



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87279

(13) C2

(51) МПК (2009)

F22B 1/00

F22B 29/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРЯМОТОЧНИЙ ПАРОГЕНЕРАТОР ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПУ КОНСТРУКЦІЇ І СПОСІБ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРЯМОТОЧНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

1

2

(21) а200602258

(22) 02.08.2004

(24) 10.07.2009

(86) РСТ/ЕР2004/008644, 02.08.2004

(31) 03020022.4

(32) 03.09.2003

(33) ЕР

(46) 10.07.2009, Бюл.№ 13, 2009 р.

(72) ФРАНКЕ ЙОАХІМ, DE, КРАЛЬ РУДОЛЬФ, DE

(73) СІМЕНС АКЦІЕНГЕЗЕЛЬШАФТ, DE

(56) DE 19700350 A1, 16.07.1998

US 6092490 A, 25.07.2000

EP 0794320 A1, 10.09.1997

DE 10127830 A1, 12.12.2002

US 6019070 A, 01.02.2000

(57) 1. Прямоточний парогенератор (1), в якому в каналі топкового газу (6), через який здійснюється протікання приблизно в горизонтальному напрямі топкового газу (X), розташована випарна прямооточна поверхня нагріву (8), яка охоплює велику кількість паралельно включених для проходження текучого середовища (W) парогенераторних труб (12) і яка містить сегмент поверхні нагріву (26), через який протікає текуче середовище (W) у протитечії до каналу топкового газу (6), і наступний, включений на стороні текучого середовища і на стороні топкового газу перед сегментом поверхні нагріву (26) сегмент поверхні нагріву (28), вихід (16) якого на стороні текучого середовища при розгляді у напрямі топкового газу (X) позиціонується таким чином, що температура насиченої пари, яка встановлюється у разі експлуатації на виході випарної прямооточної поверхні нагріву (8), відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70 °С, від температури топкового газу, домінуючої у разі експлуатації в місці виходу (16) сегмента поверхні нагріву.

2. Прямоточний парогенератор (1) за п.1, в якому велика кількість парогенераторних труб (12) містить відповідно велику кількість включених один за одним почергових відрізків підйомних (20) і опускних труб (22).

3. Прямоточний парогенератор (1) за п.1 або 2, в якому вхід (13) на стороні текучого середовища випарної прямооточної поверхні нагріву (8) розташований так близько до входу на стороні топково-

го газу випарної прямооточної поверхні нагріву (8), що у разі експлуатації текуче середовище (W), що протікає через парогенераторні труби (12), має швидкість потоку більшу, ніж задана мінімальна швидкість.

4. Прямоточний парогенератор (1) за будь-яким з пп.1-3, в якому наступний сегмент поверхні нагріву (28) включений у протитечії до напрямі топкового газу (X).

5. Прямоточний парогенератор (1) за будь-яким з пп.1-3, в якому наступний сегмент поверхні нагріву (28) включений в прямоотці до напрямі топкового газу (X).

6. Прямоточний парогенератор (1) за будь-яким з пп.1-5, перед яким на стороні топкового газу включена газова турбіна.

7. Спосіб експлуатації прямооточного парогенератора (1) з каналом топкового газу (6), через який протікає приблизно в горизонтальному напрямі топковий газ (X), з випарною прямооточною поверхнею нагріву (8), яка охоплює велику кількість паралельно включених для проходження текучого середовища (W) парогенераторних труб (12), причому текуче середовище (W) відводять з випарної прямооточної поверхні нагріву (8) при розгляді в напрямі топкового газу (X) в місці, в якому домінуюча у разі експлуатації температура топкового газу відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70 °С, від тієї, що встановлюється у разі експлуатації на виході випарної прямооточної поверхні нагріву (8) температури насиченої пари.

8. Спосіб за п.7, в якому текуче середовище (W) безпосередньо перед його виходом з випарної прямооточної поверхні нагріву (8) направляють у протитечії до топкового газу.

9. Спосіб за п.7 або 8, в якому текуче середовище (W) вже при або безпосередньо після входу в парогенераторні труби (12) піддають настільки сильному нагріву, що воно у першому відрізку опускної труби (22) відповідної парогенераторної труби (12) має швидкість потоку більшу, ніж задана мінімальна швидкість.

