



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **112391** (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**

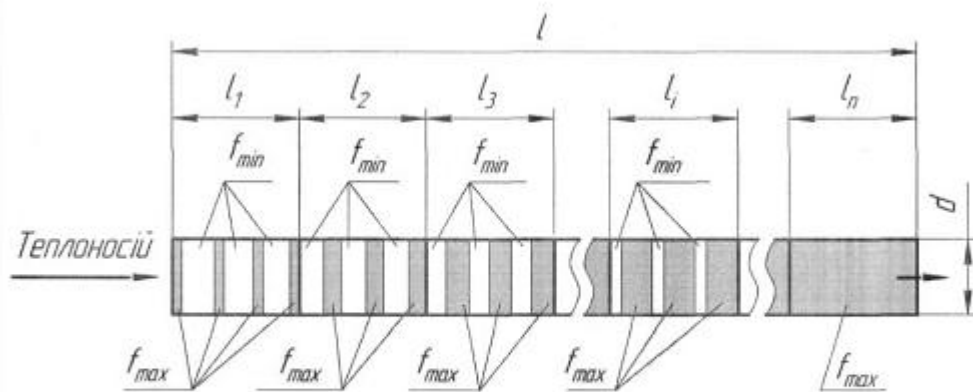
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2015 08240</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Пікашов Вячеслав Сергійович (UA),</b> <b>Великодний Володимир Олександрович (UA),</b> <b>Троценко Лариса Миколаївна (UA),</b> <b>Виноградова Тетяна Василівна (UA),</b> <b>Правило Сергій Вікторович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>20.08.2015</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>25.08.2016</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2246663 C2, 20.02.2005 UA 109093 C2, 10.07.2015 US 2008/128121 A1, 05.01.2008 CN 1553134 A, 08.12.2004 GB 1065869 A, 02.06.1964 RU 2509266 C1, 10.03.2014 RU 2378574 C2, 10.01.2010
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>11.07.2016, Бюл.№ 13</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.08.2016, Бюл.№ 16</b>	

**(54) СПОСІБ ІНФРАЧЕРВОНОГО РАДІАЦІЙНОГО ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ ТА НАГРІВУ ПОВЕРХОНЬ****(57) Реферат:**

Винахід належить до способу інфрачервоного радіаційного опалення приміщень та нагріву поверхонь об'єктів протяжними випромінюючими трубами з нанесеним на них покриттям. Спосіб може бути використано для рівномірного обігріву заводських цехів, складів, гаражів-розморожувачів, приміщень для сушіння деревини та інших об'єктів. В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву поверхонь, в якому у результаті нанесення покриття по периметру випромінюючих труб у вигляді кілець з максимальною і мінімальною випромінювальною здатністю, що чергуються між собою, забезпечується скорочення кількості видів покриттів до двох, що спрощує здійснення способу зі збереженням рівномірності густини теплових потоків від труби по її довжині і за рахунок цього здешевлює процес реалізації способу. Реалізацію способу здійснюють наступним чином. Опалення великих приміщень та нагріву поверхонь 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. Далі згідно з формулою по температурі розраховують площу поверхні для нанесення покриття з мінімальною  $\epsilon_{\min}$  для кожної ділянки. Для нанесення покриття з максимальною  $\epsilon_{\max}$  застосовуємо чорну фарбу; а як покриття з мінімальною  $\epsilon_{\min}$  використовуємо стрічки алюмінієвої полірованої фольги, які наносимо по периметру на трубу у вигляді кілець різної площі. Результати розрахунків і дослідів підтверджують, що нанесення покриттів у вигляді кілець по периметру труби на ділянках з різною площею покриттів з максимальною і мінімальною ступенями чорноти ( $\epsilon_{\max}$ ,  $\epsilon_{\min}$ ) по довжині протяжної труби, спрощує і здешевлює на

UA 112391 C2

практиці процес підбору покриттів зі збереженням рівномірності випромінювання протяжних труб по їх довжині.



Фіг. 2

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

Відомий спосіб радіаційного обігріву приміщень (Патент РФ № 2246663, МПК<sup>7</sup> F23D 14/12, 2002). Згідно з цим способом приміщення обігрівають трубчастими модульними випромінювачами, 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 гарячих газів до такої величини, як на вході 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.

