



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **109093** (13) **C2**  
(51) МПК**F23D 14/12** (2006.01)**F28F 13/18** (2006.01)**B05D 1/38** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

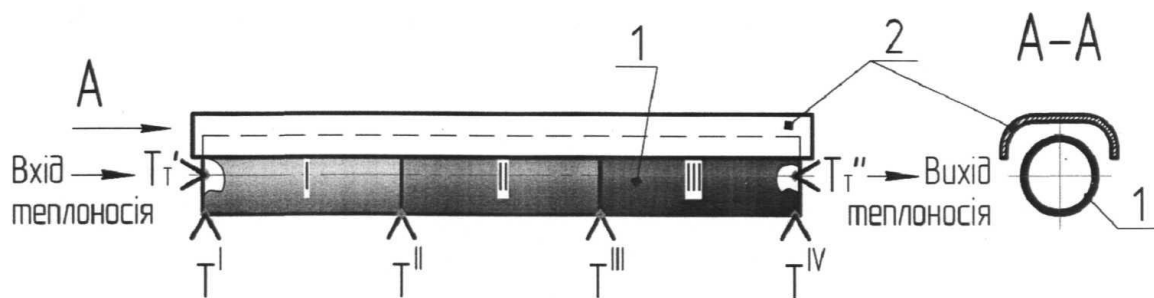
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2014 07937</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Пікашов Вячеслав Сергійович (UA),</b> <b>Великодний Володимир Олександрович (UA),</b> <b>Троценко Лариса Миколаївна (UA),</b> <b>Виноградова Тетяна Василівна (UA),</b> <b>Правило Сергій Вікторович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>14.07.2014</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ</b> <b>АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,</b> вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, 03113 (UA)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.07.2015</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2246663 C2, 20.02.2005 EP 2226570 A2, 08.09.2010 CN 1553134 A, 08.12.2004 US 2012/0295206 A1, 22.11.2012 EP 2295871 A2, 16.03.2011 RU 2378574 C2, 10.01.2010 US 2008/0128121 A1, 05.01.2008 RU 63495 U1, 27.05.2007
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.12.2014, Бюл.№ 24</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.07.2015, Бюл.№ 13</b>	

**(54) СПОСІБ ІНФРАЧЕРВОНОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПАЛЕННЯ ВЕЛИКИХ ПРИМІЩЕНЬ ТА НАГРІВУ ОБ'ЄКТІВ****(57) Реферат:**

Винахід належить до способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів протяжними випромінюючими трубами з нанесенням на них покриттям. Спосіб може бути використано для рівномірного обігріву заводських цехів, складів, гаражів-розморожувачів та інших великих приміщень. В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів, в якому в результаті нанесення покриття з різною випромінюючою здатністю по довжині кожної випромінюючої труби забезпечується рівномірність густини теплових потоків від труби по її довжині і за рахунок цього підтримується рівномірність обігріву по всій площі великого приміщення та спрощується здійснення способу. Реалізацію заявленого способу здійснюють наступним чином. Умовно розділяють випромінюючу трубу для опалення великих приміщень та нагріву об'єктів по довжині на  $n$  ділянок. Визначають середню температуру зовнішньої поверхні кожної ділянки і випромінювальну здатність кожної ділянки. Потім на основі безпосередніх вимірювань за допомогою терморадіометра визначають покриття з потрібною випромінювальною здатністю для цих ділянок. Як покриття може бути фарба на основі високотемпературного лаку з різними пігментами: алюмінієвою пудрою, сажею, суриком та іншими, або сумішшю різних пігментів. Також може бути покриття чистими металами: нікелем, хромом, цинком, сріблом, яке наносять електролізом, плазмовим способом, хімічним осадженням. Пропонований спосіб інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий

UA 109093 C2

газовий теплоносій, характеризується простотою виконання, мінімальними капітальними витратами та відсутністю додаткових експлуатаційних витрат.



Винахід належить до способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів протяжними випромінюючими трубами з нанесенням на них покриттям. Спосіб може бути використано для рівномірного обігріву заводських цехів, складів, гаражів-розморожувачів та інших великих приміщень.

