



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111673** (13) **C2**
(51) МПК**F28D 1/04** (2006.01)**F23L 15/04** (2006.01)**F28D 7/10** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

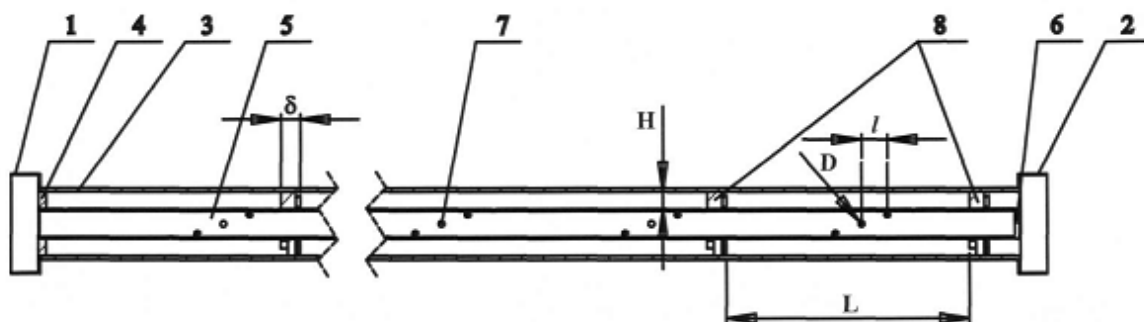
(21) Номер заявки: а 2015 01724	(72) Винахідник(и): Агєєв Костянтин Валерійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.02.2015	(73) Власник(и): Агєєв Костянтин Валерійович, пр-кт Героїв Сталінграда, 11, кв. 80, м. Київ, 04210 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.05.2016	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 920347 A1, 15.04.1982 UA 104396 C2, 27.01.2014 SU 1642191 A1, 15.04.1991 US 4524752 A, 25.06.1985 US 2013344447 A1, 26.12.2013 RU 2125207 C1, 20.01.1999 EP 0145808 A1, 26.06.1985 CN 102705860 A, 03.10.2012
(41) Публікація відомостей про заявку: 27.07.2015, Бюл.№ 14	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2016, Бюл.№ 10	

(54) СТРУМИННО-ВИХРОВИЙ РЕКУПЕРАТОР**(57) Реферат:**

Винахід належить до конструкцій рекуператорів із прямими трубчастими каналами. Рекуператор може бути використаний в печах для нагрівання і виплавки металу і в інших пічних агрегатах для підвищення ефективності використання палива шляхом підігріву повітря за рахунок використання теплоти відхідних газів. В основу пропозиції поставлена задача удосконалення рекуператора, в якому в результаті встановлення всередині нагрівної труби внутрішньої труби з поперечними серпоподібно зігнутими ребрами із запропонованими параметрами та отворами, розташованими по спіралі, забезпечується підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією та підвищення температури підігріву відхідного повітря для дуття і за рахунок цього знижується металоємкість рекуператора та підвищується ресурс його експлуатації. Пропонований рекуператор встановлений у каналі відведення димових газів печі. Рекуператор включає вхідний повітряний короб, встановлений в ніші димоходу у вертикальній стінці. У протилежній стінці димоходу в ніші встановлений вихідний повітряний короб. Між вхідним і вихідним повітряними коробами в димоході розміщена зовнішня нагрівна труба або пучок зовнішніх нагрівних труб, розміщених в шаховому порядку. Вхід зовнішньої нагрівної труби закритий вхідною перфорованою кришкою. Всередині зовнішньої нагрівної труби коаксіально встановлена із зазором Н внутрішня повітряна перфорована труба вихід якої закритий заглушкою. По всій довжині внутрішньої повітряної труби виконана спіральна перфорація у вигляді отворів-сопел круглої форми діаметром D і кроком l між соплами. Вздовж внутрішньої повітряної перфорованої труби в зазорі Н між нею та зовнішньою нагрівною трубою встановлені поперечні серпоподібно зігнуті ребра при відношенні радіуса вигину ребра до товщини ребра $R/\delta=2,67-3,33$, відношенні товщини ребра до ширини $\delta/\beta=5-6,67$ з висотою поперечних серпоподібно зігнутих ребер, рівною зазору Н між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою, відношення діаметра сопла до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $D/H=0,35-0,59$,

UA 111673 C2

відношення кроку сопел до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $l/H=15,8-4,52$ і відношення кроку поперечних серпоподібно зігнутих ребер до діаметра внутрішньої повітряної перфорованої труби $L/d=3,85-12,82$.