Найближчим за технічною суттю до пропонованого технічного рішення є спосіб рівномірного радіаційного опалення (Патент України на винахід № 109093, МПК (2006), F23D 14/12, F28F 13/18, B05D 1/38, 2015). Згідно з цим способом опалення великих приміщень та об'єктів здійснюють протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносій. Попередньо на зовнішню поверхню послідовних ділянок вздовж кожної труби наносять покриття з різною випромінюючою здатністю, причому випромінювальну здатність покриття кожної наступної ділянки, починаючи від входу теплоносія, збільшують згідно з формулою:  $\varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot T_1^4 / T_i^4$ , де  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_i$  - випромінювальна здатність покриття першої та кожної наступної i-тої ділянки відповідно;  $T_1$ ,  $T_i$  - середня температура поверхні першої та кожної наступної i-тої ділянки відповідно, К.

Відомий спосіб забезпечує рівномірність густини теплових потоків від труби по її довжині, але використання великої кількості покриттів і власне підбір цих покриттів з різною випромінювальною здатністю ускладнює реалізацію способу на практиці і потребує значних матеріальних витрат.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву поверхонь, в якому у результаті нанесення покриття по периметру випромінюючих труб у вигляді кілець з максимальною і мінімальною випромінювальною здатністю, що чергуються між собою, забезпечується скорочення кількості видів покриттів до двох, що спрощує здійснення способу зі збереженням рівномірності густини теплових потоків від труби по її довжині і за рахунок цього здешевлює процес реалізації способу.

Поставлена задача вирішена завдяки тому, що у способі інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву поверхонь протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносій, а на зовнішню поверхню наносять покриття, згідно з пропозицією, покриття наносять на зовнішню поверхню вздовж кожної труби по периметру у вигляді кілець, що чергуються, з мінімальною і максимальною випромінювальною здатністю, причому по ходу теплоносія на ділянках, в яких температура зменшується, площа кілець з максимальною випромінювальною здатністю збільшується, а з мінімальною випромінювальною здатністю зменшується згідно з формулою:

$$f_{\min} = [\varepsilon_{\min} \cdot T_i^4 - \varepsilon_{\max} \cdot T_n^4] / [(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}) \cdot T_i^4] \cdot f, \text{ м}^2,$$

де  $f_{\min}$  - загальна площа кілець (частина від загальної площі ділянки труби) на ділянці з покриттям, яке має мінімальну випромінюючу здатність (ступінь чорноти)  $\varepsilon_{\min}$ ;  $\varepsilon_{\max}$  - максимальна випромінювальна здатність (ступінь чорноти) покриття;  $T_i$  - середня температура i-тої ділянки, К;  $T_n$  - середня температура останньої по ходу газів ділянки, К;  $f$  - площа зовнішньої ділянки труби,  $\text{м}^2$ .

Сукупність відмінних ознак дозволяє вирішити задачу тому, що досягається потрібне значення ступеня чорноти ділянки спрощеним способом тільки двома видами покриттів різних площ з максимальною і мінімальною ступенями чорноти, які чергуються між собою, причому не потрібно підбирати n покриттів з різними ступенями чорноти для кожної окремої ділянки. В пропонованому способі також зберігається рівномірність густини теплових потоків по довжині труби з нагрітим теплоносієм.

Реалізацію 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.

Далі згідно з формулою (6) по температурі розраховують площу (частину) поверхні для нанесення покриття з мінімальною  $\varepsilon_{\min}$  для кожної ділянки. Для нанесення покриття з максимальною  $\varepsilon_{\max}$  застосовуємо чорну фарбу; а як покриття з мінімальною  $\varepsilon_{\min}$  використовуємо стрічки алюмінієвої полірованої фольги, які наносимо по периметру на трубу у вигляді кілець.

