



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 109992

(13) C2

(51) МПК

F23L 15/04 (2006.01)

F28D 7/10 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

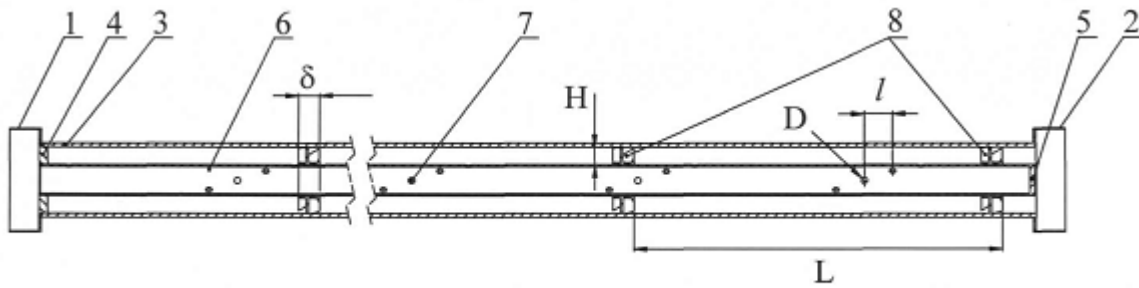
<b>(21)</b> Номер заявки:	<b>а 2014 08823</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и):	<b>Агєєв Костянтин Валерійович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки:	<b>04.08.2014</b>	<b>(73)</b> Власник(и):	<b>Агєєв Костянтин Валерійович,</b> просп. Героїв Сталінграда, 11, кв. 80, м. Київ, 04210 (UA)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>26.10.2015</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	SU 170889 A1, 15.06.1992 SU 1043426 A1, 23.09.1983 US 4524752 A, 25.06.1985 US 4589844 A, 20.05.1986 US 2969967 A, 31.01.1961 US 3859040 A, 07.01.1975 US 4298333 A, 03.11.1981 US 3473348 A, 21.10.1969 UA a201304891, 11.11.2013 SU 1642191 A1, 15.04.1991 UA 93434 C2, 10.02.2011
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку:	<b>10.12.2014, Бюл.№ 23</b>		
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>26.10.2015, Бюл.№ 20</b>		

**(54) РЕКУПЕРАТОР****(57) Реферат:**

Винахід належить до конструкцій рекуператорів з 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 винаходу поставлена задача удосконалення рекуператора, в якому в результаті виконання внутрішньої повітряної перфорованої труби з лопатями пропонує параметрів та з отворами, розташованими по спіралі, забезпечується підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією і підвищення температури підігріву відхідного повітря дуття та за рахунок цього знижується металоємкість рекуператора і підвищується ресурс його експлуатації. Запропонований рекуператор встановлений у каналі відводу 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 встановленими в нішах димоходу вхідним і вихідним повітряними коробами в димоході розміщена нагрівна зовнішня труба або пучок нагрівних зовнішніх труб, розташованих у шаховому порядку. Вхід і вихід зовнішньої нагрівної труби відповідно закритий вхідною перфорованою кришкою і заглушкою. В середині нагрівної зовнішньої труби коаксіально встановлена із зазором внутрішня повітряна перфорована труба. Вздовж внутрішньої повітряної перфорованої труби в зазорі між нею і нагрівною зовнішньою трубою встановлені лопаті з висотою, що дорівнює зазору, виконані у формі гвинтової крильчатки з кутом закручування між вертикальною віссю і лопаттю 49-50° при відношенні ширини до товщини лопаті 6,5-6,7. Для досягнення максимальної ефективності рекуперативного підігріву повітря рекуператор виконаний з дотриманням наступних співвідношень конструктивних параметрів: відношенням зазору між нагрівною трубою і внутрішньою перфорованою повітряною трубою до діаметра сопла  $(1,7-2,8) \leq 3$ , відношенням кроку сопл до діаметра сопл 4,5-7,6, відношенням

UA 109992 C2

кроку лопатей до їх ширини 5,7-13,8. Таким чином, пропозиція дозволяє виконати рекуператор компактних розмірів, спростити і здешевити його конструкцію у порівнянні з прототипом, а також досягти підвищення інтенсифікації теплообміну конвекцією на повітряній стороні рекуператора.



