



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87280

(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 ТА СПОСІБ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРЯМОТОЧНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

1

2

(21) а200602260

(22) 29.07.2004

(24) 10.07.2009

(86) РСТ/ЕР2004/008526, 29.07.2004

(31) 03020021.6

(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) US 5159897 A, 03.11.1992

DE 4126631 A1, 18.02.1993

DE 1122082, 18.01.1962

DE 2950622 A1, 08.10.1981

DE 4441008 A1, 23.05.1996

DE 736611, 23.06.1943

US 5588400 A, 31.12.1996

(57) 1. Прямоточний парогенератор (1), в якому у газоході (6), через який протікає приблизно у вертикальному напрямі топковий газ (Y), розташована випарна прямооточна поверхня нагріву (8), яка охоплює велику кількість паралельно включених для проходження текучого середовища (W) труб (12) парогенераторів і яка містить сегмент поверхні нагріву (20), через який протікає текуче середовище (W) в протитечії до газоходу (6), і включений на стороні текучого середовища і на стороні топкового газу перед сегментом поверхні нагріву (20) наступний сегмент поверхні нагріву (22), причому вихід (16) на стороні текучого середовища сегмента поверхні нагріву (20) при розгляді у напрямі топкового газу (Y) позиціонується таким чином, що температура насиченої пари, яка встановлюється у разі експлуатації у випарній прямооточній 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 (20).

2. Прямоточний парогенератор (1) за пунктом 1, в якому наступний сегмент поверхні нагріву (22) включений у протитечії до напрямі топкового газу (Y).

3. Прямоточний парогенератор (1) за пунктом 1, в якому наступний сегмент поверхні нагріву (22) включений в прямоотці до напрямі топкового газу (Y).

4. Прямоточний парогенератор (1) за будь-яким з пунктів 1-3, перед яким на стороні топкового газу включена газова турбіна.

5. Спосіб експлуатації прямооточного парогенератора (1) з газоходом (6), через який протікає приблизно у вертикальному напрямі топковий газ (Y), 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 у напрямі топкового газу (Y) у місці, в якому домінуюча у випадку експлуатації температура топкового газу відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70 °С, від тієї, що встановлюється у разі експлуатації внаслідок втрати тиску у випарній прямооточній поверхні нагріву (8) температури насиченої пари.

6. Спосіб за пунктом 5, в якому текуче середовище (W) безпосередньо перед його виходом з випарної прямооточної поверхні нагріву (8) направляють у протитечії до топкового газу.

7. Спосіб за пунктом 5 або 6, в якому текуче середовище (W) безпосередньо після його входу у випарну прямооточну поверхню нагріву (8) направляють у протитечії до топкового газу.

8. Спосіб за будь-яким з пунктів 5-7, в якому текуче середовище (W) безпосередньо після його входу у випарну прямооточну поверхню нагріву (8) направляють у прямоотці до топкового газу.

Винахід стосується прямооточного парогенератора, в якому в газоході, що проходить приблизно у вертикальному напрямі топкового газу, розташо-

вана випарна прямоотчна поверхня нагріву, яка містить велику кількість паралельно включених для протікання текучого середовища труб парогене-

(13) C2

(11) 87280

(19) UA

нераторів.

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 можливі багато альтернативних концепцій розрахунку, а саме, розрахунок у вигляді прямиотічного парогенератора або розрахунок у вигляді парогенератора з примусовою циркуляцією. У прямиотічному парогенераторі нагрів труб парогенераторів, передбачених як випарні труби, приводить до випаровування текучого середовища в трубах парогенераторів за одноразовий прохід. В протилежність цьому в парогенераторі з природною або примусовою циркуляцією вода, що направляється в контурі, при одному проході через випарні труби випаровується тільки частково. Воду, що не випарувалася при цьому, після відділення виробленої пари знову підводять до тих же самих випарних труб для подальшого випаровування.