5 Наведемо доказовість визначення закономірностей нанесення покриття на випромінюючі труби. Розглянемо роботу системи опалення, яка включає випромінюючу трубу, що умовно поділено на  $n$  ділянок рівної довжини і однакової площі  $f$ . Всередину труби подають потік гарячих газів (наприклад, розбавлені продукти спалювання), які нагрівають трубу. Протікаючи по трубі гази віддають своє тепло конвекцією стінці труби, яка випромінює тепло в навколишнє середовище. Передача тепла від теплоносія через стінку до навколишнього середовища по довжині випромінюючої труби призводить до зниження температури газів і охолодження труби, при цьому променевий тепловий потік  $Q$  згідно з законом Стефана-Больцмана дорівнює:

$$Q = f \cdot \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4, \text{ Вт, (1)}$$

де  $\varepsilon$  - випромінювальна здатність (ступінь чорноти) поверхні;  $T$  - середня температура випромінюючої поверхні, К;  $\sigma_0 = 5,76 \cdot 10^{-8}$  - стала Больцмана.

15 Початкова середня температура газів першої ділянки  $T_1$ , К (наприклад, 350 °С або 623К). Температура зовнішньої поверхні труби першої ділянки має приблизно таке саме значення тому, що стінка труби тонка і можна знехтувати її термічним опором. Середні температури наступних ділянок  $T_2, T_3, \dots, T_i$ . Середня температура газів кінцевої ділянки труби  $T_n$ , К (100 °С або 373К).

20 Згідно з поставленою задачею необхідно забезпечити рівномірність променевого теплового потоку  $Q$  по всій довжині труби. Як впливає з формули (1), це можна досягти за допомогою зміни ступеня чорноти поверхні труби, застосовуючи на відповідних ділянках покриття з різною випромінюючою здатністю. Враховуючи, що є різних матеріалів має значення в межах від 0,05 до 0,99; можна компенсувати падіння випромінювання змінням теплового потоку вздовж труби в 0,98/0,05=19,6 разу. Оскільки підібрати покриття по довжині труби з різною є досить складно, запропоновано на останню ділянку труби нанести покриття з максимальною  $\varepsilon_{\max}$  у зв'язку з тим, що остання ділянка має найнижчу температуру по довжині труби, а на попередні ділянки по ходу теплоносія нанести покриття у вигляді кілець, що чергуються, з максимальною  $\varepsilon_{\max}$  і мінімальною  $\varepsilon_{\min}$  ступенями чорноти. При цьому по ходу теплоносія, тобто на ділянках, в яких зменшується температура, кількість полос з  $\varepsilon_{\max}$  потрібно збільшити, а кількість полос з  $\varepsilon_{\min}$  - зменшити.

Для визначення площі кілець з покриттям  $\varepsilon_{\max}$  і  $\varepsilon_{\min}$  наведемо розрахунок.

Променевий тепловий потік від останньої  $n$ -ої ділянки:

$$Q_n = \varepsilon_{\max} \cdot f \cdot \sigma_0 \cdot T_n^4, \text{ Вт, (2)}$$

де  $\varepsilon_{\max}$  - ступінь чорноти  $n$ -ої ділянки (максимальна).

Променевий тепловий потік від  $i$ -тої ділянки:

$$Q_i = \varepsilon_{\min} \cdot f_{\min} \cdot \sigma_0 \cdot T_i^4 + \varepsilon_{\max} \cdot f_{\max} \cdot \sigma_0 \cdot T_i^4, \text{ Вт, (3)}$$

де  $f_{\min}, f_{\max}$  - площі, на які нанесли покриття, відповідно з  $\varepsilon_{\min}$  і  $\varepsilon_{\max}$ ,  $T_i$  - середня по площі температура  $i$ -тої ділянки. Згідно з умовами:

$$Q_n = Q_i, \text{ (4)}$$

тоді:

$$\varepsilon_{\max} \cdot f \cdot T_n^4 = \varepsilon_{\min} \cdot f_{\min} \cdot T_i^4 + \varepsilon_{\max} \cdot f_{\max} \cdot T_i^4, \text{ (5)}$$

оскільки:

$$f_{\max} = f - f_{\min} \text{ (6)}$$

Враховуючи (6), (5) отримає вигляд:

$$\varepsilon_{\max} \cdot f \cdot T_n^4 = \varepsilon_{\min} \cdot f_{\min} \cdot T_i^4 + \varepsilon_{\max} \cdot (f - f_{\min}) \cdot T_i^4 \text{ (7)}$$

Після перетворень:

$$f_{\min} = [\varepsilon_{\max} \cdot (T_i^4 - T_n^4)] / [(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}) \cdot T_i^4] - f, \text{ м}^2, \text{ (6)}$$

50 Схему реалізації способу представлено на фіг. 1, а на фіг. 2 зображено схему нанесення покриттів з площею  $f_{\min}$  і  $f_{\max}$  з максимальним і мінімальним ступенями чорноти ( $\varepsilon_{\max}, \varepsilon_{\min}$ ) по довжині протяжної випромінюючої труби довжиною 1 і діаметром  $d$ .