Відомий спосіб радіаційного опалення великих приміщень [Dohle A. Dunkel strahler und der Einflug der Bauart auf Wärme Technische Raumparameter// Gas Wärme International, 1998, № 2, р. 104-108]. Цей спосіб здійснюють за допомогою протяжних випромінюючих труб, що розташовані навпроти об'єктів, які потрібно обігрівати. Всередину труб подають нагрітий до 300-500 °С газовий теплоносіє, яким можуть бути продукти спалювання природного, коксового, доменного і подібного газу або рідкого палива. Такі нагріті теплоносієм труби інфрачервоним випромінюванням нагрівають об'єкти, які розташовані навпроти них.

Але у відомому способі газовий теплоносіє, протікаючи вздовж протяжної труби, охолоджується і, як наслідок, температура стінки труби поступово знижується і зменшується пропорційно четвертого степеня від температури радіаційний тепловий потік. Тому вздовж труби нагрів об'єкту нерівномірний.

Найближчим за технічною суттю до пропонованого технічного рішення є спосіб рівномірного радіаційного опалення [Патент РФ № 2246663, МПК<sup>7</sup> F23 D14/12, 2002]. За цим способом приміщення обігрівають за рахунок трубчастих модульних випромінювачів, які продувають гарячим теплоносієм (наприклад, продуктами спалювання газу). Кожен модуль підігрівають окремим пальником. Внаслідок процесів теплообміну з навколишнім середовищем гарячі гази, які протікають в модулі (трубі), на виході з нього мають нижчу температуру, ніж на вході. Тому кожний наступний модуль оснащено компенсаційним пальником з тепловою потужністю, достатньою для відновлення температури до такої величини, як на вході їх у перший модуль.

Зазначений спосіб забезпечує рівномірність обігріву по довжині приміщення, але використання додаткових пальників для кожного блока, а також труб різного діаметра, робить його дорогим і складним в експлуатації.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів, в якому в результаті нанесення покриття з різною випромінюючою здатністю по довжині кожної випромінюючої труби забезпечується рівномірність густини теплових потоків від труби по її довжині і за рахунок цього підтримується рівномірність обігріву по всій площі великого приміщення та спрощується здійснення способу.

Поставлена задача вирішена завдяки тому, що у способі інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів, що містить нагрів приміщення та об'єктів протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносіє, згідно з винаходом, попередньо на зовнішню поверхню послідовних ділянок вздовж кожної труби наносять покриття з різною випромінювальною здатністю, причому випромінювальну здатність покриття кожної наступної ділянки, починаючи від входу теплоносія, збільшують згідно з формулою:  $\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot T_1 / T_i$ , де  $\varepsilon_1$  - випромінювальна здатність покриття першої ділянки;  $\varepsilon_i$  - випромінювальна здатність покриття кожної наступної ділянки;  $T_1$  - середня температура поверхні першої ділянки, K;  $T_i$  - середня температура поверхні кожної наступної ділянки, K.

Сукупність відмітних ознак дозволяє вирішити задачу тому, що здійснюється рівномірний обігрів великого приміщення або нагрів об'єкта за рахунок однакової густини радіаційних теплових потоків вздовж протяжних труб, в які подають нагрітий газовий теплоносіє. Це досягається тим, що зменшення температури вздовж труб внаслідок охолодження теплоносія і залежним від температури в четвертому степені густини теплових потоків компенсується збільшенням випромінюючої здатності поверхні труб, на які нанесено такі покриття. У порівнянні з прототипом нанесення покриттів на труби значно зменшує капітальні витрати на додаткові пальники, спрощується система опалення, бо не потрібні труби різного діаметра, а також відсутні додаткові експлуатаційні витрати на компенсаційні пальники.

Для визначення закономірності нанесення покриття на випромінюючі труби наведемо її розрахунок.

Згідно з законом Стефана-Больцмана густина випромінювання першої ділянки труби зі сторони входу теплоносія буде:

$$q_1 = \varepsilon_1 \cdot \sigma_0 \cdot T_1^4, \text{ Вт/м}^2. \quad (1)$$

Де  $\varepsilon_1$  - випромінювальна здатність (ступінь чорноти) першої ділянки;  $T_1$  - середня температура поверхні першої ділянки труби, K;  $\sigma_0$  - стала Больцмана.