Прямиотічний парогенератор в протилежність від парогенератора з природною або примусовою циркуляцією не підлягає ніякому обмеженню тиску так, що можливим є тиск свіжої пари значно вищий за критичний тиск води ($P_{\text{кри}} \sim 221$ 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, прямиотічний парогенератор у порівнянні з парогенератором з примусовою циркуляцією має просту конструкцію і може, таким чином, виготовлятися з особливо низькими витратами. Застосування парогенератора, розрахованого за прямиотічним принципом як парогенератор на відхідному теплі парогазотурбінної установки тому є особливо вигідним для досягнення високого загального коефіцієнта корисної дії парогазотурбінної установки з простою конструкцією.

Такий парогенератор на відхідному теплі може бути технічно виконаний особливо просто за рахунок того, топковий газ, що підводиться до парогенератора від газової турбіни, проходить через газохід у вертикальному напрямі, зокрема, від низу до верху. При цьому для включення труб парогенераторів, які утворюють випарні прямиотічні поверхні нагріву, на стороні текучого середовища і на стороні топкового газу можуть розглядатися в принципі дві концепції: або через труби парогенераторів, які прокладені всередині газоходу, проти-

кає текуче середовище в так званому перехресному потоці або в протитечії, це означає, що текуче середовище протікає через кожну трубу поверхні нагріву у проходах, що розміщені один за одним, через газовий канал упоперек до потоку газу, тому використовують назву перехреснотічного включення. Горизонтальні відрізки труби, які проходять від однієї сторони газового каналу до іншої сторони, сполучені між собою через поворотні відрізки таким чином, що через них здійснюється протікання у вертикальному напрямі послідовно проти напрямку потоку газу, тому використовують назву протитічне включення. В цілому йдеться про змішану форму перехреснотічного і протитічного включення. Перехреснотічний характер для подальших пояснень не є істотним. Це включення тому позначається в подальшому тільки як протитічне включення. Загалом відомо, що випарна поверхня нагріву у протитічному включенні проблематична щодо стабільності потоку. Зокрема, рівномірний розподіл потоку на всі паралельні труби випарної поверхні нагріву вимагає технічних витрат.

Альтернативою до протитічного включення є так зване включення у прямотоці, при якому через труби парогенераторів протікання здійснюється у перехреснотічному/прямиотічному потоці. При такому включенні відрізки труб, що проходять горизонтально, як і у вище описаному перехреснотічному включенні, сполучені між собою через поворотні відрізки, тільки тепер через них здійснюється протікання у вертикальному напрямі послідовно у напрямі потоку газу, тому називається - прямиотічне включення. В цілому, таким чином, йдеться про змішану форму перехреснотічного і прямиотічного включення. Перехреснотічний характер є для подальших пояснень не істотним. Це включення тому називається в подальшому тільки як прямиотічне включення. Прямиотічне включення вимагає застосування порівняно великих поверхонь нагріву, виготовлення і монтаж яких пов'язані із значними витратами.

З EP 0 425 417 А відомий парогенератор, який має названі переваги прямиотічного парогенератора. Його випарна прямиотічна поверхня нагріву розрахована як комбінація протитічного і прямиотічного включення, таким чином, що деяка значна кількість відрізків труб включена у напрямі протитечії, тоді як деяка значна кількість інших відрізків труб включена у напрямі прямотоку. За рахунок цього виду включення може досягатися вищий ступінь стабільності потоку, ніж при чисто протитічному включенні. До того ж при застосуванні чисто прямиотічного включення можуть зменшуватися необхідні високі технічні і апаратні витрати.

Принципово проблематичним для парогенераторів подібного виду конструкції можуть бути так звані температурні перекося, тобто різниці температур на виходах сусідніх, включених паралельно на стороні текучого середовища труб парогенераторів, які можуть приводити до розривів труб або інших пошкоджень. Для уникнення подібних температурних перекося прямиотічні парогенератори можуть бути розраховані для особливо малої густини масопотоку текучого середовища, що обмежує, проте, гнучкість при виборі розрахункових

параметрів для парогенератора.

В основі винаходу тому лежить задача створити прямотічний парогенератор вище названого вигляду, який також при навантаженні з порівняно великою густиною масопотоку текучого середовища має також при різному нагріві труб парогенераторів особливо високу стабільність, зокрема, по відношенню до температурних перекосів. Далі, повинен бути створений особливо відповідний для експлуатації цього парогенератора спосіб вище названого вигляду.