10. Спосіб за п.9, в якому як мінімальну швидкість задають швидкість потоку, необхідну для захоп-

(13) C2

(11) 87279

(19) UA

лення бульбашок пари, які виникають у відповідному першому відрізку опускної труби (22).

11. Спосіб за будь-яким з пп.7-10, в якому текуче середовище (W) після його входу у випарну прямоточну поверхню нагріву (8) направляють у протичії до топкового газу.

Винахід стосується прямоточного парогенератора, в якому в каналі топкового газу, через який протікає топковий газ приблизно в горизонтальному напрямі, розташована випарна прямоточна поверхня нагріву, яка містить велику кількість включених паралельно для протікання текучого середовища парогенераторних труб.

У парогазотурбінній установці тепло, що міститься в розширеному робочому середовищі або топковому газі з газової турбіни, використовують для виробництва пари для парової турбіни. Теплопередача відбувається у включеному після газової турбіни парогенераторі на відхідному теплі (котлі-утилізаторі), в якому зазвичай розташована велика кількість поверхонь нагріву для підігріву води, для виробництва пари і для перегріву пари. Поверхні нагріву включені в пароводяний контур парової турбіни. Пароводяний контур охоплює зазвичай декілька, наприклад, три ступені тиску, причому кожен ступінь тиску може містити випарну поверхню нагріву.

Для парогенератора, включеного після газової турбіни на стороні топкового газу як парогенератор на відхідному теплі, приймаються до уваги багато альтернативних концепцій розрахунку, а саме, розрахунок у вигляді прямоточного парогенератора або розрахунок у вигляді парогенератора з примусовою циркуляцією. У прямоточному парогенераторі нагрів парогенераторних труб, передбачених як випарні труби, приводить до випаровування текучого середовища в парогенераторних трубах за одноразовий прохід. У протилежність цьому в парогенераторі з природною або примусовою циркуляцією вода, що направляється в контурі, випаровується при одному проході через випарні труби тільки частково. Воду, що не випарувалася при цьому, після відокремлення виробленої пари знову підводять до тих же самих випарних труб для подальшого випаровування.

Прямоточний парогенератор в протилежність до парогенератора з природною або примусовою циркуляцією не підлягає ніякому обмеженню тиску так, що можливим є тиск свіжої пари значно вище за критичний тиск води ($P_{\text{кр}} \sim 221 \text{ бар}$), де існують тільки малі різниці густини між середовищем, подібним рідині, і середовищем, подібним до пари. Високий тиск свіжої пари є сприятливим для досягнення високого теплового коефіцієнта корисної дії і тим самим низьких емісій CO_2 електростанції, що працює на викопному паливі. Крім того, прямоточний парогенератор у порівнянні з парогенератором з примусовою циркуляцією має просту конструкцію і може, таким чином, виготовлятися з особливо низькими витратами. Застосування парогенерато-

12. Спосіб за будь-яким з пп.7-10, в якому текуче середовище (W) після його входу у випарну прямоточну поверхню нагріву (8) направляють у протичії до топкового газу.

ра, розрахованого за прямоточним принципом як парогенератор на відхідному теплі парогазотурбінної установки, тому є особливо вигідним для досягнення високого загального коефіцієнта корисної дії парогазотурбінної установки з простою конструкцією.

Особливі переваги щодо витрат на виготовлення, але також і щодо необхідних робіт по технічному обслуговуванню надає парогенератор на відхідному теплі горизонтального типу конструкції, в якому нагрівальне середовище або топковий газ, тобто відхідний газ з газової турбіни, проходить через парогенератор у приблизно горизонтальному напрямі. У разі прямоточного парогенератора горизонтального типу конструкції парогенераторні труби поверхні нагріву можуть, проте, залежно від їх положення, піддаватися дуже різному нагріву. Зокрема, у разі пов'язаних зі спільним колектором на стороні виходу парогенераторних труб різний нагрів окремих парогенераторних труб може приводити до зведення разом парових потоків з параметрами пари, які сильно відрізняються один від одного, і тим самим до небажаних втрат коефіцієнта корисної дії, зокрема, до порівняно зменшеної ефективності поверхні нагріву, і, тим самим, до зниженого за рахунок цього виробництва пари. Різний нагрів сусідніх парогенераторних труб може, до того ж, зокрема, в області втомних колекторів, приводити до пошкодження на парогенераторних трубах або колекторі. Само по собі бажане застосування прямоточного парогенератора на відхідному теплі горизонтального типу конструкції як парогенератора на відхідному теплі для газової турбіни може тим самим викликати за собою значні проблеми щодо достатньо стабілізованої поведінки потоку.