Фіг. 1

Винахід належить до конструкцій рекуператорів із прямими трубчастими каналами. Рекуператор може бути використаний в печах для нагрівання і виплавки металу і в інших пічних агрегатах для підвищення ефективності використання палива шляхом підігріву повітря за рахунок використання теплоти відхідних газів.

Відомий рекуператор [А.С. 920347 СССР, Мпк³ F 28 D 7/10, 1982 г.], який включає внутрішню і зовнішню труби. На внутрішній трубі виконано спіральне оребрєння, що приєднане до стінки зовнішньої труби з утворенням гвинтового каналу. Внутрішня труба розташована ексцентрично відносно зовнішньої труби, а гвинтовий канал має конфузотно-дифузотні ділянки, які чергуються, і може бути виконаний багатозахідним.

Відомий рекуператор [Патент України № 104396 МПК F 28 D 1/04, F 23 L 15/04, 2014], який включає вхідний повітряний короб, встановлений в ніші димоходу в горизонтальній або вертикальній стінці, виконаний з відкритою вхідною стінкою-дифузотом і перфотрованою вихідною стінкою. У протилежній стінці димоходу в ніші встановлений вихідний короб, виконаний з вхідною перфотрованою стінкою та вихідним повітроводем. Між розташованими в нішах димоходу вхідними і вихідними коробами в димоході розташовані пучки нагрівних зовнішніх труб, які розташовані в шахотвому порядку. Всередині нагрівних труб коаксіально встановлені внутрішні повітряні труби. По всій довжині внутрішніх повітряних труб по спіралі виконана перфотрація (отвори-сопла круглої, прямокутної або еліптичної форми однакотого чи різного діаметра). Вздож внутрішньої повітряної перфотрованої труби в зазорі між нею і нагрівною трубою по всій довжині встановлені розпірки-завихрювачі прямокутної, трикутної або трапецоїдної форми під гострим кутом до осі труб. Вихідний кінець внутрішніх повітряних труб закритий наглухо кришками.

У відомих пристроях для забезпечення та інтенсифікації теплообміну застосовують розпірки-завихрювачі, які мають значний аеродинамічний опір, при цьому втрати енергії на проходження цих опорів порівнянні із затратами енергії на виникнення турбулентності, в робочотм простотрі рекуператора формуються пульсації, на ребрах спотерігається дисипація потоку. При цьому самі розпірки більшою мірою працюють як розсікачі, формувачі цих пульсацій і щотнайменше - закручують потік для досягнення максимальної тепловіддачі конвекцією при натіканні на нагріту стінку під оптимальними кутами. Розміщення значної кількості розпірок-завихрювачів вздож внутрішньої перфотрованої по спіралі труби призводить до здорожчання конструкції та підвищення її аеродинамічного опору. В сукупності, вказані ознаки роблять відомі теплообмінники дорогими у виготовленні, які вимагають високошвидкісних нагнітачів повітря, а деталі розпірок-завихрювачів такими, що вимагають прецизійного виготовлення за допусками-посадками.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення рекуператора, в якотм в результаті встановлення всередині нагрівної труби внутрішньої труби з поперечними серпоподібно зігнутими ребрами із запропонованими параметрами, забезпечується підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією та підвищення температури підігріву відхідного повітря для дуття і за рахунок цього знижується металотємкість рекуператора та підвищується ресурс його експлуатації.

Поставлена задача вирішується тим, що в рекуператорі, який включає встановлену в коробі нагрівну трубу з коаксіально розміщеною внутрішньою повітряною перфотрованою по спіралі трубою, згідно з винаходом, внутрішня повітряна перфотрована труба виконана з поперечними серпоподібно зігнутими ребрами при відношенні радіуса згину ребра до товщини ребра $R/\delta=2,67-3,33$, при відношенні товщини ребра до ширини $\delta/\beta=5-6,67$ із висотою поперечних ребер, рівною зазору між нагрівною трубою і внутрішньою повітряною перфотрованою трубою, відношення кроку поперечних серпоподібно зігнутих ребер до діаметра внутрішньої повітряної перфотрованої труби $L/d=3,85-12,82$, відношення діаметра сопел до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфотрованою трубою $D/H=0,35-0,59$, відношення кроку сопел до зазору між нагрівною трубою і внутрішньою повітряною перфотрованою трубою $l/H=15,8-4,52$.