Щодо прямотічного парогенератора ця задача вирішується згідно з винаходом за рахунок того, що випарна прямотічна поверхня нагріву містить перший сегмент поверхні нагріву, через який протікає текуче середовище в протитечії до газоходу, 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 температура насиченої пари, яка встановлюється у разі експлуатації у випарній прямотічній поверхні нагріву, відхиляється менше, ніж на задане максимальне відхилення, найбільше 70°C , від температури топкового газу, яка домінує у разі експлуатації в місці виходу сегменту поверхні нагріву.

Винахід виходить при цьому з міркування, що при живленні випарної прямотічної поверхні нагріву з порівняно великою густиною масопотоку локально різний нагрів окремих труб міг би впливати на умови протікання таким чином, що через перегріті труби здійснювалося би протікання меншої, а через менш нагріті труби більшої кількості текучого середовища. Перегріті труби в цьому випадку охолоджувалися б гірше, ніж мало нагріті труби так, що автоматично посилювалися б виникаючі різниці температур. Для можливості ефективної протидії цьому також без активного впливу на умови протікання система повинна бути розрахована відповідно для принципового і глобального обмеження можливих різниць температур. Для цього є корисним знання того, що на виході з випарної прямотічної поверхні нагріву текуче середовище повинне мати принаймні температуру насиченої пари, задану в основному тиском в трубі парогенератора. З іншого боку, текуче середовище, проте, максимально може мати температуру, яку має топковий газ у місці виходу текучого середовища з випарної прямотічної поверхні нагріву. Шляхом відповідного узгодження між собою цих обох граничних температур, що обмежують можливий температурний інтервал загалом, можна відповідним чином тим самим обмежувати також максимально можливі перекоси температур. За рахунок розділення випарної прямотічної поверхні нагріву на протитічний 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 відповідним засобом для узгодження один з одним обох граничних температур при цьому розглядається націлене позиціонування виходу випарної

прямотічної поверхні нагріву у напрямі потоку топкового газу.

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

Іншою проблемою у разі парогенератора названого типу конструкції могло б бути погіршення стабільності потоку за рахунок так званих коливань потоку. Коливання потоку з'являються, коли при надмірному нагріві труби парогенератора область всередині труби парогенератора, в якій має місце випаровування, помітно зміщується всередині труби. Зсув області випаровування всередині труби парогенератора впливає небажаним чином на втрату тиску потоку всередині випарної прямотічної поверхні нагріву. Тому в парогенераторі, який таким чином чутливо реагує на нагрів труб парогенераторів, що відхиляється, могли б бути передбачені дроселі на вході всіх труб парогенераторів, які дозволяють управляти втратою тиску потоку всередині випарної прямотічної поверхні нагріву у порівняно великому діапазоні. Для надання у розпорядження також відповідних для цього розрахункових параметрів, випарна прямотічна поверхня нагріву містить підключений на стороні текучого середовища перед названим сегментом поверхні нагріву наступний сегмент поверхні нагріву, який на стороні топкового газу розташований так само перед названим сегментом поверхні нагріву.

Наступний сегмент поверхні нагріву, підключений на стороні текучого середовища перед названим сегментом поверхні нагріву, переважним чином виконаний так само по типу протитічної секції або альтернативно включений в прямотічу до напрямку топкового газу.

За рахунок подібного розташування сегментів в каналі топкового газу в значній мірі зберігається перевага чисто протитічного 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.

Переважаючо парогенератор застосовують як парогенератор на відхідному теплі парогазотурбінної установки. При цьому парогенератор переважно включений на стороні топкового газу після газової турбіни. При такому включенні після газової турбіни переважно може бути розташована додаткова топкова камера для підвищення температури топкового газу.

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

ній прямотічній поверхні нагріву.

Переважає чиним текуче середовище перед її виходом з випарної прямотічної поверхні нагріву направляють у протитечії до напрямку топкового газу. У відповідному сегменті поверхні нагріву при цьому через труби парогенераторів протікає текуче середовище протилежно напрямку топкового газу, тобто зверху вниз. При подібному живленні випарної прямотічної поверхні нагріву позиціонування виходу є таким, що порівняно просто змінюється і узгоджується з температурним профілем топкового газу в газоході. Переважає чиним задають максимальне відхилення порядку 50°C.

