між внутрішньою круговою поверхнею P_2 і реберною частиною 37 з одного боку канавкової частини 36 в напрямку осі трубки, і місцем вигину як межею між внутрішньою круговою поверхнею P_2 і реберною частиною 37 з іншого боку канавкової частини 36 в напрямку осі трубки.

[0090] Як показано на Фіг. 6, реберна частина 37 трубки 35 стінки топкової камери може мати форму з вигнутою частиною, що має заздалегідь визначений кут по відношенню до внутрішньої кругової поверхні P_1 і внутрішньої кругової поверхні P_2 . Крім того, як показано на Фіг. 6, реберній частині 37 надана трапецієподібна форма, але вона може мати прямокутну форму або трикутну форму, і не має конкретних обмежень.

[0091] Крім того, формою реберної частини 37 трубки 35 стінки топкової камери може бути форма, показана на Фіг. 7. Фіг. 7 являє собою частковий вид на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

[0092] Як показано на Фіг. 7, реберна частина 37 трубки 35 стінки топкової камери виконана так, що формі перерізу, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, надана криволінійна форма, яка продовжується внутрішньою круговою поверхнею, і є випуклою в радіальному напрямку досередини. Крім того, в цьому випадку, як і в першому варіанті здійснення цього винаходу, висотою ребра H_r реберної частини 37 є висота від внутрішньої кругової поверхні P_2 до ділянки (тобто верхньої частини), на якій реберна частина 37 розташована на найбільш заглибленій в радіальному напрямку поверхні. Крім того, шириною канавки W_g є ширина між межею між внутрішньою круговою поверхнею P_2 і вигнутою реберною частиною 37 з одного боку канавкової частини 36 в напрямку осі трубки, і межею між пласкою внутрішньою круговою поверхнею P_2 і вигнутою реберною частиною 37 з іншого боку канавкової частини 36 в напрямку осі трубки.

[0093] Як показано на Фіг. 7, реберна частина 37 трубки 35 стінки топкової камери може мати форму, що являє собою безперервну криволінійну поверхню, яка має заздалегідь визначений радіус кривизни по відношенню до внутрішньої кругової поверхні P_1 і внутрішньої кругової поверхні P_2 . Як показано на Фіг. 7, згадана реберна частина 37 має криволінійну форму, яка є випуклою в радіальному напрямку досередини, але внутрішня в радіальному напрямку верхня частина реберної частини 37 може бути пласкою поверхнею, і якщо вона є безперервною криволінійною поверхнею по відношенню до внутрішньої кругової поверхні P_1 і внутрішньої кругової поверхні P_2 , вона не має конкретних обмежень.

[0094] Крім того, формою реберної частини 37 трубки 35 стінки топкової камери може бути форма, показана на Фіг. 8 і Фіг. 9. Фіг. 8 являє собою частковий вид на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери, і Фіг. 9 являє собою частковий вид на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки, що ілюструє один з прикладів форми реберної частини трубки стінки топкової камери.

[0095] Як показано на Фіг. 8, в реберній частині 37 трубки 35 стінки топкової камери формі перерізу, який виконаний вздовж напрямку осі трубки, надана форма трикутника, де внутрішня кругова поверхня P_2 являє собою нижню поверхню. На цей раз кут, утворений між реберною

частиною 37 і внутрішньою круговою поверхнею P2, відрізняється на розташованому вище за напрямком потоку води боці та розташованому нижче за напрямком потоку води боці. Тобто кут, утворений між реберною частиною 37 і внутрішньою круговою поверхнею P2 на розташованому вище за напрямком потоку боці, є невеликим кутом в порівнянні з кутом, утвореним між

5 реберною частиною 37 і внутрішньою круговою поверхнею P2 на розташованому нижче за напрямком потоку боці. Тобто в реберній частині 37 по відношенню до напрямку потоку води градієнт розташування згаданого розташованого вище за напрямком потоку боку є крутим, у той час як градієнт розташування розташованого нижче за напрямком потоку боку є пологим.

[0096] Крім того, як показано на Фіг. 9, реберна частина 37 трубки 35 стінки топкової камери виконана так, що формі перерізу, який виконаний перпендикулярно напрямку осі трубки, надана форма трикутника, де внутрішня кругова поверхня P2 являє собою нижню поверхню. На цей раз кут, утворений між реберною частиною 37 і внутрішньою круговою поверхнею P2, відрізняється на розташованому вище за напрямком повороту води та розташованому нижче за напрямком повороту води боці. Тобто кут, утворений між реберною частиною 37 і внутрішньою круговою

10 поверхнею P2 на розташованому вище за напрямком повороту води боці, є невеликим кутом в порівнянні з кутом, утвореним між реберною частиною 37 і внутрішньою круговою поверхнею P2 на розташованому нижче за напрямком повороту води боці. Тобто в реберній частині 37 по відношенню до напрямку повороту води градієнт розташування розташованого вище за напрямком повороту води боку є крутим, у той час як градієнт розташування розташованого

15 нижче за напрямком повороту води боку є пологим.

[Другий варіант здійснення цього винаходу]

[0097] Далі, з посиланням на Фіг. 10-13, буде описана трубка 35 стінки топкової камери, яка відповідає другому варіанту здійснення цього винаходу. Фіг. 10 являє собою пояснювальний вид, який ілюструє взаємозв'язок між потоком під час переходу над виступом

25 (зворотноступінчастим потоком) і коефіцієнтом теплопередачі. Фіг. 11 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні трубки стінки згаданої топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. Фіг. 12 являє собою графік одного з прикладів температури поверхні трубки стінки згаданої топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. Фіг. 13 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за другим варіантом здійснення цього винаходу. Крім того, у другому варіанті здійснення цього винаходу для того, щоб уникнути повторного опису, будуть описані тільки частини, які відрізняються від частин

30 першого варіанта здійснення цього винаходу, частини тих самих конфігурацій, що і частини за першим варіантом здійснення цього винаходу, позначені тими самими позиціями. Нижче буде описана форма трубки 35 стінки топкової камери, яка відповідає другому варіанту здійснення цього винаходу.

[0098] Вміст трубки 35 стінки топкової камери входить в стан надкритичного тиску, і вода тече в цьому стані. На цей раз трубка 35 стінки топкової камери за другим варіантом здійснення цього винаходу, яку нагрівають із застосуванням камери згоряння 22, має форму з високим коефіцієнтом теплопередачі, з одночасним запобіганням явищу зменшення теплопередачі.

[0099] Між іншим, оскільки внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском, вода тече в однофазному стані. Крім того, оскільки вода тече в напрямку осі трубки, вода стає потоком, який протікає над реберною частиною 37, і у той самий

45 час із застосуванням реберної частини 37 йому надають обертової сили. На цей раз потік, що протікає над реберною частиною 37, являє собою так званий зворотноступінчастий потік. Взаємозв'язок між зворотноступінчастим потоком і коефіцієнтом теплопередачі буде описаний з посиланням на Фіг. 10.

[0100] Фіг. 10 являє собою пояснювальний вид, який ілюструє взаємозв'язок між потоком (зворотноступінчастим потоком) під час переходу над виступом і коефіцієнтом теплопередачі. Проточний канал 100, крізь який протікає рідина, показаний на Фіг. 10, являє собою проточний канал, в якому з нижньої поверхні P4 виступає ступінчаста частина 101. Крім того, ділянка, на

50 який утворена нижня поверхня P4, являє собою канавкову частину 102. У цьому разі проточний канал 100 відповідає внутрішньому проточному каналу трубки 35 стінки топкової камери. Крім того, ступінчаста частина 101 відповідає реберній частині 37 трубки 35 стінки топкової камери. Крім того, канавкова частина 102 відповідає канавковій частині 36 трубки 35 стінки топкової камери. Крім того, рідина, що тече крізь проточний канал 100, відповідає воді як теплоносію. Заздалегідь визначеній напрямком потоку рідини відповідає напрямку потоку води по осі трубки.

[0101] У випадку, коли рідина тече в заздалегідь визначеному напрямку потоку в проточному

60 каналі 100, вона тече по ступінчастій частині 101 і потім відокремлюється в кутовій частині

ступінчастої ділянки 101. Відокремлена рідина повторно приєднується до нижньої поверхні Р4 канавкової частини 102 в точці повторного приєднання О. Після цього вода, повторно приєднана до нижньої поверхні Р4 канавкової частини 102, тече у розташований нижче за потоком бік уздовж нижньої поверхні Р4.

5 [0102] На цей раз коефіцієнт теплопередачі нижньої поверхні Р4 при заздалегідь визначеному напрямку потоку відповідає показаному на Фіг. 10, де коефіцієнт теплопередачі є найвищим у точці повторного приєднання О, і цей коефіцієнт теплопередачі знижується по мірі віддалення від точки повторного приєднання О у напрямку до розташованого вище за потоком боку та у напрямку до розташованого нижче за потоком боку. Тому для того, щоб покращити

10 коефіцієнт теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери, необхідно відповідним чином відрегулювати положення точки повторного приєднання О.

[0103] У цьому випадку положення точки повторного приєднання О можна регулювати шляхом зміни висоти ребра Нг і ширини ребра Wг. Тобто положення точки повторного приєднання О можна задати там, де коефіцієнт теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери є високим, шляхом задання висоти ребра Нг і ширини ребра Wг для оптимальної форми.