Фиг. 1

Винахід належить до конструкцій рекуператорів з 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 струминний рекуператор (А.С. 1642191 СССР, МКИ<sup>4</sup> F 23 L 15/04, 1989 г.), який включає корпус з вхідними і вихідними патрубками, обладнаний встановленими послідовно по ходу газу порожнистими вставками, один торець яких виконаний заглушеним, а інший – з вхідним отвором. При цьому стінки вставки обладнані газовипускними отворами з патрубками і в зоні зазору герметично з'єднані зі стінками корпусу. Кожен патрубок направлений по нормалі до внутрішньої поверхні корпусу.

Відомий рекуператор (Патент України № 104396 МПК F 28 D 1/04, F 23 L 15/04, 2014), який включає вхідний повітряний короб, встановлений у ніші димоходу в горизонтальній або вертикальній стінці, виконаний з відкритою вхідною стінкою-дифузором та перфорованою вихідною стінкою. У протилежній стінці димоходу в ніші встановлений вихідний короб, виконаний з вхідною перфорованою стінкою і вихідним повітроводом. Між розташованими в нішах димоходу вхідними і вихідними коробами в димоході розміщені пучки зовнішніх нагрівних труб, які розташовані у шаховому порядку. Один кінець пучка нагрівних труб, розміщений в отворах вхідної перфорованої стінки повітряного короба, протилежний кінець цього пучка розміщений в отворах вихідної перфорованої стінки вихідного короба. Всередині нагрівних труб коаксіально встановлені внутрішні повітряні труби. По всій довжині внутрішніх труб по спіралі виконана перфорація (отвори-сопла круглої, прямокутної або еліптичної форми однакового або різного діаметра). Уздовж внутрішньої повітряної перфорованої труби в зазорі між нею і нагрівною трубою по всій довжині встановлені розпірки-завихрювачі прямокутної, трикутної або трапецієподібної форми, встановлені під гострим кутом до осі труб. Вихідний кінець внутрішніх повітряних труб закритий наглухо кришками.

У відомих пристроях для забезпечення та інтенсифікації теплообміну застосовують складну систему перфорованих порожнистих вставок зі змонтованими на них патрубками, перфоровані порожнисті вставки виконуються роз'ємними, зібраними з окремих секцій. Розміщення значного числа розпірок-завихрювачів уздовж внутрішньої перфорованої по спіралі труби призводить до здорожчання конструкції та підвищення її аеродинамічного опору. За сукупністю, вказані ознаки роблять відомі теплообмінники дорогими у виготовленні, порожнисті вставки з випускними патрубками – металоємкими та нетехнологічними, які вимагають виготовлення прецизійних за допусками-посадками деталей.

В основу пропозиції поставлена задача удосконалення рекуператора, в якому в результаті виконання внутрішньої повітряної перфорованої труби з лопатями пропонованих параметрів та з отворами, розташованими по спіралі, забезпечується підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією і підвищення температури підігріву відхідного повітря дуття та за рахунок цього знижується металоємкість рекуператора і підвищується ресурс його експлуатації.

Поставлена задача вирішена завдяки тому, що в рекуператорі, який включає розташовану у коробі нагрівну трубу, всередині якої коаксіально встановлена внутрішня повітряна перфорована труба з круглими соплами, згідно з пропозицією, внутрішня повітряна перфорована труба виконана з лопатями у формі гвинтової крильчатки з кутом закручування між вертикальною віссю і лопаттю  $49-50^\circ$  при співвідношенні ширини до товщини лопаті  $\delta/\beta=6,5-6,7$  з висотою лопатей, рівною зазору між нагрівною трубою та внутрішньою перфорованою повітряною трубою, і одночасним дотриманням наступних співвідношень конструктивних параметрів: відношенням зазору між нагрівною трубою та внутрішньою перфорованою повітряною трубою до діаметра сопла  $H/D=(1,7-2,8)\leq 3$  відношенням кроку сопл до діаметра сопл  $1/D=4,5-7,6$  та відношенням кроку лопатей до їх ширини  $L/\delta=5,7-13,8$ .