З EP 0 944 801 B1 відомий парогенератор, який є придатним для розрахунку за горизонтальним типом конструкції і до того ж має названі переваги прямоточного парогенератора. Для цього відомий парогенератор відносно його випарної прямоточної поверхні нагріву розрахований таким чином, що більш нагріта парогенераторна труба в порівнянні з іншою парогенераторною трубою тієї ж самої випарної прямоточної поверхні нагріву має у порівнянні з іншою парогенераторною трубою вищу затрату текучого середовища. Випарна прямоточна поверхня нагріву відомого парогенератора проявляє аналогічну характеристиці потоку випарної поверхні нагріву з природною циркуляцією (характеристика природної циркуляції) при виникненні різного нагріву окремих парогенераторних труб самостабілізовану поведінку, яка без необхідності вживання зовнішніх заходів приводить до

вирівнювання температур на стороні виходу також в різно нагрітих, включених паралельно на стороні текучого середовища парогенераторних труб. Проте, така концепція розрахунку зумовлює те, що відомий парогенератор передбачений для живлення текучим середовищем з порівняно малою густиною масопотока.

В основі винаходу тому лежить задача створення прямооточного парогенератора вище названого вигляду, який забезпечує особливо високу експлуатаційну надійність також при живленні текучим середовищем з порівняно великою густиною масопотока. Далі повинен бути показаний особливо придатний спосіб для експлуатації парогенератора вище названого вигляду.

Щодо прямооточного парогенератора ця задача вирішується згідно з винаходом за рахунок того, що випарна прямооточна поверхня нагріву містить перший сегмент поверхні нагріву, через який протікає текуче середовище в протитечії до каналу топкового газу, і наступний сегмент поверхні нагріву, включений на стороні текучого середовища і на стороні топкового газу перед сегментом поверхні нагріву, причому вихід на стороні текучого середовища першого сегменту поверхні нагріву при розгляді у напрямі топкового газу позиціонується таким чином, що залежна від тиску температура насиченої пари, що встановлюється у разі експлуатації на виході випарної прямооточної поверхні нагріву, відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70°C від температури топкового газу, домінуючої у разі експлуатації в місці виходу сегменту поверхні нагріву.

Винахід виходить при цьому з міркування, що при живленні випарної прямооточної поверхні нагріву з порівняно великою густиною масопотока локально різний нагрів окремих труб міг би сильно впливати на умови протікання таким чином, що через більш нагріті труби протікала би менша, а через менш нагріті труби - більша кількість текучого середовища. Більш нагріті труби в цьому випадку охолоджувалися б гірше, ніж менш нагріті труби так, що виникаючі різниці температур автоматично посилювалися б. Для можливості ефективної протидії цьому випадку також без активного впливу на умови протікання система повинна би бути розрахована відповідною для принципового і глобального обмеження можливих різниць температур. Для цього є корисним знання того, що на виході з випарної прямооточної поверхні нагріву текуче середовище повинне мати принаймні температуру насиченої пари, задану, в основному, тиском в парогенераторній трубі. З іншого боку, текуче середовище, проте, може мати максимальну температуру, яку має топковий газ в місці виходу текучого середовища з випарної прямооточної поверхні нагріву. Шляхом відповідного узгодження між собою цих обох граничних температур, які обмежують взагалі можливий температурний інтервал, можна тим самим відповідним чином обмежувати також максимально можливі перекося температури. За рахунок розділення випарної прямооточної поверхні нагріву на протиточний сегмент на стороні виходу і на включений перед ним на стороні топкового газу і середовища наступний сегмент, вихід

у напрямі топкового газу можна вільно позиціонувати так, що в розпорядженні є додатковий розрахунковий параметр. Особливо придатним засобом для узгодження одна з іншою обох граничних температур при цьому є націлене позиціонування виходу випарної прямооточної поверхні нагріву при розгляді у напрямі потоку топкового газу.