15 [0104] Тому трубці 35 стінки топкової камери надають такої форми, при якій малий внутрішній діаметр d1, великий внутрішній діаметр d2, зовнішній діаметр D трубки, ширина канавки Wg, ширина ребра Wг, відстань між ребрами Pг, кількість ребер Nr, висота ребра Нг і довжина змоченого периметра L задовольняють формулу співвідношення, описану нижче.

20 [0105] В трубці 35 стінки топкової камери ширина канавки Wg, висота ребра Нг і зовнішній діаметр D трубки задовольняють формулу співвідношення " $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$ " (далі посилання як на Формулу (1)). У випадку, коли " $Wg/(Hr \cdot D) = F$ ", співвідношення становить " $F > 0,40$ ". На цей раз висота ребра Нг становить " $Hr > 0$ ", а реберній частині 37 надана така форма, що вона виступає в радіальному напрямку досередини. Крім того, висота ребра Нг, відстань між ребрами Pг, ширина ребра Wг, кількість ребер Nr і довжина змоченого периметра L задовольняють формулу співвідношення " $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wг) > 0,40L + 9,0$ " (далі посилання як на Формулу (2)). Незважаючи на те, що подробиці будуть описані нижче, наданням формі трубки 35 стінки топкової камери такої форми, яка задовольняє описані вище дві формули співвідношення, можна підвищити

25 коефіцієнт теплопередачі, з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0106] Кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37, що має спіральну форму, стає кутом, який задовольняє вищезгадану формулу співвідношення. Крім того, вказаний кут підйому гвинтової лінії є кутом по відношенню до напрямку осі трубки, якщо кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 становить 0° , він стає напрямком уздовж напрямку осі трубки, а якщо кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 становить 90° , він стає напрямком вздовж кругового напрямку. У цьому випадку кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 також належним

30 чиним змінюють в залежності від кількості реберних частин 37. Тобто, якщо кількість реберних частин 37 є великою, кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 стає пологим кутом (наближається до 0°), у той самий час, якщо кількість реберних частин 37 є невеликою, то кут підйому гвинтової лінії реберної частини 37 стає крутим кутом (наближається до 90°).

[0107] Далі, з посиланням на Фіг. 11 і Фіг. 12, будуть описані зміни температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. Фіг. 11 і Фіг. 12 являють собою графіки одного з прикладів температури поверхні стінки трубки згаданої стінки топкової камери, яка змінюється в залежності від ентальпії. У цьому випадку на

45 горизонтальних осях Фіг. 11 і Фіг. 12 показана ентальпія стінки 31 топкової камери (трубки 35 стінки топкової камери), а на вертикальних осях цих фігур показана температура поверхні стінки трубки (температура трубки 35 стінки топкової камери).

[0108] Як показано на Фіг. 11 і Фіг. 12, F₁ являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки при " $F = 0,35$ ", і відповідає формі звичайної трубки 35 стінки топкової камери, яка не задовольняє формулу співвідношення у першому варіанті здійснення цього винаходу. Крім того, F₂ являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки при " $F > 0,40$ ", і відповідає формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє Формулу (1) за другим варіантом здійснення цього винаходу. На додаток до цього F₄ являє собою графік, який ілюструє зміну температури поверхні стінки трубки у разі задоволення двох

55 формул співвідношення " $F > 0,40$ " і " $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wг) > 0,40L + 9,0$ ", і відповідає формі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє дві формули співвідношення за другим варіантом здійснення цього винаходу. На додаток до цього T_w являє собою графік, який ілюструє зміну температури (температура плинного середовища) води, яка тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, та T_{max} являє собою критичну температуру трубки, яка є прийнятною

60 для трубки 35 стінки топкової камери.

[0109] На Фіг. 11 показана масова швидкість води, яка тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, стає низькою масовою швидкістю, при якій може бути забезпечена стабільність потоку води всередині трубки 35 стінки топкової камери, і внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском. Зокрема, незважаючи на те, що низька масова швидкість розрізняється залежно від розмірів зовнішнього діаметра D трубки, малого внутрішнього діаметра d_1 і великого внутрішнього діаметра d_2 , але, наприклад, при роботі котла 10 при номінальній вихідній потужності середня масова швидкість трубки 35 стінки топкової камери становить від 1000 (кг/м²с) або більше і до 2000 (кг/м²с) або менше. Крім того, у разі досягнення масової швидкості потоку, при якій може бути забезпечена стабільність потоку води всередині трубки 35 стінки топкової камери, ця масова швидкість потоку не обмежується описаним вище діапазоном. Крім того, за другим варіантом здійснення цього винаходу номінальна вихідна потужність стає номінальною електричною потужністю в генераторі теплового енергоблоку 1.

[0110] Як показано на Фіг. 11, у випадку F_1 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, температура поверхні стінки трубки тимчасово зростає. Тобто у випадку F_1 було перевірено, що при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, має місце явище зменшення теплопередачі, при якому коефіцієнт теплопередачі знижується при надкритичному тиску.

[0111] Водночас, як показано на Фіг. 11, у випадку F_2 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, в порівнянні з випадком F_1 , температура поверхні стінки трубки поступово збільшується. Тобто у випадку F_2 було перевірено, що навіть при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, відбувається запобігання зниженню коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску, і можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі в трубі 35 стінки топкової камери. Тобто було перевірено, що форма трубки 35 стінки топкової камери, що задовольняє Формулу (1), може запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0112] Крім того, як показано на Фіг. 11, у випадку F_4 визнано, що температура поверхні стінки труби зменшується, в порівнянні з випадком F_2 , від малої до великої ентальпії. Тобто у випадку F_4 було перевірено, що коефіцієнт теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери підвищується в порівнянні з випадком F_2 незалежно від величини кількості тепла, що подається на трубку 35 стінки топкової камери, і навіть тоді, коли кількість теплоти, що подається на трубку 35 стінки топкової камери, збільшується, відбувається також запобігання зниженню коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску, і можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі в трубі 35 стінки топкової камери. Тобто було перевірено, що форма трубки 35 стінки топкової камери, що задовольняє Формулу (1) і Формулу (2), може підвищити коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0113] Далі, як показано на Фіг. 12, масова швидкість води, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, стає менше ніж у випадку, показаному на Фіг. 11, і стає мінімальною (нижня межа) масовою швидкістю, при якій котел 10 може працювати. Крім того, аналогічно показаному на Фіг. 11, внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери знаходиться під надкритичним тиском. Зокрема, незважаючи на те, що мінімальна масова швидкість розрізняється залежно від розмірів зовнішнього діаметра D трубки, малого внутрішнього діаметра d_1 і великого внутрішнього діаметра d_2 , але, наприклад, при роботі котла 10 при номінальній вихідній потужності середня масова швидкість трубки 35 стінки топкової камери становить 1500 (кг/м²с) або менше. Крім того, при встановленні мінімальної масової швидкості потоку, при якій може працювати котел 10, масова швидкість потоку не обмежується описаним вище діапазоном, і загальна нижня межа становить приблизно 700 кг/м²с.

[0114] Як показано на Фіг. 12, у випадку F_1 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, температура поверхні стінки трубки тимчасово зростає. Тобто у випадку F_1 було перевірено, що, коли теплоносій тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери з мінімальною масовою швидкістю і коли кількість теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, збільшується, має місце явище зменшення теплопередачі, у разі якого коефіцієнт теплопередачі знижується при надкритичному тиску.

[0115] Водночас, як показано на Фіг. 12, у випадку F_2 визнано, що при зростанні ентальпії, тобто при збільшенні кількості теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, температура поверхні стінки трубки поступово збільшується в порівнянні з випадком F_1 , але

перевищує критичну температуру трубки T_{\max} .

[0116] На противагу цьому, як показано на Фіг. 12, у випадку F_4 було перевірено, що температура поверхні стінки трубки зменшується від малої до великої ентальпії в порівнянні з випадком F_2 . Тобто у випадку F_4 було перевірено, що коефіцієнт теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери підвищується в порівнянні з випадком F_2 незалежно від кількості тепла, підведеного до трубки 35 стінки топкової камери. Крім того, було перевірено, що навіть тоді, коли теплоносій тече крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери з мінімальною масовою швидкістю і кількість теплоти, що підводиться до трубки 35 стінки топкової камери, є великою, відбувається запобігання зниженню коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску, і можна запобігти виникненню явища зменшення теплопередачі в трубці 35 стінки топкової камери. Тобто було перевірено, що форма трубки 35 стінки топкової камери, що задовольняє Формулу (1) і Формулі (2), може підвищити коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0117] Далі з посиланням на Фіг. 13 буде описано зв'язок між графіком, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра, та ділянкою відповідно до F_4 . Фіг. 13 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за другим варіантом здійснення цього винаходу. На графіку Фіг. 13 горизонтальна вісь являє собою довжину змоченого периметра L , а вертикальна вісь являє собою " $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wr)$ ".

[0118] S_1 на Фіг. 13 являє собою лінію " $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wr) = 0,40L + 9,0$ ", а ділянка відповідно до F_4 , стає ділянкою, на якій значення $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wr)$ стає значенням більшим ніж S_1 . Тобто трубка 35 стінки топкової камери за другим варіантом здійснення цього винаходу може мати форму, яка може підвищити коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі шляхом встановлення висоти ребра H_r , відстані між ребрами P_r , ширини ребра W_r і кількості ребер N_r , а також довжини змоченого периметра L відповідно до форм, які знаходяться в межах ділянки F_4 .