Сукупність ознак відмінності забезпечує підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією за рахунок формування турбулентного вихору з імпульсних струменів та додаткової турбулізації цього вихору лопатями. За рахунок закручування вихору імпульсних (ударних) струменів лопатями спільно із впливом перфорації забезпечується удар по охолоджуваній поверхні під кутами, що близькі до оптимальних для досягнення максимально ефективної тепловіддачі конвекцією. Досягнутий позитивний ефект – підвищення ефективності тепловіддачі конвекцією, спостерігається при одночасній спільній дії системи із параметрів форми та розмірів лопатей у формі гвинтової крильчатки 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 внутрішньому рекуператорному просторі і у зазорі між зовнішньою нагрівною та внутрішньою повітряною перфорованою трубами, де рухається турбулізований розігрітий повітряний вихор.

На фіг. 1 зображений поздовжній розріз запропонованого рекуператора, на фіг. 2 показана форма лопатей рекуператора та їх відносні розміри, на фіг. 3. показано креслення лопаті з відносними розмірними параметрами, на фіг. 4 показана фотографія макета рекуператора з лопатями у формі гвинтової крильчатки.

Запропонований рекуператор встановлений у каналі відводу 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 встановленими в нішах димоходу вхідним 1 і вихідним 2 повітряними коробами в димоході розміщена нагрівна зовнішня труба 3 або пучок нагрівних зовнішніх труб 3, розташованих у шаховому порядку. Вхідний кінець нагрівної зовнішньої труби 3 встановлений у вхідному повітряному коробі 1, протилежний кінець нагрівної зовнішньої труби – у вихідному повітряному коробі 2. Вхід і вихід зовнішньої нагрівної труби 3 відповідно закритий вхідною перфорованою кришкою 4 і заглушкою 5. Всередині нагрівної зовнішньої труби 3 коаксіально встановлена із зазором Н внутрішня повітряна труба 6. По всій довжині внутрішньої повітряної труби виконана перфорація 7 у вигляді отворів-сопел круглої форми діаметром D і кроком 1 між соплами. Вздовж внутрішньої повітряної перфорованої труби 6 в зазорі Н між нею і нагрівною зовнішньою трубою 3 встановлені лопаті 8 з висотою, що дорівнює зазору Н, виконані у формі гвинтової крильчатки з кутом закручування  $\theta$  між вертикальною віссю і лопаттю  $\theta=49-50^\circ$  при відношенні ширини до товщини лопаті  $\delta/\beta=6,5-6,7$  і кроком між лопатями L. Для досягнення максимальної ефективності рекуперативного підігрівання повітря, рекуператор виконаний з дотриманням наступних співвідношень конструктивних параметрів: відношенням зазору між нагрівною трубою і внутрішньою перфорованою повітряною трубою до діаметра сопла  $H/D=(1,7-2,8)\leq 3$ , відношенням кроку сопел до діаметру сопел  $1/D=4,5-7,6$ , відношенням кроку лопатей до їх ширини  $L/\delta=5,7-13,8$ .