Сукупність ознак відмінності забезпечує підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією за рахунок формування турбулентного вихра із імпактних (ударних) струменів та додаткової турбулізації цього вихра поперечними ребрами. За рахунок закручування вихра імпактних струменів зігнутими ребрами спільно із впливом розташованих по спіралі сопел забезпечується удар по охолоджуваній поверхні під кутами, оптимальними для досягнення максимально ефективної тепловіддачі конвекцією. Одержаний позитивний ефект - підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією, спотерігається при одночасній спільній дії системи з параметрами форми та розмірів поперечних серпоподібно зігнутих ребер із запропонованими співвідношеннями. Такий спільний одночасний позитивний вплив вказаних діапазонів

пов'язаний із складними струминно-вихровими турбулізованими процесами, які протікають при високих температурах підігріву повітря у внутрішньорекуператорному просторі та зазорі між зовнішньою нагрівною і внутрішньою повітряною перфорованою трубами, де, власне, і рухається турбулізований розігрітий повітряний вихор.

5 Суть винаходу пояснюють креслення.

На фіг. 1 представлений подовжній розріз пропонованого рекуператора, на фіг. 2 показана форма поперечних серпоподібно зігнутих ребер, на фіг. 3 показано креслення поперечних серпоподібно зігнутих ребер рекуператора та їх відносні розміри, на фіг. 4 показана фотографія макета рекуператора та макетів поперечних серпоподібно зігнутих ребер.

10 Пропонований рекуператор встановлений у каналі відведення димових газів печі. Рекуператор включає вхідний повітряний короб 1, встановлений в ніші димоходу у вертикальній стінці. У протилежній стінці димоходу в ніші встановлений вихідний повітряний короб 2. Між вхідним 1 і вихідним 2 повітряними коробами в димоході розміщена зовнішня нагрівна труба 3 або пучок зовнішніх нагрівних труб 3, розміщених в шаховому порядку. Вхідний кінець зовнішньої нагрівної труби 3 встановлений у вхідному повітряному коробі 1, протилежний кінець зовнішньої нагрівної труби - у вихідному повітряному коробі 2. Вхід зовнішньої нагрівної труби 3 закритий вхідною перфорованою кришкою 4. Всередині зовнішньої нагрівної труби 3 коаксіально встановлена із зазором Н внутрішня повітряна перфорована труба 5 вихід якої закритий заглушкою 6. По всій довжині внутрішньої повітряної труби виконана спіральна перфорація 7 у вигляді отворів-сопел круглої форми діаметром D і кроком l між соплами. Вздовж внутрішньої повітряної перфорованої труби 5 в зазорі Н між нею та зовнішньою нагрівною трубою 3 встановлені поперечні серпоподібно зігнуті ребра 8 при відношенні радіуса вигину ребра до товщини ребра $R/\delta=2,67-3,33$, відношенні товщини ребра до ширини $\delta/\beta=5-6,67$ з висотою поперечних серпоподібно зігнутих ребер, рівною зазору Н між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою. Додатково відмінністю є те, що відношення діаметра сопла до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $D/H=0,35-0,59$, відношення кроку сопел до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $l/H=15,8-4,52$ і відношення кроку поперечних серпоподібно зігнутих ребер до діаметра внутрішньої повітряної перфорованої труби $L/d=3,85-12,82$.

30 Рекуператор працює наступним чином. Із робочого простору печі по димових каналах подають нагріті димові гази. На шляху свого руху вони обтікають зовнішню нагрівну трубу 3 рекуператора або пучок нагрівних труб 3, встановлений у димоході або у винесений за межі робочого простору печі корпус із жароміцної сталі, нагріваючи трубу 3 до заданої температури. У встановлену в стінці вхідного повітряного короба 1 повітряну перфоровану трубу із соплами 5 подають холодне повітря (20°C). Це повітря при проходженні по внутрішній повітряній перфорованій трубі 5 при витіканні з сопел 7 формує турбулентний вихор із імпульсних струменів, які взаємодіють з нагрітою стінкою зовнішньої нагрівної труби 3, нагріваються самі, чим забезпечують рекуперацію тепла відхідних димових газів. Сопла внутрішніх повітряних перфорованих труб 5 при витіканні повітря формують турбулентний вихор, який проходить уздовж зазору Н між нагрівною трубою 3 і внутрішньою повітряною перфорованою трубою 5. Обтікання поперечних серпоподібно зігнутих ребер 8 при відношенні радіуса вигину ребра до товщини ребра $R/\delta=2,67-3,33$, відношенні товщини ребра до ширини $\delta/\beta=5-6,67$ нагрітим повітрям забезпечує додаткову турбулізацію сформованого вихру. При цьому нагрітий турбулізований вихор, що рухається уздовж стінки, яка нагрівається, натікає на неї під оптимальними для досягнення максимальної ефективності теплообміну конвекцією кутами.