Для другої, третьої і так далі  $q_i$ , густина випромінювання:

$$q_2 = \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot T_2^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

$$q_3 = \varepsilon_3 \cdot \sigma_0 \cdot T_3^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$q_i = \varepsilon_i \cdot \sigma_0 \cdot T_i^4, \text{ Вт/м}^2. \quad (4)$$

Останньої  $q_n$ :

$$q_n = \varepsilon_n \cdot \sigma_0 \cdot T_n^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (5)$$

5 де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_n$  - випромінювальна здатність першої, другої, третьої, ...,  $i$ -тої і останньої  $n$  ділянок;  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, \dots, T_n$  - середня температура у градусах К тих же ділянок відповідно.

Оскільки згідно з умовами:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_i = \dots = q_n, \quad (6)$$

10

то випромінювальна здатність поверхні другої ділянки:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \cdot T_1^4 / T_2^4, \quad (7)$$

третьої:

15

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_1 \cdot T_1^4 / T_3^4, \quad (8)$$

$\dots\dots\dots$

$i$ -тої:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot T_1^4 / T_i^4. \quad (9)$$

20

Останньої:

$$\varepsilon_n = \varepsilon_1 \cdot T_1^4 / T_n^4. \quad (10)$$

Враховуючи, що  $T_1 > T_2 > T_3 > \dots > T_i > \dots > T_n$ , то із рівнянь (7)-(10) випливає наступна залежність:  $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3 < \dots < \varepsilon_i < \dots < \varepsilon_n$ .

25

Відомо, що випромінювальна здатність різних матеріалів може бути від 0,05 до 0,07 для гладких неокислених металів; різних окислених металів - від 0,1 до 0,98; сажі - 0,98; фарб з різними пігментами - від 0,1 до 0,98. Тому покриття з потрібною величиною ступеня чорноти  $\varepsilon$  можуть відрізнитися один від одного приблизно в 19 разів і в стільки ж разів буде змінюватися густина теплового потоку від випромінюючої поверхні.

30

Схему реалізації способу представлено.

Реалізацію заявленого способу здійснюють наступним чином. Опалення великих приміщень та нагріву об'єктів здійснюють за допомогою випромінюючих труб. Для цього умовно розділяють випромінюючу трубу по довжині на  $n$ -ділянок. Визначають середню температуру зовнішньої поверхні кожної ділянки шляхом безпосереднього вимірювання її експериментально на об'єкті. Згідно з формулою (10) визначають випромінювальну здатність кожної ділянки. Потім на основі безпосередніх вимірювань за допомогою терморадіометра визначають покриття з потрібною випромінювальною здатністю для цих ділянок. Як покриття може бути фарба на основі високотемпературного лаку з різними пігментами: алюмінієвою пудрою, сажею, суриком та іншими, або сумішшю різних пігментів. Фарбу наносять пензлем, фарборозпилювачем, валиком. Також може бути покриття чистими металами: нікелем, хромом, цинком, сріблом, яке наносять електролізом, плазмовим способом, хімічним осадженням.

35

Наведемо чисельний приклад розрахунку випромінювальної здатності по довжині труби.

Приклад 1. Вибираємо випромінюючу трубу довжиною 15 м і діаметром 120 мм. Умовно поділяємо її на п'ять частин. Середня температура поверхні ділянок труби: першої (зі сторони входу теплоносія) - 760 К, другої - 670 К, третьої - 580 К, четвертої - 490 К, п'ятої - 400 К. Для останньої ділянки приймаємо покриття фарбою на основі кремнієорганічного лаку з пігментом (канальною сажею), у співвідношенні 93:7, яке має найбільшу випромінювальну здатність:  $\varepsilon_5 = 0,96$ . Обчислюємо по формулі (10) випромінювальну здатність інших ділянок: для першої -  $\varepsilon_1 = 0,08$ ; другої -  $\varepsilon_2 = 0,12$ ; третьої -  $\varepsilon_3 = 0,22$ ; четвертої -  $\varepsilon_4 = 0,42$ . Для першої ділянки згідно з