Досягнуті за допомогою винаходу переваги полягають, зокрема, в тому, що за допомогою передбаченого тепер, узгодженого з температурним профілем топкового газу в газоході позиціонування виходу на стороні текучого середовища випарної прямотічної поверхні нагріву, температурний інтервал, що досягається в цілому при випаруванні текучого середовища між температурою насиченої пари текучого середовища і температурою топкового газу в місці виходу, 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 в будь-якому режимі експлуатації. Крім того, випарна прямотічна поверхня нагріву за рахунок відповідного позиціонування входу на стороні текучого середовища випарної прямотічної поверхні нагріву на вході на стороні газу випарної прямотічної поверхні нагріву є по відношенню до потоку стабільнішою, ніж чисте протитічне включення. Тим самим забезпечені особливо висока стабільність потоку і особливо висока експлуатаційна надійність для парогенератора. Крім того, забезпечено також, що можливі вихідні температури по їх абсолютній величині обмежені так, що задані характеристиками матеріалів допустимі граничні температури залишаються надійно не досягнутими.

Приклад виконання винаходу пояснюється детальніше за допомогою креслення. При цьому показують:

Фіг.1 в спрощеному уявленні у вигляді вирізу в поздовжньому перерізі прямотічний парогенератор, і

Фіг.2 випарну секцію прямотічного парогенератора згідно з Фіг.1 в альтернативному виконанні.

Однакові деталі на обох фігурах забезпечені тими ж самими посилальними позиціями.

Прямотічний парогенератор 1 згідно з Фіг.1 підключений на стороні відхідного газу по типу котла-утилізатора після не представленої детальніше газової турбіни. Прямотічний парогенератор 1 містить обмежувальну стінку 2, яка утворює газохід 6, через який протікає приблизно у вертикальному, позначеному стрілкою 4, напрямі топкового газу Y відхідний газ з газової турбіни. У газоході 6 розташована велика кількість поверхонь нагріву, розрахованих за прямотічним принципом, зокрема, випарна прямотічна поверхня нагріву 8. У прикладі виконання згідно з Фіг.1 показана тільки одна випарна прямотічна поверхня нагріву 8, проте,

може бути передбачена також більша кількість випарних прямотічних поверхонь нагріву.

Утворену з випарної прямотічної поверхні нагріву 8 випарну систему можна навантажувати текучим середовищем W, яке випаровується при одноразовому проходженні через випарну прямотічну поверхню нагріву 8 і яке відводять після виходу з випарної прямотічної поверхні нагріву 8 у вигляді пари D і підводять для подальшого перегріву до перегрівальних поверхонь нагріву. Утворена з випарної прямотічної поверхні нагріву 8 випарна система включена у не представлений детальніше на кресленні пароводяний контур парової турбіни. Додатково до випарної системи в пароводяний контур парової турбіни включена деяка кількість інших, не представлених на Фіг.1, поверхонь нагріву. У випадку поверхонь нагріву може йтися, наприклад, про перегрівач, випарник середнього тиску, випарник низького тиску і/або про підігрівач.

Випарна прямотічна поверхня нагріву 8 прямотічного парогенератора 1 згідно з Фіг.1 містить по типу пучка труб велику кількість паралельно включених для протікання текучого середовища W труб парогенераторів 12. При цьому відповідно безліч труб парогенераторів 12 при розгляді у напрямі топкового газу Y розташовані одна поряд з іншою. При цьому видимою є тільки одна з розташованих таким чином одна поряд з іншою труб парогенераторів 12. Труби парогенераторів 12 містять відповідно велику кількість горизонтально розташованих відрізків труб, з яких відповідно два сполучені за допомогою вертикально розташованого відрізка труби. Іншими словами: труби парогенераторів прокладені всередині газоходу 6 меандроподібно. Так при цьому перед розташованими одна поряд з іншою трубами парогенераторів 12 на стороні текучого середовища на їх вході 13 у випарну прямотічну поверхню нагріву 8 відповідно підключений загальний вхідний колектор 14, а на їх виході 16 з випарної прямотічної поверхні нагріву 8 підключений загальний вихідний колектор 18.