Переважає чиним позиціонування виходу випарної прямооточної поверхні нагріву по відношенню до температурного профілю топкового газу в газозводі вибране таким чином, що дотримується максимальне відхилення порядку 50°C так, що з урахуванням матеріалів і інших розрахункових параметрів, що є у розпорядженні, забезпечена особливо висока експлуатаційна надійність.

Особливо проста і тим самим також надійна конструкція може бути досягнута за рахунок того, що поверхня нагріву, особливо у зв'язку зі збором і розподілом текучого середовища, виконана особливо просто. При цьому поверхня нагріву виконана придатною для здійснення всіх етапів процесу повного випаровування, тобто підігріву, випаровування і принаймні часткового перегріву, тільки в одному єдиному ступені, тобто без проміжних включених компонентів для збору і/або розподілу текучого середовища. Переважає чиним велика кількість парогенераторних труб містить тому велику кількість включених поперемінно один за одним на стороні текучого середовища відрізків підйомної і опускної труби.

При цьому нагрів має місце як у відрізках підйомної, так і опускної труби. Таке включення парогенераторних труб, при якому відбувається також нагрівання відрізків труби, через які здійснюється протікання вниз, несе в собі, проте, принципово ризик появи нестабільностей потоку. Як виявилось, як одна з таких можливих причин може розглядатися поява бульбашок пари у відрізках труби, через які здійснюється протікання вниз. У разі, якщо в парогенераторній трубі, через яку здійснюється протікання вниз, повинні б утворюватися бульбашки пари, то вони могли б підніматися в стовп? води, що знаходився в парогенераторній трубі, і тим самим здійснювати рух проти напрямку потоку текучого середовища. Для послідовного виключення подібного направлено проти напрямку потоку текучого середовища руху можливих наявних бульбашок пари, шляхом відповідного задавання експлуатаційних параметрів повинне б забезпечуватися вимушене захоплення бульбашок пари у власному напрямі потоці текучого середовища. Це є досяжним за рахунок того, що живлення випарної прямооточної поверхні нагріву відбувається таким чином, що швидкість потоку текучого середовища в парогенераторних трубах викликає бажаний ефект захоплення на можливо наявні бульбашки пари. Порівняно висока швидкість потоку вже в першій парогенераторній трубі, через яку здійснюється протікання вниз, може бути досягнута особливо простим способом за допомогою порівняно сильного нагріву парогенераторних труб на вході на стороні текучого середовища і обумовленого цим швидкого підвищення вмісту пари в текучому середовищі. Для цього вхід на стороні текучого середовища випарної прямооточ-

ної поверхні нагріву переважним чином виконаний у вигляді відрізка підйомної труби і розташований настільки близько до входу на стороні топкового газу випарної прямооточної поверхні нагріву, що текуче середовище, що протікає через парогенераторні труби у разі експлуатації, має на вході першого відрізка опускної труби швидкість потоку, більшу, ніж наперед задана мінімальна швидкість потоку.

Перші відрізки опускної і підйомної труби утворюють переважно розташований в прямооточному включенні наступний сегмент поверхні нагріву, в подальшому названий також прямооточним сегментом, який підключений на стороні текучого середовища перед розташованим у протиточному включенні сегментом поверхні нагріву, в подальшому названому також протиточним сегментом. За рахунок такого розташування сегментів в каналі топкового газу в значній мірі зберігається перевага чисто протиточного включення ефективно передавати тепло відхідного газу на текуче середовище, і одночасно досягається висока власна надійність від шкідливих різниць температур на виході на стороні текучого середовища.

В альтернативному переважному виконанні наступний сегмент поверхні нагріву може бути включений також у протитечії до напрямку топкового газу.

Доцільно парогенератор застосовують як парогенератор на відхідному теплому парогазотурбінній установці. При цьому парогенератор переважно включений після газової турбіни на стороні топкового газу. При цьому включенні після газової турбіни доцільно може бути розташована додаткова топкова камера для підвищення температури топкового газу.

Щодо способу названа задача вирішується за рахунок того, що текуче середовище при розгляді у напрямі топкового газу відводять з випарної прямооточної поверхні нагріву в місці, в якому температура топкового газу, домінуюча у разі експлуатації, відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70°C , від тієї, що встановлюється у разі експлуатації внаслідок втрати тиску у випарній прямооточній поверхні нагріву температури насиченої пари.