[0119] Як описано вище, відповідно до конфігурації за другим варіантом здійснення цього винаходу, в трубці 35 стінки топкової камери, внутрішній простір якої знаходиться під надкритичним тиском, задовольняючи умови " $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$ " і " $(Pr \cdot Nr)/(Hr \cdot Wr) > 0,40L + 9,0$ ", можна підвищити коефіцієнт теплопередачі з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі. Тому підвищенням коефіцієнта теплопередачі при надкритичному тиску з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі можна запобігти збільшенню температури трубки (температури поверхні стінки трубки згаданої стінки 31 топкової камери) вище величини ентропії.

[0120] Крім того, відповідно до конфігурації за другим варіантом здійснення цього винаходу навіть тоді, коли вода, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, має низьку масову швидкість (середня масова швидкість від $1000 \text{ кг/м}^2\text{с}$ до $2000 \text{ кг/м}^2\text{с}$), і до води підводиться високий питомий тепловий потік, або коли масова швидкість води, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, є зниженою (середня масова швидкість дорівнює або є меншою ніж $1500 \text{ кг/м}^2\text{с}$), можна підвищити коефіцієнт теплопередачі при надкритичному тиску з одночасним запобіганням виникненню явища зменшення теплопередачі.

[0121] Крім того, відповідно до конфігурації за другим варіантом здійснення цього винаходу, трубка 35 стінки топкової камери, що задовольняє вищезгадану формулу співвідношення, може бути застосована у парогенераторі, що працює з надкритичним змінним тиском з топкою вертикального трубчастого типу. Тому, оскільки виникненню явища зменшення теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери можна запобігти при надкритичному тиску, можна відповідним чином підтримувати передачу тепла від трубки 35 стінки топкової камери до води, і можна стабільно виробляти пару.

[0122] Крім того, відповідно до конструкції за другим варіантом здійснення цього винаходу, котел 10, що має трубку 35 стінки топкової камери, може бути застосований у тепловому енергоблоці 1, що використовує парову турбину 11. Таким чином, оскільки пара може стабільно вироблятися в котлі 10, і цю пару можна стабільно подавати на парову турбину 11, і тому парова турбіна 11 може також стабільно працювати.

[0123] У другому варіанті здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що трубка 35 стінки топкової камери, яка функціонує як теплопередавальна трубка, застосована у звичайному котлі, і звичайний котел застосований у тепловому енергоблоці 1, цей винахід не обмежується цією конфігурацією. Наприклад, теплопередавальна трубка, яка задовольняє вищезгадану формулу

співвідношення, може бути застосована в котлі-утилізаторі тепла відхідних газів, і цей котел-утилізатор тепла відхідних газів може бути застосований в парогазовій установці з внутрішньоцикловою газифікацією вугілля (IGCC). Тобто, якщо прямооточний котел пристосований для роботи з теплопередавальною трубкою, внутрішній простір якої знаходиться під надкритичним тиском, вона може бути застосована у будь-якому котлі.

[0124] Більше того, незважаючи на те, що форма реберної частини 37 трубки 35 стінки топкової камери не має конкретних обмежень у другому варіанті здійснення цього винаходу, наприклад, як і у першому варіанті здійснення цього винаходу, це може бути форма, показана на Фіг. 6-9.

[Третій варіант здійснення цього винаходу]

[0125] Далі, з посиланням на Фіг. 14, буде описана трубка 35 стінки топкової камери, яка відповідає третьому варіанту здійснення. Фіг. 14 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за третім варіантом здійснення цього винаходу. Крім того, й у третьому варіанті здійснення цього винаходу, щоб уникнути повторного опису, будуть описані тільки частини, що відрізняються від частин першого і другого варіантів здійснення цього винаходу, а частини тих самих форм, що і частини за першим та другим варіантами здійснення цього винаходу, позначені тими ж самими позиціями. Незважаючи на те, що зовнішній діаметр D трубки в другому варіанті здійснення цього винаходу конкретно не згадувався, зовнішній діаметр D трубки 35 стінки топкової камери у третьому варіанті здійснення цього винаходу виконаний так, що відповідає умові " $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$ ". Нижче буде описана трубка 35 стінки топкової камери, яка відповідає третьому варіанту здійснення цього винаходу.

[0126] Як описано у другому варіанті здійснення цього винаходу середня масова швидкість води, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, становить від 1000 ($\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$) або більше до 2000 ($\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$) чи менше або дорівнює 1500 ($\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$) чи менше, або дорівнює чи є більшою ніж мінімальна масова швидкість, при якій котел 10 може працювати. Отже масова швидкість води, що протікає крізь внутрішній простір трубки 35 стінки топкової камери, стає заздалегідь заданою масовою швидкістю. Причина полягає в тому, що для досягнення оптимального коефіцієнта теплопередачі трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє Формулу (1) і Формулу (2), шляхом встановлення масової швидкості в межах описаного вище діапазону, положення точки повторного приєднання O , показане на Фіг. 10, займає оптимальне положення. На цей раз, коли зовнішній діаметр D трубки 35 стінки топкової камери зменшується, масова швидкість потоку підвищується, у той самий час коли зовнішній діаметр D трубки збільшується, масова швидкість потоку зменшується. У випадку, коли розмір зовнішнього діаметра D трубки 35 стінки топкової камери є занадто великим або занадто малим, масова швидкість потоку відхиляється від описаного вище діапазону, в результаті чого положення точки повторного приєднання O , показане на Фіг. 10, може змінюватись від оптимального положення. Тому, щоб досягнути масової швидкості потоку, яка підходить для форми трубки 35 стінки топкової камери, яка задовольняє Формулу (1) і Формулу (2), зовнішній діаметр D трубки 35 стінки топкової камери стає діапазоном, який буде описаний нижче.

[0127] У третьому варіанті здійснення цього винаходу зовнішній діаметр D трубки 35 стінки топкової камери відповідає умові " $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$ ". У цьому випадку, як показано на Фіг. 14, ділянка, визначена зовнішнім діаметром D трубки діапазоном " $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$ ", являє собою ділянку, яка розташована між двома лініями S_2 . Тобто довжину змоченого периметра L визначають в залежності від зовнішнього діаметра D трубки як чинник, при цьому, коли зовнішній діаметр D трубки збільшується, довжина змоченого периметра L збільшується, а коли зовнішній діаметр D трубки зменшується, довжина змоченого периметра L зменшується. Крім того, з цих двох ліній S_2 , ліва лінія S_2 на Фіг. 14 являє собою лінію зовнішнього діаметра трубки " $D=25 \text{ мм}$ ", а права лінія S_2 на Фіг. 14 являє собою лінію зовнішнього діаметра трубки " $D=35 \text{ мм}$ ". Крім того, трубка 35 стінки топкової камери за третім варіантом здійснення цього винаходу має форму, у разі якої висота ребра H_r , відстань між ребрами P_r , ширина ребра W_r , кількість ребер N_r і довжина змоченого периметра L потрапляють в межі перекритої ділянки, на якій ділянка F_4 , визначена лінією S_1 , і ділянка, розташована між двома лініями S_2 , перекривають одна іншу.

[0128] Як описано вище, відповідно до конфігурації за третім варіантом здійснення цього винаходу встановленням зовнішнього діаметра D трубки, який відповідає умові " $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$ ", масова швидкість потоку води може бути встановлена у межах описаного вище діапазону, і масова швидкість потоку води може бути встановлена на рівні прийнятної масової швидкості потоку. Тому, оскільки можливе досягнення масової швидкості потоку, яка підходить для форми

трубки 35 стінки топкової камери, що задовольняє Формулу (1) і Формулу (2), положення точки повторного приєднання O може бути приведенне оптимальне положення, і можуть бути досягнуті оптимальні значення коефіцієнта теплопередачі.

[Четвертий варіант здійснення цього винаходу]

5 [0129] Далі, з посиланням на Фіг. 15, буде описана трубка 35 стінки топкової камери, яка відповідає четвертому варіанту здійснення цього винаходу. Фіг. 15 являє собою графік, який ілюструє співвідношення між висотою ребра H_r , відстанню між ребрами P_r , шириною ребра W_r і кількістю ребер N_r , яке змінюється в залежності від довжини змоченого периметра L , щодо трубки стінки топкової камери за четвертим варіантом здійснення цього винаходу. Крім того, й у четвертому варіанті здійснення цього винаходу, щоб уникнути повторного опису, будуть описані тільки частини, що відрізняються від частин першого, другого та третього варіантів здійснення цього винаходу, і частини тих самих конфігурацій, що і частини за першим, другим та третім варіантами здійснення цього винаходу, позначені тими самими позиціями. У четвертому варіанті здійснення цього винаходу верхнє граничне значення визначено за Формулою (2).
10
15 Нижче буде описана трубка 35 стінки топкової камери, яка відповідає четвертому варіанту здійснення цього винаходу.