Рекуператор працює наступним чином. З робочого простору печі по димоходах подають нагріті димові гази. На шляху свого руху вони обтікають нагрівну зовнішню трубу 3 рекуператора або пучок нагрівних труб 3, встановлений у димоході або у винесений за межі робочого простору печі в корпус з жароміцної сталі, нагріваючи трубу 3 до заданої температури. У встановлену в стінці вхідного повітряного короба 1 повітряну перфоровану трубу 6 подають холодне повітря ( $20^\circ\text{C}$ ), яке при проходженні по внутрішній повітряній трубі 6 при витіканні з перфорації 7 формує турбулентний вихор з імпульсних (ударних) струменів, котрі взаємодіють із нагрітою стінкою нагрівної зовнішньої труби 3, нагріваються самі, чим забезпечують рекуперацію тепла відхідних димових газів. Перфорація внутрішніх повітряних труб 6 при витіканні повітря формує турбулентний вихор, який проходить вздовж зазору Н між нагрівною трубою 3 та внутрішньою перфорованою повітряною трубою 6. Обтікання лопатей 8 з кутом закручування  $\theta=49-50^\circ$  і відношенням ширини до товщини лопаті  $\delta/\beta=6,5-6,7$  нагрітим повітрям забезпечує додаткову турбулізацію сформованого вихору. При цьому нагрітий турбулізований вихор, який рухається вздовж нагрітої стінки натікає на неї під оптимальними для досягнення максимальної ефективності теплообміну конвекцією кутами.

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

Рекуператор дозволяє зменшити кількість лопатей у порівнянні з прототипом до кількості, достатньої для досягнення близьких до оптимальних температур підігріву повітря на виході з рекуператора. Рекуператор можна використовувати окремо або у вигляді декількох пучків труб; рекуператор може бути встановлений окремо в корпусі з жароміцної сталі, розміщеному в безпосередній близькості до блоків паликових пристроїв для зниження втрат температури відхідних димових газів печі.

При відношенні зазору між нагрівною трубою та внутрішньою перфорованою повітряною трубою до діаметра сопла  $H/D$  в діапазоні  $1,7-2,8\leq 3$  близька до оптимальної ефективність тепловіддачі конвекцією обумовлена тим, що забезпечується удар імпульсних (ударних) струменів, котрі витікають з отворів-сопел об нагріту стінку на тій ділянці імпульсного струменя, середня швидкість потоку, в якому зберігається такою ж, як і на виході з сопла. Відношення кроку сопел до діаметра сопел  $1/D$  в діапазоні  $4,5-7,6$  забезпечує достатньо вільне витікання імпульсних (ударних) струменів навіть при гострих кутах траєкторії струменів із сопел, при цьому струмені не перемішуються між собою, не відбувається розбивання одних струменів іншими. Відношення кроку лопатей до їх ширини  $L/\delta$  в діапазоні  $5,7-13,8$  забезпечує формування стабільного турбулентного вихору, котрий рухається у зазорі Н між нагрівною зовнішньою трубою 3 і коаксіально встановленою внутрішньою повітряною трубою 6 з мінімальними дисипаціями та розривами потоку.

Таким чином, пропозиція дозволяє виконати рекуператор компактних розмірів, спростити і здешевити його конструкцію у порівнянні з прототипом, а також досягти підвищення інтенсифікації теплообміну конвекцією на повітряній стороні рекуператора за рахунок застосування вдосконаленої форми лопатей, що забезпечує виникнення ефекту синергії та додаткової турбулізації загального вихору імпульсних струменів з сопел, а також натікання вихра на нагріту зовнішню стінку рекуператора під заявленими кутами, що забезпечує максимальну ефективність тепловіддачі конвекцією.

# ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Рекуператор, який включає розташовану в коробі нагрівну трубу, всередині якої коаксіально встановлена внутрішня повітряна перфорована труба з круглими соплами, який **відрізняється** тим, що внутрішня повітряна перфорована труба виконана з лопатями у формі гвинтової крильчатки з кутом закручування між вертикальною віссю і лопаттю  $49-50^\circ$  при співвідношенні ширини до товщини лопаті  $\delta/\beta=6,5-6,7$  з висотою лопатей, рівною зазору між нагрівною трубою та внутрішньою перфорованою повітряною трубою, і одночасним дотриманням наступних співвідношень конструктивних параметрів: відношенням зазору між нагрівною трубою та внутрішньою перфорованою повітряною трубою до діаметра сопла  $H/D=(1,7-2,8)\leq 3$ , відношенням кроку сопел до діаметра сопел  $1/D=4,5-7,6$  та відношенням кроку лопатей до їх ширини  $L/\delta=5,7-13,8$ .