45

відомими даними найближчим по випромінювальній здатності є покриття із полірованого нікелю, для другої - із цинку. Наносимо його за допомогою плазмового способу, а потім покриття із нікелю поліруємо. Останні ділянки покриваємо фарбою за допомогою пензля. Для цього для

5 Для четвертої ділянки використовуємо пігмент з суміші алюмінієвої пудри з сажею у співвідношенні 94,5:5,5. Співвідношення лаку з цією сумішшю 99:8. Після нанесення покриттів випромінюючу трубу включають в роботу. Її розташовують навпроти об'єкта, який потрібно обігріти. З протилежної сторони від об'єкта вздовж труби розміщують ввігнутий екран з великою відбивною здатністю, наприклад, з полірованого алюмінію. В трубу подають теплоносії з

10 температурою 870 K, наприклад, продукти спалювання газу розбавлені повітрям. З протилежної сторони труби продукти спалювання відводять у димову трубу. Випромінюючу трубу нагрівають від теплоносія і завдяки покриттю рівномірно по всій довжині нагрівають об'єкт.

Приклад 2. Вибираємо випромінюючу трубу довжиною 12 м. Умовно поділяємо її на три частини по довжині. Температура поверхні труби зі сторони входу теплоносія 700 K, на границі

15 першої ділянки з другою 600 K, другої ділянки з третьою 500 K і в кінці третьої ділянки (в кінці всієї труби) 400 K. Середня температура першої ділянки буде дорівнювати  $T_1=650$  K, другої -  $T_2=550$  K, третьої -  $T_3=450$  K. Приймаємо випромінювальну здатність першої ділянки  $\varepsilon_1=0,22$ . Тоді  $\varepsilon_2=\varepsilon_1 \cdot T_1^4/T_2^4=0,22 \cdot 650^4/550^4 \approx 0,43$ ; а  $\varepsilon_3=\varepsilon_1 \cdot T_1^4/T_3^4=0,22 \cdot 650^4/450^4 \approx 0,96$ . Експерименти

20 проведено на установці для опалювання приміщення. Випромінюючу трубу 1 виконано зі сталі довжиною 12 м і діаметром та товщиною стінки 108×5 мм×мм з очищеною від окалини поверхнею. Над трубою розташовано увігнутий екран 2. Трубу умовно поділено на три ділянки I, II і III, на які нанесено покриття з  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$ . В трубу подають газовий теплоносій - продукти спалювання природного газу, розбавлені повітрям. Температуру поверхні  $T^I$ ,  $T^{II}$ ,  $T^{III}$ ,  $T^{IV}$  вимірювали зачekanеними на трубі термопарами, температури газового потоку на вході  $T_T^I$  і

25 виході  $T_T^{II}$  - термопарами, спаї яких знаходились всередині потоку теплоносія. Місця розташування термопар показано на схемі. Як фарбу для покриття використовували термостійкий кремнієорганічний лак, в який підмішано пігменти. Для фарби з мінімальною  $\varepsilon_1=0,22$  лак змішували з алюмінієвою пудрою у співвідношенні 92:8; для фарби з максимальною  $\varepsilon_3=0,96$  - лак з канальною сажею у співвідношенні 93:7. Для фарби з проміжною  $\varepsilon_2=0,43$  як

30 пігмент використовували суміш пудри і сажі у співвідношенні 94:6. Співвідношення лаку з цією сумішшю - 92:8. Густина теплових потоків від труби визначали тепломіром. Випромінювальну здатність (ступінь чорноти) покриттів, а також обробленої від окалини сталі, з якої виготовлено трубу, вимірювали терморадіометром.

Дані дослідів наведено у таблиці 1 і таблиці 2.