[0130] В трубці 35 стінки топкової камери за четвертим варіантом здійснення цього винаходу висота ребра H_r , відстань між ребрами P_r , ширина ребра W_r , кількість ребер N_r і довжина змоченого периметра L задовольняють формулу співвідношення " $(P_r \cdot N_r) / (H_r \cdot W_r) < 0,40L + 80$ " (далі посилання як на Формулу (3)), на додаток до Формули (1) і Формули (2). Тобто, коли Формула (2) і Формула (3) об'єднані, трубка 35 стінки топкової камери за третім варіантом здійснення цього винаходу опиняється в діапазоні " $0,40L + 9,0 < (P_r \cdot N_r) / (H_r \cdot W_r) < 0,40L + 80$ ".
20

[0131] У цьому випадку у Формулі (2), тобто у Формулі " $(P_r \cdot N_r) / (H_r \cdot W_r) > 0,40L + 9,0$ ", оскільки верхня межа " $(P_r \cdot N_r) / (H_r \cdot W_r)$ " не встановлена то, коли формула на лівому боці стрімко зростає, одержують напрямком, в якому відстань між ребрами P_r збільшується, число ребер N_r збільшується, висота ребра H_r стає рівною нулю і ширина ребра W_r стає рівною нулю. У цьому випадку не легко підтримувати форму трубки 35 стінки топкової камери.
25

[0132] Отже у четвертому варіанті здійснення цього винаходу у Формулі (3) встановлюється верхнє граничне значення. У цьому випадку, як показано на Фіг. 15, лінія S_3 являє собою " $(P_r \cdot N_r) / (H_r \cdot W_r) = 0,40L + 80$ ". Крім того, трубка 35 стінки топкової камери за четвертим варіантом здійснення цього винаходу має форму, у разі якої висота ребра H_r , відстань між ребрами P_r , ширина ребра W_r , кількість ребер N_r і довжина змоченого периметра L потрапляють в межі перекритої ділянки, на якій ділянка F_4 , яка визначена лінією S_1 , ділянка, яка розташована між двома лініями S_2 , і ділянка, яка є меншою за лінію S_3 , перекривають одна інших. Тобто трубка 35 стінки топкової камери за четвертим варіантом здійснення цього винаходу має висоту ребра H_r , відстань між ребрами P_r , ширину ребра W_r , кількість ребер N_r і довжину змоченого периметра L на ділянці, оточеній лінією S_1 , двома лініями S_2 і лінією S_3 .
30
35

[0133] Як описано вище, відповідно до конфігурації за четвертим варіантом здійснення цього винаходу, в результаті визначення верхнього граничного значення за Формулою (3), трубку 35 стінки топкової камери можна легко підтримувати у відповідній формі без відхилення від висоти ребра H_r , відстані між ребрами P_r , ширини ребра W_r , кількості ребер N_r і довжини змоченого периметра L .
40

[0134] В першому-четвертому варіантах здійснення цього винаходу, незважаючи на те, що напрямком повороту канавкової частини 36 і реберної частини, що мають спіральну форму, не має конкретних обмежень, напрямком повороту може бути напрямком за годинниковою стрілкою, може бути напрямком проти годинникової стрілки, і не має конкретних обмежень.
45

Перелік позицій

[0135] 1 ТЕПЛОВИЙ ЕНЕРГОБЛОК
10 КОТЕЛ
50 11 ПАРОВА ТУРБІНА
21 ТОПКА
22 КАМЕРА ЗГОРЯННЯ
31 СТІНКА ТОПКОВОЇ КАМЕРИ
35 ТРУБКА СТІНКИ ТОПКОВОЇ КАМЕРИ
55 36 КАНАВКОВА ЧАСТИНА
37 РЕБЕРНА ЧАСТИНА
100 ПРОТОЧНИЙ КАНАЛ
101 СТУПІНЧАСТА ЧАСТИНА
102 КАНАВКОВА ЧАСТИНА
60 D ЗОВНІШНІЙ ДІАМЕТР ТРУБКИ

d1 МАЛИЙ ВНУТРІШНІЙ ДІАМЕТР
d2 ВЕЛИКИЙ ВНУТРІШНІЙ ДІАМЕТР
Wg ШИРИНА КАНАВКИ
Wr ШИРИНА РЕБРА
Hr ВИСОТА РЕБРА
P1 ВНУТРІШНЯ КРУГОВА ПОВЕРХНЯ
P2 ВНУТРІШНЯ КРУГОВА ПОВЕРХНЯ
P3 ЗОВНІШНЯ КРУГОВА ПОВЕРХНЯ
P4 НИЖНЯ ПОВЕРХНЯ
L ДОВЖИНА ЗМОЧЕНОГО ПЕРИМЕТРА
O ТОЧКА ПОВТОРНОГО ПРИЄДНАННЯ
Pr ВІДСТАНЬ МПК РЕБЕРНИМИ ЧАСТИНАМИ
Nr КІЛЬКІСТЬ РЕБЕР

5

10

15

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

20

25

30

35

40

45

50

55

60

1. Теплопередавальна трубка, що встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносій, яка включає в себе:

канавкову частину, яка сформована на внутрішній круглій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки; і

реберну частину, яка сформована так, що виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми,

причому на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, коли ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Wg, висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як Hr, а зовнішній діаметр теплопередавальної трубки [мм] визначений як D,

ширина Wg [мм] канавкової частини, висота Hr [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки задовольняють умову $Wg/(Hr \cdot D) > 0,40$.

2. Теплопередавальна трубка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, становить 1000-2000 кг/м²с.

3. Теплопередавальна трубка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що, коли відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Pr, кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як Nr, і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L, висота Hr [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, кількість реберних частин Nr і довжина змоченого периметра L [мм] задовольняють умову $(Pr \cdot Nr)/Hr > l, 25L + 55$.

4. Теплопередавальна трубка за п. 3, яка **відрізняється** тим, що коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, дорівнює або є меншою ніж 1500 кг/м²с.

5. Теплопередавальна трубка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки дорівнює $25 \text{ мм} \leq D \leq 40 \text{ мм}$.

6. Теплопередавальна трубка, що встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносій, яка включає в себе:

канавкову частину, яка сформована на внутрішній круглій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки; і

реберну частину, яка сформована так, що виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми,

причому, коли висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як Hr, відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Pr, кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як Nr, і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L,

висота H_r [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, кількість N_r реберних частин (37) і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову $(Pr \cdot Nr)/H_r > 1,25L + 55$.

7. Теплопередавальна трубка за п. 6,

5 яка **відрізняється** тим, що, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, дорівнює або є меншою ніж $1500 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

8. Теплопередавальна трубка за п. 6,

10 яка **відрізняється** тим, що на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, коли ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як W_g , а зовнішній діаметр [мм] теплопередавальної трубки визначений як D ,

ширина W_g [мм] канавкової частини, висота H_r [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки задовольняють умову $W_g/(H_r \cdot D) > 0,40$.

15 9. Теплопередавальна трубка за п. 8,

яка **відрізняється** тим, що, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стіну топкової камери, становить $1000-2000 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

10. Теплопередавальна трубка за п. 8,

20 яка **відрізняється** тим, що зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки становить $25 \text{ мм} \leq D \leq 40 \text{ мм}$.

11. Теплопередавальна трубка, що встановлена в котлі, при цьому внутрішній простір цієї теплопередавальної трубки знаходиться під надкритичним тиском, і крізь цей внутрішній простір протікає теплоносій, яка включає в себе:

25 канавкову частину, яка сформована на внутрішній круглій поверхні і має спіральну форму в напрямку осі теплопередавальної трубки; і

реберну частину, яка сформована так, що виступає усередину в радіальному напрямку відносно канавкової частини спіральної форми,

причому, коли висота [мм] реберної частини в радіальному напрямку визначена як H_r , відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Pr , ширина [мм] реберної частини в круговому напрямку внутрішньої кругової поверхні визначена як W_r , кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як N_r , і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L ,

35 ширина [мм] канавкової частини в напрямку осі теплопередавальної трубки на перерізі, який виконаний вздовж напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як W_g , та зовнішній діаметр [мм] теплопередавальної трубки визначений як D ,

ширина W_g [мм] канавкової частини, висота H_r [мм] реберної частини і зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки задовольняють умову $W_g/(H_r \cdot D) > 0,40$, а

40 висота H_r [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, ширина W_r [мм] реберної частини, кількість N_r реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову $(Pr \cdot Nr)/(H_r \cdot W_r) > 0,40L + 9,0$.

12. Теплопередавальна трубка за п. 11,

45 яка **відрізняється** тим, що, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, становить $1000-2000 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

13. Теплопередавальна трубка за п. 11,

50 яка **відрізняється** тим, що, коли котел працює при номінальній вихідній потужності, середня масова швидкість теплоносія, який протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, яка утворює стінку топкової камери, дорівнює або є меншою за $1500 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

14. Теплопередавальна трубка за п. 12,

яка **відрізняється** тим, що зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки дорівнює $25 \text{ мм} \leq D \leq 35 \text{ мм}$.

15. Теплопередавальна трубка за п. 11,

55 яка **відрізняється** тим, що висота H_r [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, ширина W_r [мм] реберної частини, кількість N_r реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову $(Pr \cdot Nr)/(H_r \cdot W_r) < 0,40L + 80$.

16. Котел, що включає в себе теплопередавальну трубку за п. 1, яка застосовується як трубка стінки топкової камери, яка утворює стінку топкової камери котла, який працює при надкритичному тиску, коли працює з номінальною вихідною потужністю.

17. Котел, який нагріває теплоносія, що протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, шляхом нагрівання теплопередавальної трубки за п. 1 енергією, яка випромінюється полум'ям або високотемпературним газом.

18. Паротурбінна установка, що включає в себе:

5 котел за п. 16; і
парову турбіну, яка приводиться в дію паром, що виробляється шляхом нагрівання води як теплоносія, яка протікає крізь внутрішній простір теплопередавальної трубки, встановленої в котлі.