45 Запропонований рекуператор був випробуваний на фізичній моделі (аеродинамічному макеті) з подальшим числовим моделюванням теплових процесів і процесів масо переносу в робочому просторі рекуператора.

50 Рекуператор дозволяє, у порівнянні із прототипом, за рахунок зниження аеродинамічного опору поперечних серпоподібно зігнутих ребер збільшити їх кількість до достатнього для досягнення максимальних температур підігріву повітря на виході з рекуператора та формування стабільної вихрової структури турбулізованого потоку. При цьому поперечини серпоподібно зігнуті ребра виконують двояку роль. Вони, розігріваючись за рахунок теплопровідності від зовнішньої нагрівної труби рекуператора додатково розігрівають турбулізований вихор, а також забезпечують його стабільність по довжині за рахунок додаткового закручування при проходженні поперечних серпоподібно зігнутих ребер.

60 При відношенні кроку сопел до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $l/H \leq 1,58$ максимальна ефективність теплообміну конвекцією (коефіцієнт тепловіддачі α) та температура підігріву повітря на виході з рекуператора досягається при значних швидкостях підвідного повітря. Це пов'язано із меншою площею внутрішньої повітряної

перфорованої труби і викликаним цим значним збільшенням швидкостей подавання повітря в рекуператор, щоб забезпечити необхідні витрати повітря при цій малій площі перерізу внутрішньої повітряної перфорованої труби.

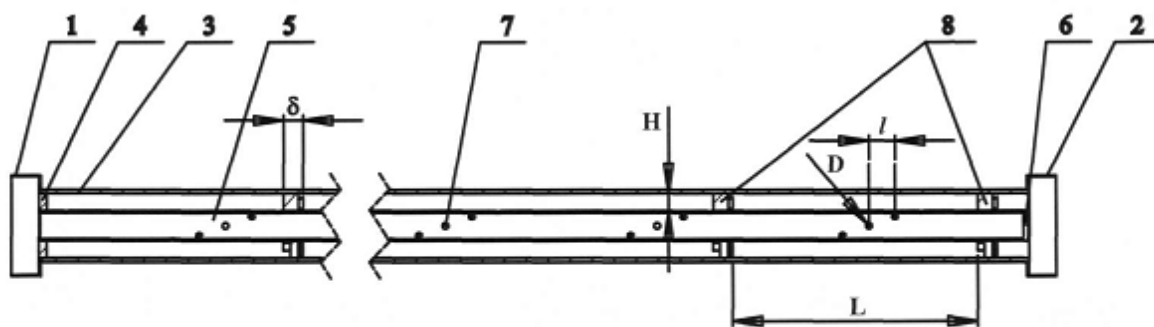
При відношенні зазору між нагрівною трубою і внутрішньою повітряною перфорованою трубою до діаметра із соплами D/H в діапазоні 0,35-0,59 близька до оптимальної ефективність тепловіддачі конвекцією обумовлена тим, що забезпечується удар імпульсних струменів з отворів-сопел по нагрітій стінці тою частиною струменя, середня швидкість потоку в якій зберігається тотожною швидкості потоку на виході із сопла. Відношення кроку сопел до діаметра сопел l/D в діапазоні 15,8-4,52 забезпечує досить вільне витікання імпульсних струменів навіть при гострих кутах виходу із сопел, при цьому струмені не перемішуються між собою, не відбувається розбивання одних струменів іншими. Відношення кроку поперечних серпоподібно зігнутих ребер до діаметра внутрішньої повітряної перфорованої труби L/d в діапазоні 3,85-12,82 забезпечує формування стабільного турбулентного вихру, що рухається в зазорі H між зовнішньою нагрівною трубою 3 та коаксіально встановленою внутрішньою повітряною перфорованою трубою 5 з мінімальними дисипаціями та розривами потоку.