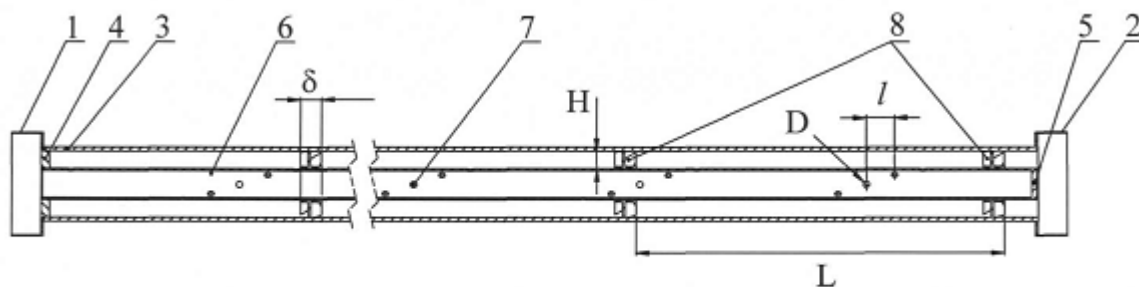


Fig. 1

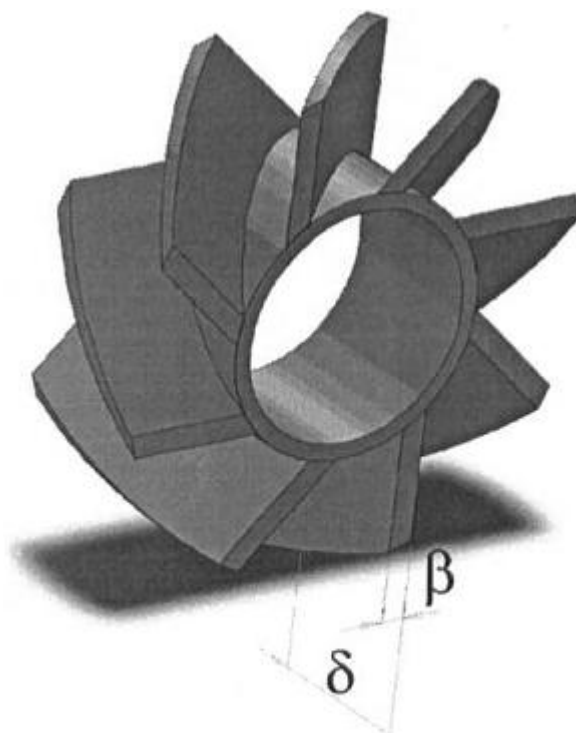
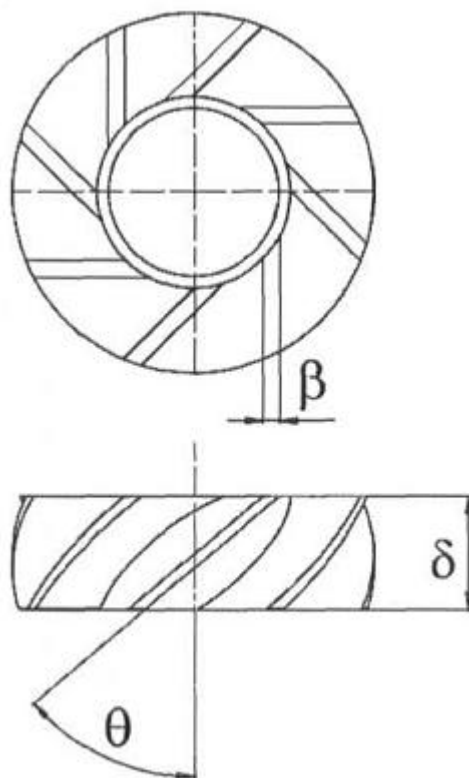


Fig. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

---

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

---

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

---

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