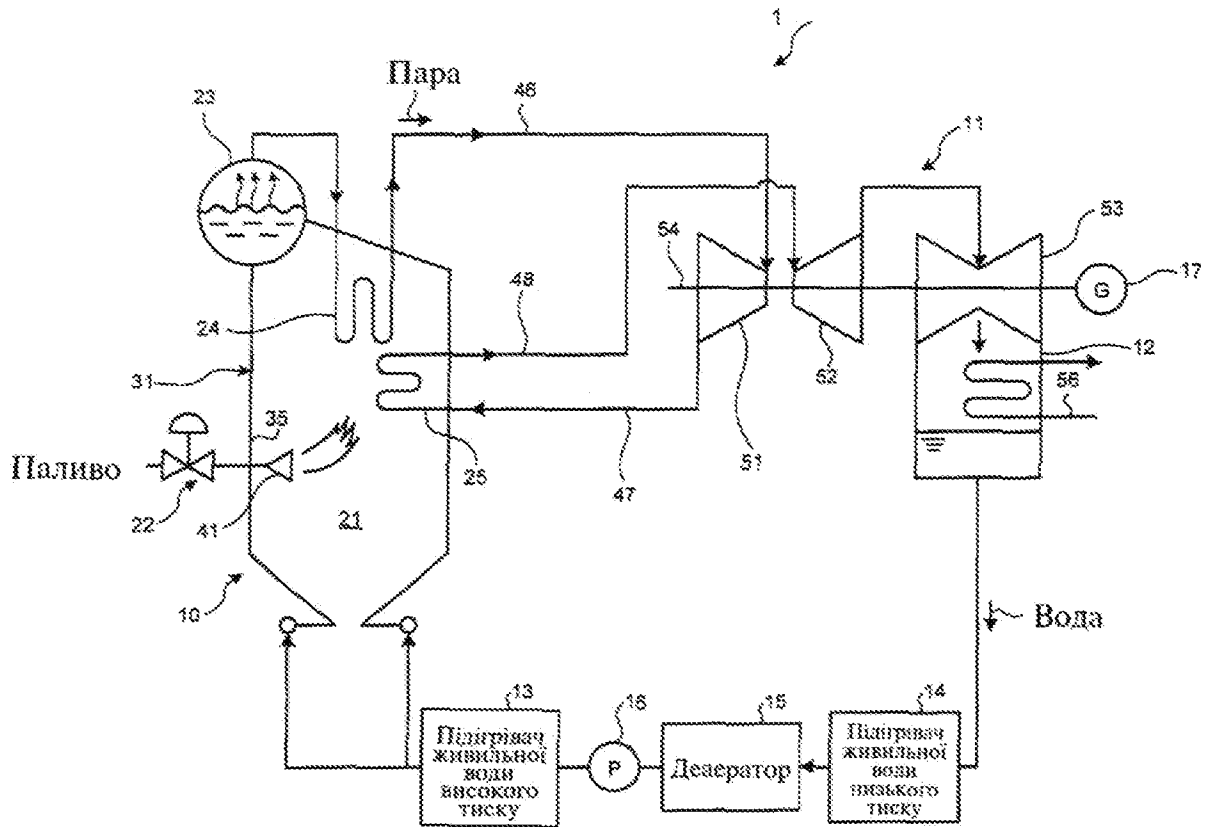
19. Теплопередавальна трубка за п. 2,

10 яка **відрізняється** тим, що, у разі, коли відстань [мм] між реберними частинами в напрямку осі теплопередавальної трубки визначена як Pr , кількість реберних частин на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як Nr , і довжина [мм] змоченого периметра на перерізі, який виконаний перпендикулярно напрямку осі теплопередавальної трубки, визначена як L ,

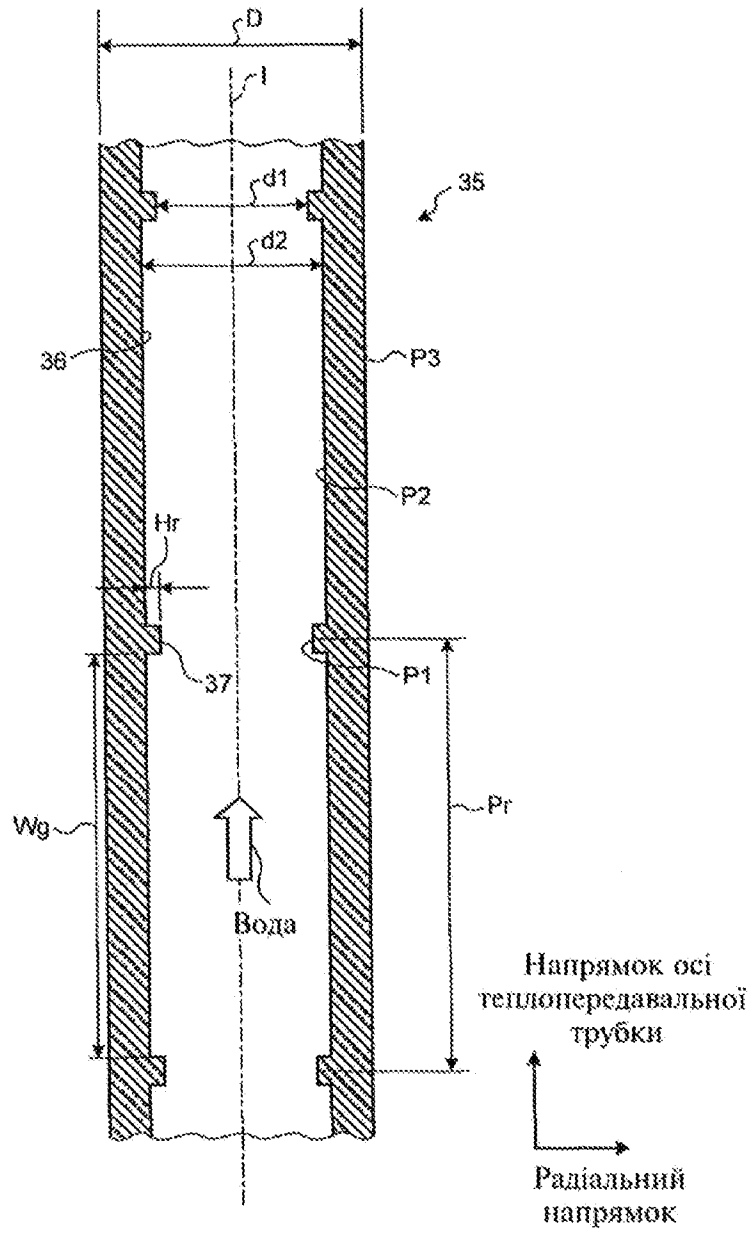
15 висота Hr [мм] реберної частини, відстань Pr [мм] між реберними частинами, кількість Nr реберних частин і довжина L [мм] змоченого периметра задовольняють умову $(Pr \cdot Nr) / Hr > 1,25L + 55$.

20. Теплопередавальна трубка за п. 2,

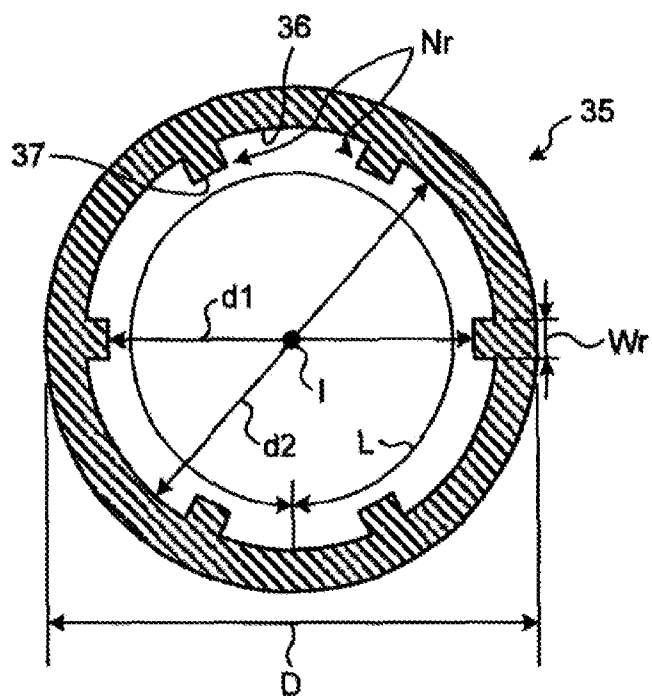
20 яка **відрізняється** тим, що зовнішній діаметр D [мм] теплопередавальної трубки становить $25 \text{ мм} \leq D \leq 40 \text{ мм}$.