Переважним чином текуче середовище перед його виходом з випарної прямооточної поверхні нагріву направляють у протитечії до топкового газу, причому в додатковому або альтернативному переважному виконанні задають максимальне відхилення порядку 50°C .

Щоб послідовно виключити можливі нестабільності потоку, текуче середовище переважно вже при вході або безпосередньо після входу у випарну прямооточну поверхню нагріву піддають настільки сильному нагріву, що воно має в першому відрізку опускної труби відповідної парогенераторної труби швидкість потоку вище, ніж наперед задана мінімальна швидкість.

Переважним чином при цьому як мінімальну швидкість задають швидкість потоку, необхідну для захоплення створених в першому відрізку опускної труби бульбашок пари. Живлення випарної прямооточної поверхні нагріву відбувається таким

чином, що порівняно висока швидкість потоку вже в першій парогенераторній трубі, через яку здійснюється протікання вниз, викликає бажаний ефект захоплення на можливо наявні бульбашки пари. Нестабільності потоку внаслідок руху бульбашок пари, що піднімаються проти напрямку потоку текучого середовища, можуть таким чином надійно виключатися.

Досягнуті винаходом переваги полягають, зокрема, в тому, що за допомогою тепер передбаченого, узгодженого з температурним профілем топкового газу в газозоді позиціонування виходу на стороні текучого середовища випарної прямооточної поверхні нагріву, температурний інтервал між температурою насиченої пари текучого середовища і температурою топкового газу в місці виходу, який досягається в цілому при випаровуванні текучого середовища, обмежують порівняно вузько так, що незалежно від умов потоку можливі тільки малі різниці температур на стороні виходу. За рахунок цього можна забезпечувати достатнє вирівнювання температур текучого середовища у будь-якому режимі експлуатації. Крім того, проте, забезпечено також те, що можливі вихідні температури по їх абсолютній величині обмежені так, що гранично допустимі граничні температури, задані характеристиками матеріалів, залишаються такими, що надійно не досяжними.

Приклад виконання винаходу пояснюється детальніше за допомогою креслення. При цьому креслення показує в спрощеному вигляді в поздовжньому перерізі прямооточний парогенератор горизонтального типу конструкції.

Прямоточний парогенератор 1 згідно з Фіг. підключений на стороні відхідного газу по типу котла-утилізатора після не представленої детальніше на кресленні газової турбіни. Прямоточний парогенератор 1 має обмежувальну стінку 2, яка утворює канал 6 для відхідного газу, через який протікає приблизно в горизонтальному, позначеному стрілкою 4, напрямі топкового газу X з газової турбіни. У каналі топкового газу 6 розташована велика кількість розрахованих за прямооточним принципом поверхонь нагріву, зокрема, позначених як випарна прямооточна поверхня нагріву 8. У прикладі виконання згідно з кресленням показана тільки одна випарна прямооточна поверхня нагріву 8, проте, може бути передбачена також більша кількість випарних прямооточних поверхонь нагріву.

Утворена випарною прямооточною поверхнею нагріву 8 випарна система є навантажувальною текучим середовищем W, яке випаровується при одноразовому проходженні через випарну прямооточну поверхню нагріву 8 і яке у вигляді пари D відводять після виходу з випарної прямооточної поверхні нагріву 8 і зазвичай підводять для подальшого перегріву до перегрівальних поверхонь нагріву. Випарна система, утворена випарною прямооточною поверхнею нагріву 8, включена в не представлений детальніше на кресленні пароводяний контур парової турбіни. Додатково до випарної системи у пароводяний контур парової турбіни включена деяка кількість інших, не представлених детальніше на Фігурі поверхонь нагріву. У випадку поверхонь нагріву може йтися,

наприклад, про перегрівач, випарник середнього тиску, випарник низького тиску і/або про підігрівач.