Прямотічний парогенератор 1 розрахований на особливо високу експлуатаційну надійність і для послідовного подолання характерних різниць температур, позначених так само як температурні перекося, на виході 16 між сусідніми трубами парогенераторів 12 навіть при живленні з порівняно високою густиною масопотоку. Для цього випарна прямотічна поверхня нагріву 8 в своїй задній при розгляді на стороні текучого середовища області містить сегмент поверхні нагріву 20, який включений в протитечії до напрямку потоку топкового газу Y. Далі, випарна прямотічна поверхня нагріву 8 додатково до сегменту поверхні нагріву 20 містить наступний сегмент поверхні нагріву 22, включений перед ним на стороні текучого середовища. За рахунок цього включення можна вибирати позиціонування виходу 16 при розгляді у напрямі потоку топкового газу Y. Це позиціонування у разі прямотічного парогенератора 1 вибрано таким чином, що температура насиченої пари текучого середовища W, що встановлюється у разі експлуатації залежно від тиску у випарній прямотічній поверхні нагріву 8, відхиляється менше, ніж на задане мак-

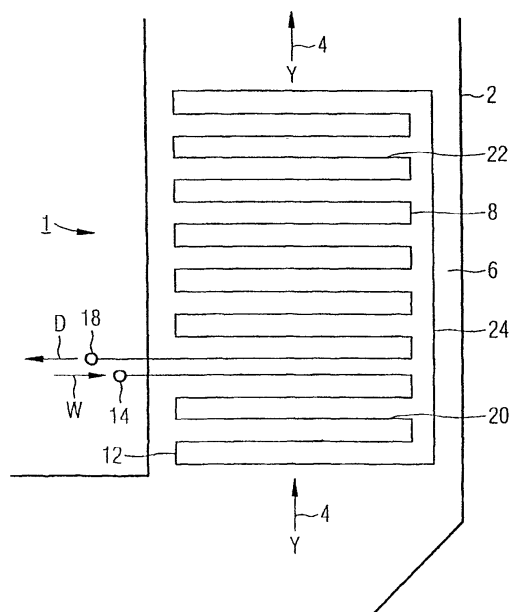
симальне відхилення порядку 50°C від температури топкового газу, домінуючої у разі експлуатації в місці або на висоті виходу 16 сегменту поверхні нагріву 20. Оскільки температура текучого середовища W на виході 16 завжди повинна бути принаймні такою, що дорівнює температурі насиченої пари, з іншого боку, 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 .

Особливо висока стабільність потоку при одночасно обмежених технічних витратах може бути досягнута ще за рахунок застосування комбінації з протитічного і прямотічного включення труб парогенераторів 12. Перший сегмент поверхні нагріву 20 при цьому сполучений з другим сегментом поверхні нагріву 20 за допомогою сполучної частини 24. Випарна прямотічна поверхня нагріву 8 містить наступний сегмент поверхні нагріву 22, підключена після нього на стороні текучого середовища сполучна ділянка 24, а також сегмент поверхні нагріву 20, підключений на стороні текучого середовища після сполучної ділянки 24. У прикладі виконання

згідно з Фіг.1 наступний сегмент поверхні нагріву 22 включений так само в протитечії до напрямку топкового газу 4.

Як виявилось, як представлене на Фіг.1, так і представлене на Фіг.2 альтернативне включення випарної прямотічної поверхні нагріву 8 має особливо високу стабільність потоку. Зокрема, надійно запобігається також поява коливань потоку. Останні з'являються, якщо нагрівання окремих труб парогенераторів 12, що відхиляється, сильно зрушує область випаровування всередині відповідної труби 12 вздовж напрямку потоку текучого середовища W . Коливання потоку можуть у такому разі запобігатися таким чином, що втрату тиску в текучому середовищі W , яка з'являється при проходженні випарної прямотічної поверхні нагріву 8, штучно підвищують за допомогою дроселів на вході труб. У разі представлених на Фіг.1 і 2 включень проблема коливань потоку, проте, не виникає. Виявилось, що область випаровування при нагріві, що відхиляється, тільки порівняно мало зрушується всередині відповідної труби парогенератора 12. Для стабілізації потоку тому потрібне тільки невелике штучне підвищення втрати тиску.

ФІГ. 1



ФІГ. 2