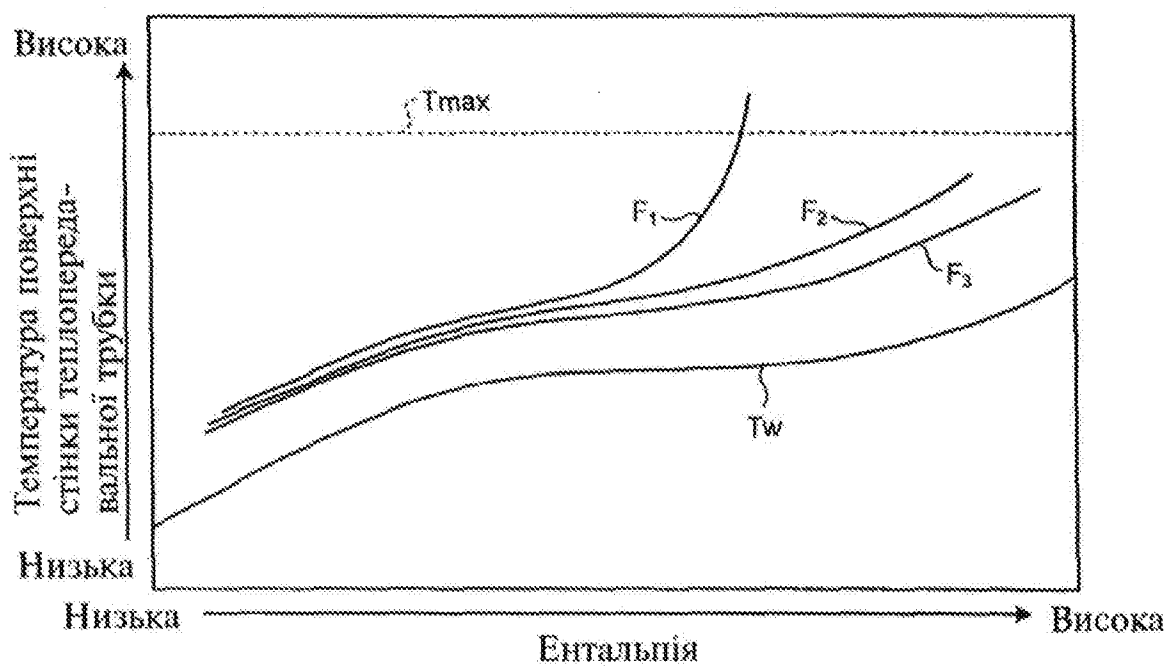
Фіг. 1



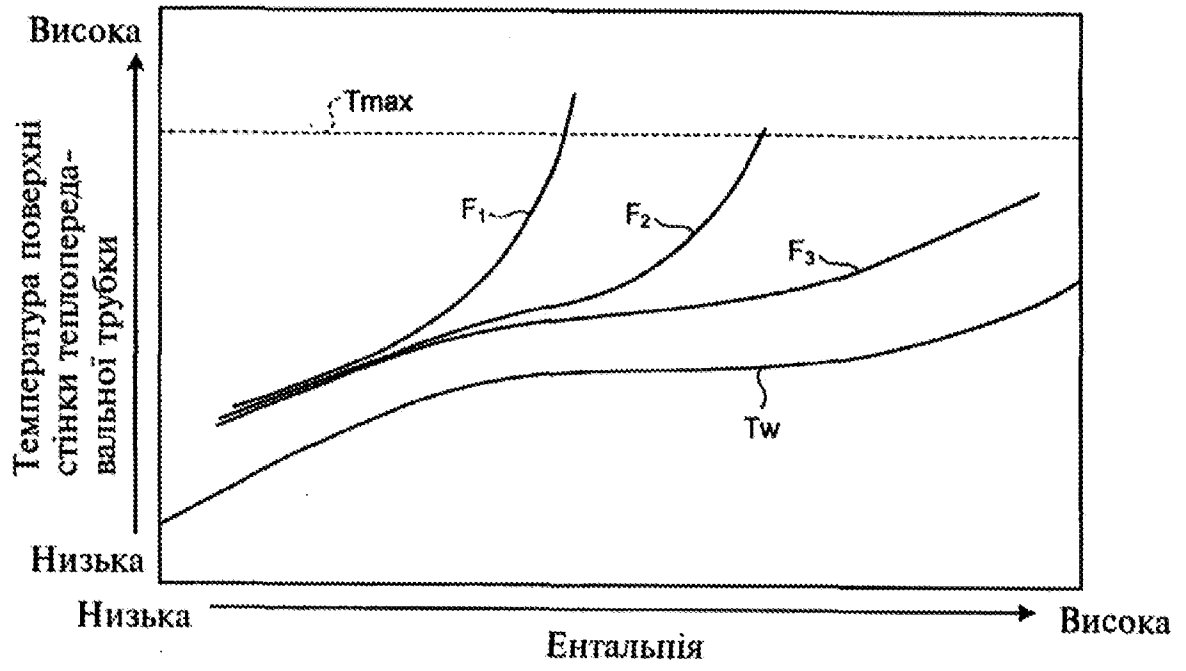
Фіг. 2



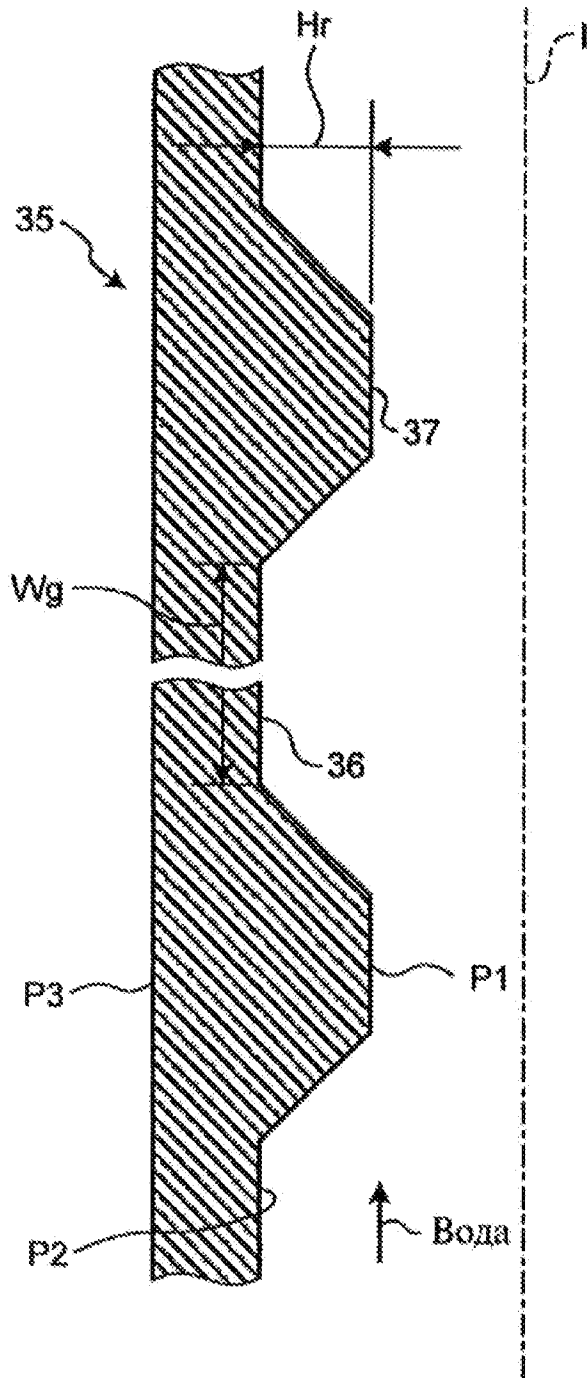
Фиг. 3



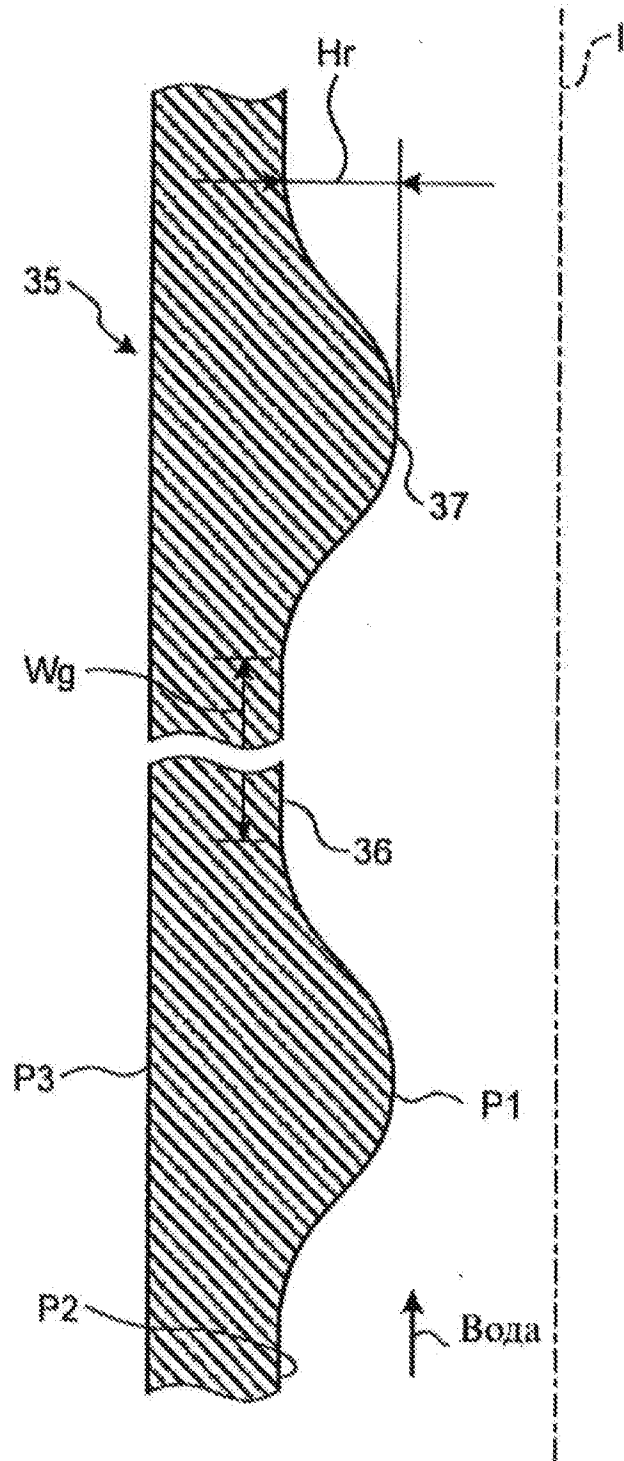
Фиг. 4



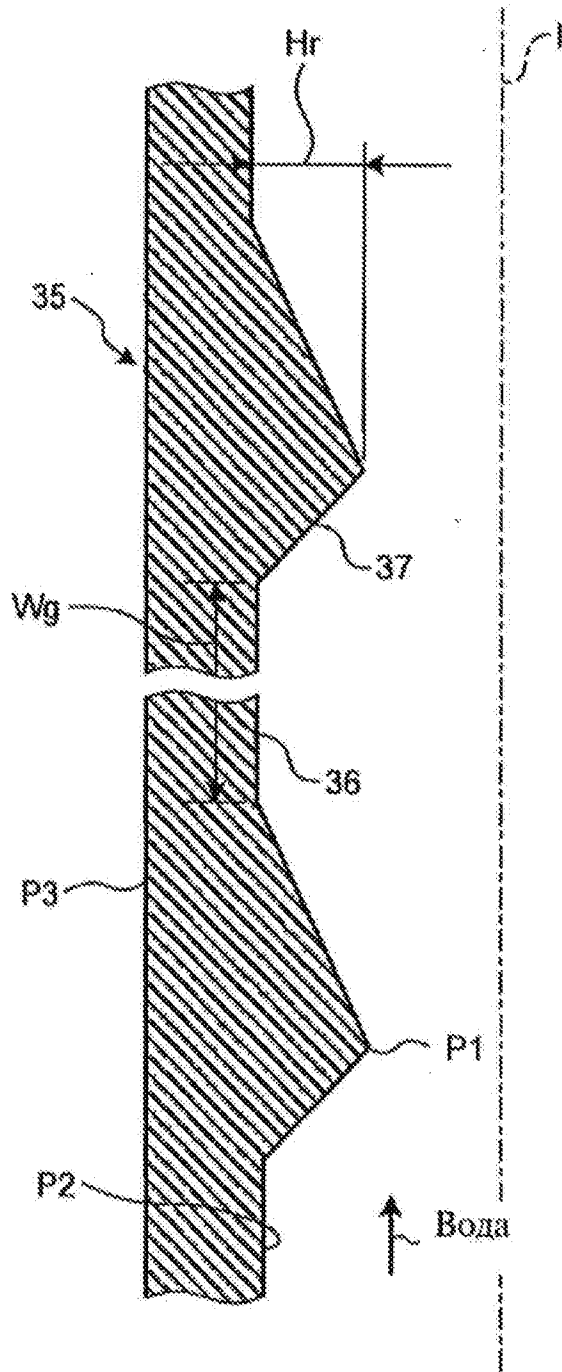