Випарна прямоточна поверхня нагріву 8 прямоточного парогенератора 1 згідно з Фігурою має по типу пучка труб велику кількість паралельно включених для протікання текучого середовища W парогенераторних труб 12. При цьому відповідно велика кількість парогенераторних труб 12 при розгляді у напрямі топкового газу X розташована одна поряд з іншою. При цьому видимою є тільки одна з розташованих таким чином одна поряд з іншою парогенераторних труб 12. Перед розташованими таким чином одна поряд з іншою парогенераторними трубами 12 при цьому на стороні текучого середовища перед їх входом 13 у канал топкового газу 6 підключений загальний вхідний колектор 14, і після їх виходу 16 з каналу топкового газу 6 підключений загальний вихідний колектор 18. Парогенераторні труби 12 мають велику кількість відрізків підйомної труби 20, через які протікає текуче середовище W у напрямі вгору, і відрізків опускної труби 22, через які здійснюється відповідно протікання у напрямі вниз, які сполучені один з одним перепускними відрізками 24, через які здійснюється протікання в горизонтальному напрямі.

Прямоточний парогенератор 1 розрахований на особливо високу експлуатаційну надійність і для послідовного подавлення характерних різниць температур, які позначаються також як перекося температур, на виході 16 між сусідніми парогенераторними трубами 12 навіть при живленні з порівняно високою густиною масопотока. Для цього випарна прямоточна поверхня нагріву 8 в своїй задній при розгляді на стороні текучого середовища області містить сегмент поверхні нагріву 26, який включений в протитечії до напрямі потоку топкового газу X. Велика кількість сполучених один з одним перепускними відрізками 24 відрізків підйомної труби 20 і відрізків опускної труби 22 утворюють до того ж наступний, включений в прямоточі до напрямі топкового газу X сегмент поверхні нагріву 28, який включений перед сегментом поверхні нагріву 26. За рахунок цього включення позиціонування виходу 16 є таким, що вибирається при розгляді у напрямі топкового газу X. Це позиціонування у разі прямоточного парогенератора 1 вибрано таким чином, що встановлювана у разі експлуатації залежно від тиску у випарній прямоточній поверхні нагріву 8 температура насиченої пари текучого середовища W відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення порядку 50° від температури топкового газу, домінуючої у разі експлуатації в місці або на висоті виходу 16 сегменту поверхні нагріву 26. Оскільки температура текучого середовища W на виході 16 завжди повинна бути принаймні такою, що дорівнює температурі насиченої пари, з іншого боку, проте, не може бути вище, ніж домінуюча в цьому місці температура топкового газу, можливі різниці температури між різно нагрітими трубами також без подальших контрзаходів обмежені до заданого максимального відхилення порядку 50°C .

Після розташованого у напрямі топкового газу X далеко попереду в каналі топкового газу 6 на-

ступного сегменту поверхні нагріву 28 тим самим на стороні топкового газу і на стороні текучого середовища включений сегмент поверхні нагріву 26, так само утворений з великої кількості сполучених один з одним перепускними відрізками 24 відрізків підйомної труби 20 і відрізків опускної труби 22, через які здійснюється протікання в протитечії до напрямі топкового газу X.

Розташування відрізків труби, через які здійснюється протікання в напрямі вниз, таких, як відрізки опускної труби 22 всередині каналу топкового газу 6, в принципі можливо тільки тоді, коли за рахунок відповідних заходів забезпечується стабільність потоку всередині парогенераторних труб 12. Річ в тому, що нагрівання відрізків труби, через які здійснюється протікання в напрямі вниз, може приводити загалом до утворення бульбашок пари у текучому середовищі W, які, якщо вони внаслідок їх малої питомої ваги піднімаються проти напрямі потоку текучого середовища W, могли б негативно впливати на стабільність потоку і тим самим на експлуатаційну надійність прямоточного парогенератора 1. З іншого боку, включення парогенераторних труб 12, при якому має місце тільки нагрівання відрізків труби, через які здійснюється протікання у напрямі вгору, тобто підйомних відрізків труби 20, пов'язано з високими конструктивними витратами.

Особливо проста і тим самим також надійна конструкція прямоточного парогенератора 1 може бути досягнута за рахунок того, що випарна прямоточна поверхня нагріву 8 особливо у зв'язку зі збором і розподілом текучого середовища W виконана особливо просто, і від додаткових компонентів, як наприклад, трубопроводів-колекторів, що не обігріваються, відмовляються. Натомість парогенераторні труби 12 містять відповідно велику кількість включених поперемінно один за одним на стороні текучого середовища відрізків підйомної труби 20 і відрізків опускної труби 22, які прокладені всередині каналу топкового газу 6, тобто схильні до нагріву топковим газом.