35

Таблица 1

Результати вимірювань температури вздовж випромінюючої труби

Точки виміру температури	$T_T^I$	$T_T^{II}$	$T^I$	$T^{II}$	$T^{III}$	$T^{IV}$
Температура до покриття, K	850	530	706	603	495	398
Температура після покриття, K	858	532	736	628	515	415

Таблица 2

Порівняльні результати густини теплового потоку  $q_i$  до і після нанесення покриття

Одиниці виміру		Ділянки		
		I	II	III
До покриття	Середня температура $T_i$ , K	655	549	446
	Випромінювальна здатність (ступінь чорноти) $\varepsilon$	0,46	0,46	0,46
	Густина теплового потоку $q_i$ , Вт/м <sup>2</sup>	4877	2406	1048
Після покриття	Середня температура $T_i$ , K	682	572	465
	Випромінювальна здатність (ступінь чорноти) $\varepsilon$	0,22	0,43	0,96
	Густина теплового потоку $q_i$ , Вт/м <sup>2</sup>	2741	2651	2585

З дослідів бачимо, що сумарна густина теплового потоку до покриття всіх ділянок труби дорівнює

$\Sigma q = 4877 + 2406 + 1048 = 8331 \text{ Вт/м}^2$ ; після покриття -  $\Sigma q = 2741 + 2651 + 2585 = 7977 \text{ Вт/м}^2$ ; різниця дорівнює  $\Sigma \Delta q = 8331 - 7977 = 354 \text{ Вт/м}^2$ , або 4,2 % (в межах похибки до 5 %). Тобто в цілому від труби в обох випадках віддача тепла у приміщення приблизно однакова, але нерівномірність густини теплового потоку по ділянках до покриття труби складає  $\Delta q = 4877/1048 = 4,65$  разу. Середнє значення густини теплового потоку по ділянках після покриття:

$$q_{\text{ср}} = (2741 + 2651 + 2585)/3 = 2659 \text{ Вт/м}^2.$$

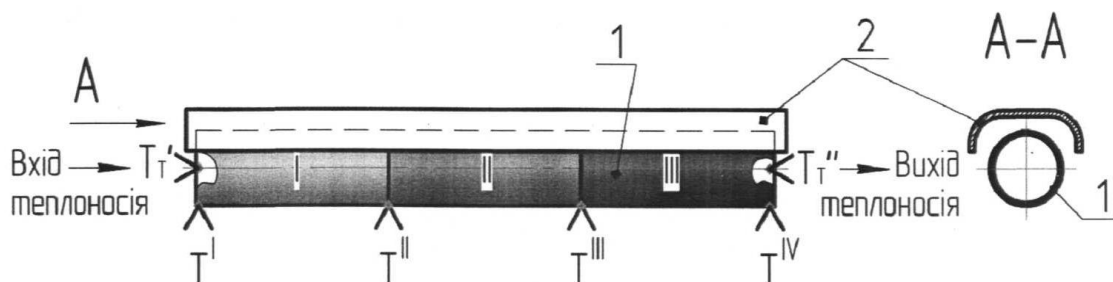
Таким чином, після нанесення на трубу фарби з різною випромінювальною здатністю густина теплового потоку по всій довжині труби однакова. Похибка у досліді складає  $\sigma = \pm 78,3 \text{ Вт/м}^2$ ; відносна похибка складає  $\pm 78,3/2659 = \pm 0,029$  ( $\pm 2,9$  %) і знаходиться у допустимих межах (до 5 %) експерименту.

Результати розрахунків і дослідів підтверджують, що нанесення покриттів з різною випромінюючою здатністю (ступеня чорноти) по довжині протяжної випромінюючої труби забезпечують рівномірність обігріву приміщення.

Пропонований спосіб інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносій, характеризується простотою виконання, мінімальними капітальними витратами та відсутністю додаткових експлуатаційних витрат.

## ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів, що включає нагрів приміщення та об'єктів протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносій, який **відрізняється** тим, що попередньо на зовнішню поверхню послідовних ділянок вздовж кожної труби наносять покриття з різною випромінювальною здатністю, причому випромінювальну здатність покриття кожної наступної ділянки, починаючи від входу теплоносія, збільшують згідно з формулою:  $\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot T_1/T_i$ , де  $\varepsilon_1$  - випромінювальна здатність покриття першої ділянки;  $\varepsilon_i$  - випромінювальна здатність покриття кожної наступної ділянки;  $T_1$  - середня температура поверхні першої ділянки, К;  $T_i$  - середня температура поверхні кожної наступної ділянки, К.



Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

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