Фіг. 5



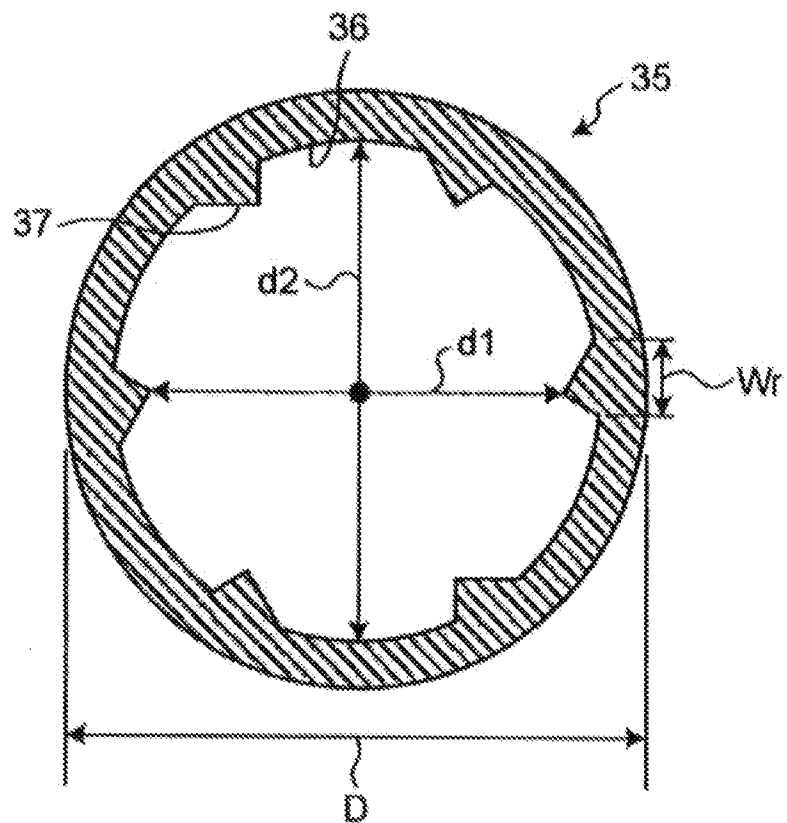
Фиг. 6



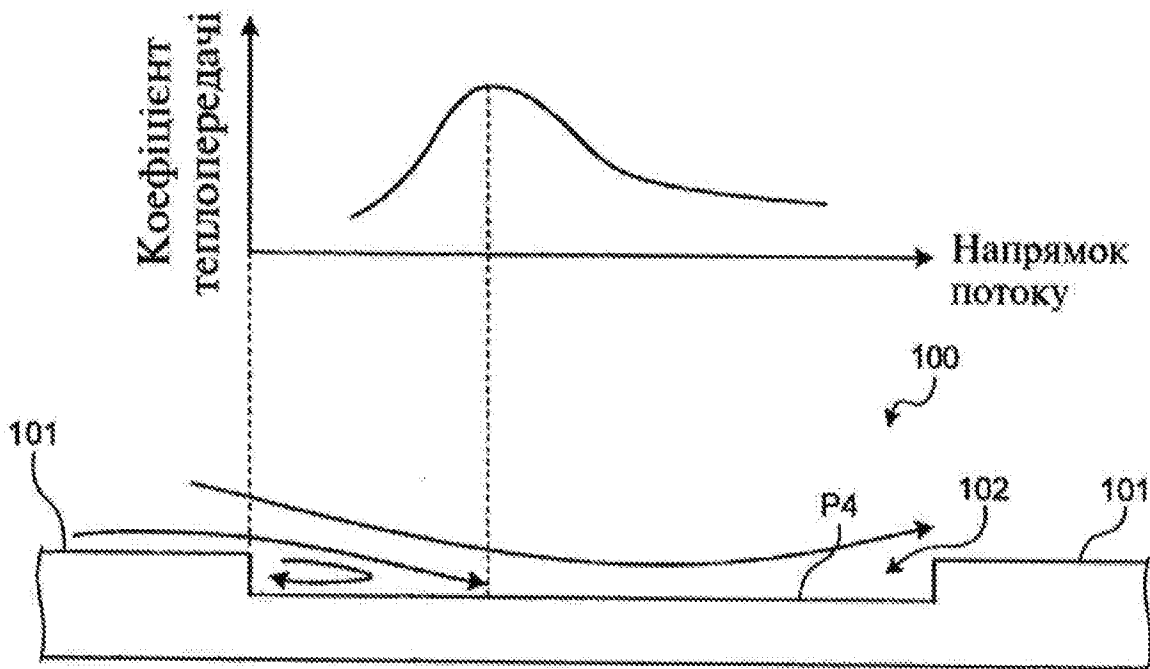
Фиг. 7



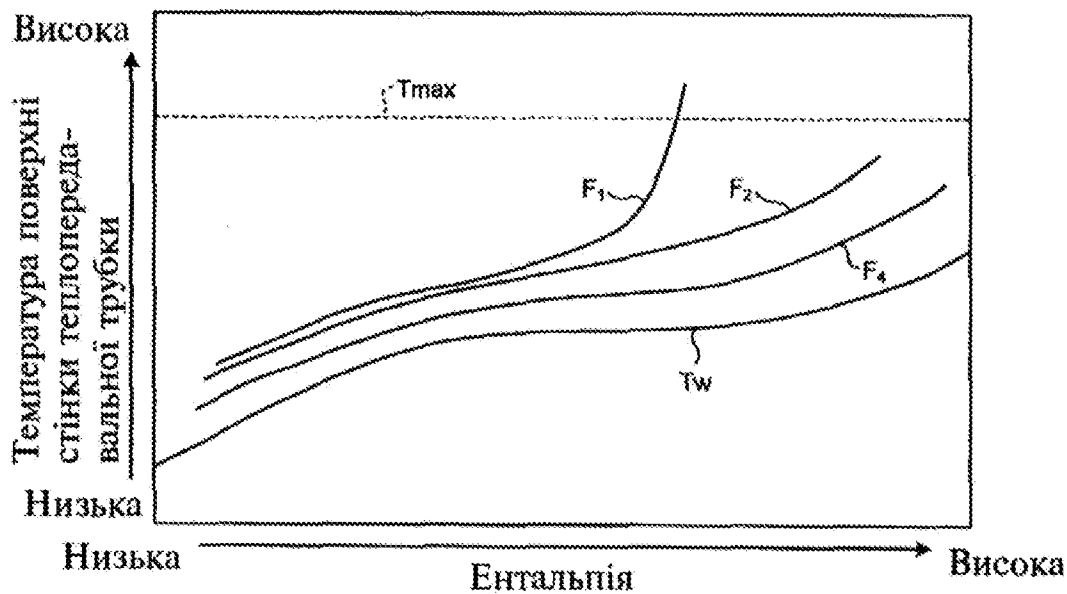
Фиг. 8



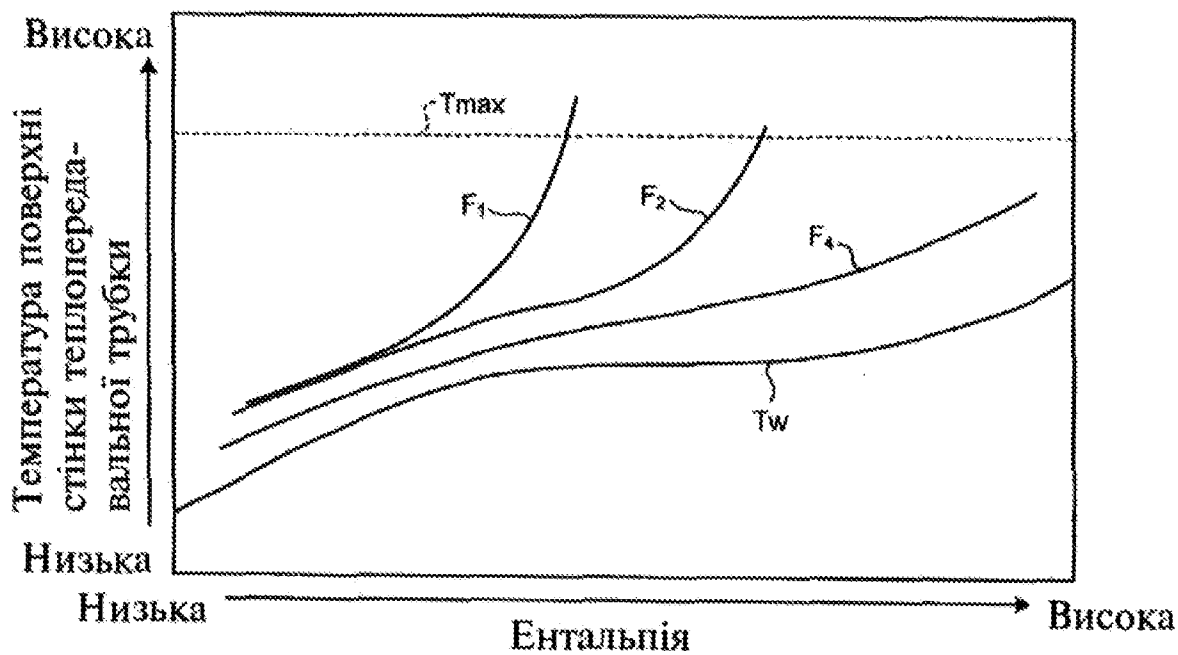
Фиг. 9



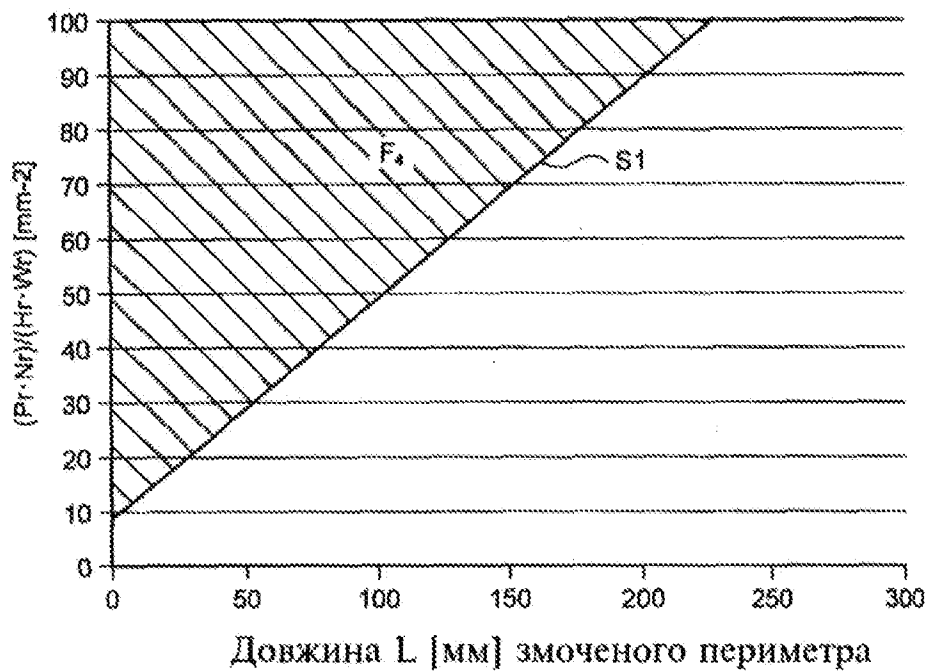