Вхід 13 розташований на вході на стороні газу випарної прямоточної поверхні нагріву 8, тобто у напрямі топкового газу X далеко попереду в каналі топкового газу 6. За допомогою розташування входу 13 в області каналу топкового газу 6, в якому топковий газ має найвищу температуру, досягається дуже швидкий нагрів і тим самим також випаровування текучого середовища W в парогенераторних трубах 12. Оскільки швидкість потоку пароводяної суміші при однаковій ваговій витраті є тим вище, чим більше складова пари, і тим самим питомий об'єм суміші, текуче середовище W при такому розташуванні вхідного колектора 14 досягає порівняно швидко високої швидкості потоку.

Це є особливо вигідним, щоб забезпечити стабільність наявного в парогенераторних трубах 12 потоку. Важливим у вирішальному ступені фактором, що негативно позначається на стабільності потоку, є якраз поява бульбашок пари в парогенераторних трубах 12. Внаслідок низької питомої ваги бульбашки пари, що утворюються у парогенераторних трубах 12, можуть підніматися вгору і тим самим проводити у відрізках опускної труби

22, через яку здійснюється протікання вниз, рух проти напрямку потоку. Оскільки такий рух вирішальним чином негативно впливав би на стабільність потоку, слід послідовно перешкоджати підйому утворюваних бульбашок пари в парогенераторних трубах 12. Важливим критерієм для стабільності потоку є швидкість потоку текучого середовища W . Якщо вже в першому відрізку труби, через який здійснюється протікання вниз, тобто в першому відрізку опускної труби 22, вона має значення, яке

принаймні є настільки високим, як необхідна для захоплення бульбашок пари швидкість, то вони захоплюються потоком і підйом проти напрямку потоку надійно запобігається. Шляхом позиціонування входу 13 на вході на стороні топкового газу і обумовленою цим високою швидкістю текучого середовища W вже у першому відрізку опускної труби 22 забезпечений бажаний ефект захоплення утворюваних бульбашок пари при одночасно малих конструктивних витратах.

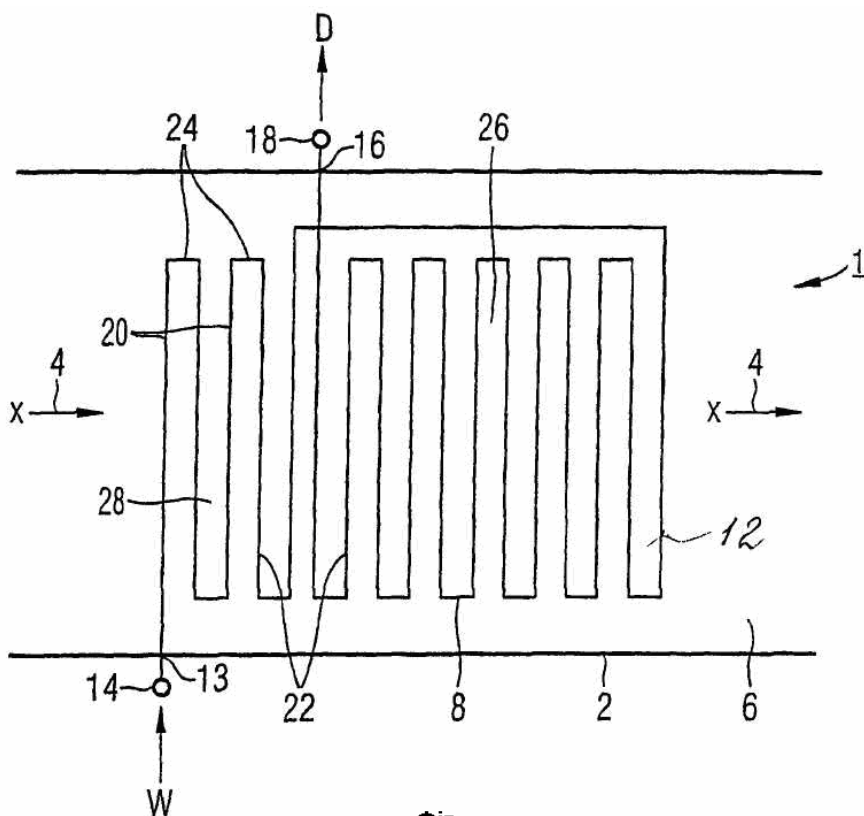


Fig.