Рекуператор можна використовувати окремо або у вигляді декількох пучків труб, він може бути встановлений окремо в корпусі із жароміцної сталі, розміщеному в безпосередній близькості до блоків паликових пристроїв для зниження втрат температури відхідних димових газів печі.

Таким чином, пропозиція дозволяє виконати рекуператор компактних розмірів, знизити його аеродинамічний опір з можливістю розміщення більшої кількості серпоподібно зігнутих ребер, спростити та здешевити його конструкцію у порівнянні з прототипом, а також досягти підвищення інтенсифікації теплообміну конвекцією на повітряній стороні рекуператора за рахунок застосування аеродинамічно більш ефективної форми турбулізаторів, що забезпечують виникнення ефекту синергії та додаткової турбулізації загального вихору імпульсних струменів з сопел, а також натікання цього вихру на нагріту зовнішню стінку рекуператора під кутами, що забезпечують максимальну ефективність тепловіддачі конвекцією.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

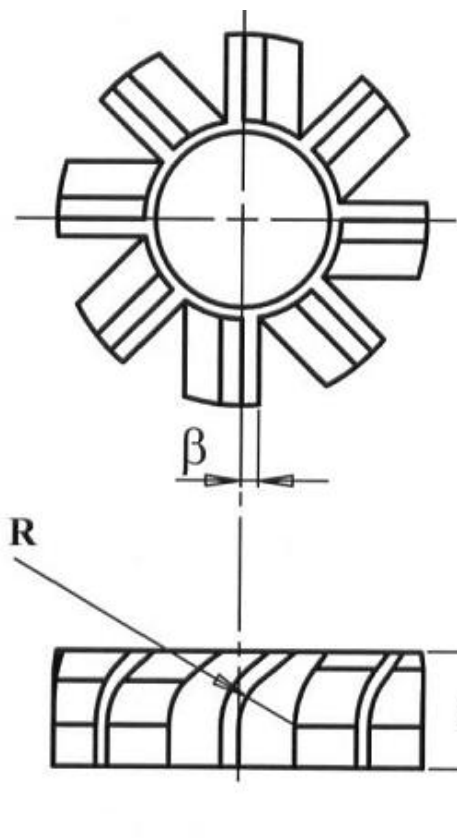
Рекуператор, що містить встановлену в коробі нагрівну трубу з коаксіально розміщеною внутрішньою повітряною перфорованою по спіралі трубою, перфорація якої виконана у вигляді отворів-сопел, який відрізняється тим, що внутрішня повітряна перфорована труба виконана з поперечними серпоподібно зігнутими ребрами при відношенні радіуса вигину ребра до товщини ребра $R/\delta=2,67-3,33$, при відношенні товщини ребра до ширини $\delta/\beta=5-6,67$, із висотою поперечних ребер, рівною зазору між нагрівною трубою і внутрішньою повітряною перфорованою трубою, відношення кроку поперечних серпоподібно зігнутих ребер до діаметра внутрішньої повітряної перфорованої труби $L/d=3,85-12,82$, відношення діаметра сопел до зазору між нагрівною трубою та внутрішньою повітряною перфорованою трубою $D/H=0,35-0,59$, відношення кроку сопел до зазору між нагрівною трубою і внутрішньою повітряною перфорованою трубою $l/H=1,58-4,52$.



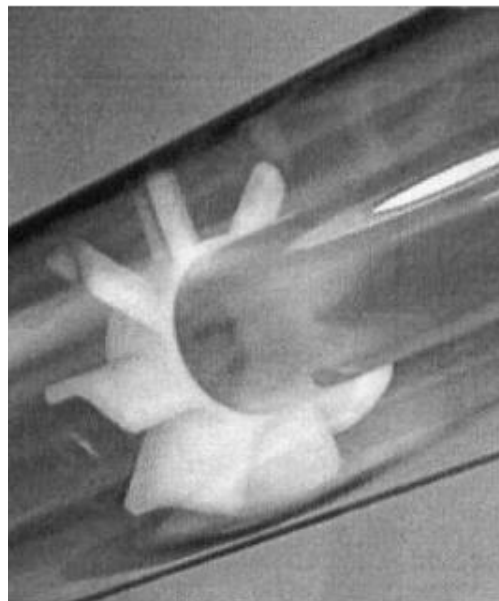
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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