Фиг. 10



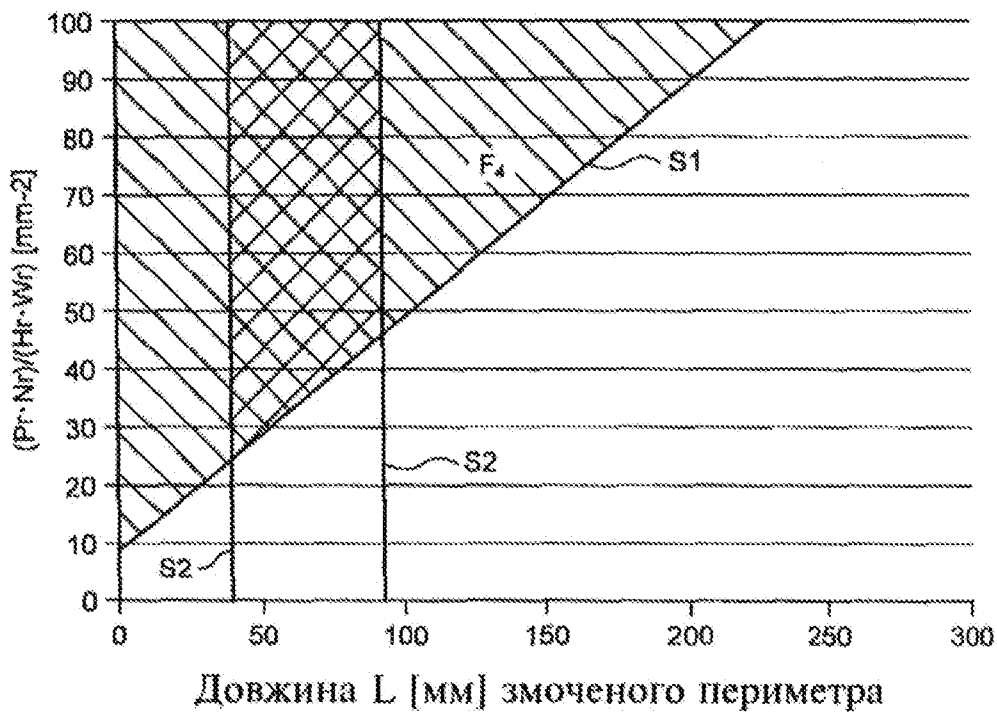
Фіг. 11



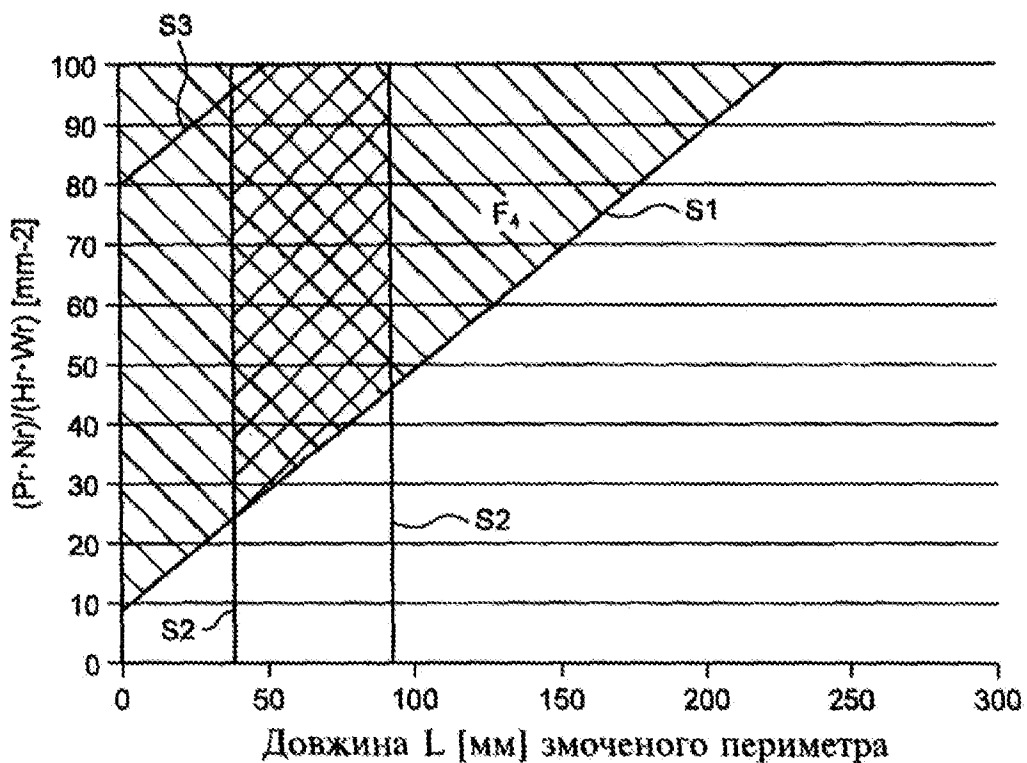
Фіг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14



Фіг. 15

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601