Приклад.

55 Досліди було проведено на лабораторній установці, яка складалась із сталеві труби 1 з зовнішнім діаметром  $d=120$  мм, товщиною стінки  $\delta=3$  мм і довжиною  $l=5$  м. Трубу було підвішено над підлогою на висоті 2,2 м. Зверху над трубою розташовано екран 2 із полірованого алюмінію довжиною  $L=5,5$  м. Екран у поперечному розрізі являв собою півколо діаметром  $D=300$  мм і був розташований співвісно з трубою. В трубу подавали газовий теплоносій - розбавлені повітрям продукти спалювання природного газу до температури 630 К. Температура у приміщенні

становила 293 К. Трубу було поділено на  $n$  ділянок довжиною  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_i, \dots, l_n$  середня температура яких  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, \dots, T_n$  відповідно.

Наведемо чисельний розрахунок площі кожної ділянки з покриттям  $\varepsilon_{\min}$ .

5 Вибираємо випромінюючу трубу довжиною 5 м і діаметром 120 мм. Трубу по довжині умовно розділяємо на 5 ділянок, тобто кожна ділянка має довжину 1 м. Загальна площа труби  $F = \pi \cdot L \cdot d = 1,884 \text{ м}^2$ . Температура ділянок  $T, \text{ К}$  мала наступні значення (починаючи від входу теплоносія): 623; 525; 457; 404; 374.

Площа кожної ділянки  $f = F/5 = 0,377 \text{ м}^2$ . Площа  $f_{\min}$  кожної ділянки з покриттям  $\varepsilon_{\min}$ :

1.  $f_{\min} = [0,98 \cdot (623^4 - 374^4)] / [(0,98 - 0,05) \cdot 623^4] \cdot 0,377 = 0,346 \text{ м}^2$ ;
- 10 2.  $f_{\min} = [0,98 \cdot (525^4 - 374^4)] / [(0,98 - 0,05) \cdot 525^4] \cdot 0,377 = 0,294 \text{ м}^2$ ;
3.  $f_{\min} = [0,98 \cdot (457^4 - 374^4)] / [(0,98 - 0,05) \cdot 457^4] \cdot 0,377 = 0,218 \text{ м}^2$ ;
4.  $f_{\min} = [0,98 \cdot (404^4 - 374^4)] / [(0,98 - 0,05) \cdot 404^4] \cdot 0,377 = 0,105 \text{ м}^2$ ;
5.  $f_{\min} = [0,98 \cdot (374^4 - 374^4)] / [(0,98 - 0,05) \cdot 374^4] \cdot 0,377 = 0 \text{ м}^2$ ;

15 Першу і наступні ділянки по черзі, згідно з розрахунками, покрили у вигляді кілець загальною площею  $f_{\max}$  чорною фарбою з  $\varepsilon_{\max} = 0,98$  за допомогою пензля і стрічками алюмінієвої полірованої фольги товщиною 0,05 мм загальною площею  $f_{\min}$ , які клеїли по периметру на трубу. Останню ділянку покрили чорною фарбою з  $\varepsilon_{\max} = 0,98$  за допомогою пензля. Після цього подали в трубу теплоносій при тій же температурі через 30 хвилин вимірювали густину інфрачервоного випромінювання  $q$  на відстані 0,3 м під трубою напроти середини кожної ділянки. В досліді використовували тепломір типу ИТП-7. Отримано такі величини  $q, \text{ Вт/м}^2$ : 456; 448; 430; 455; 452. Середнє значення  $q_{\text{серед}} = 448 \text{ Вт/м}^2$ ; середньоквадратична похибка складає  $\sigma = \pm 10,6 \text{ Вт/м}^2$ ; відносна похибка складає  $\delta\sigma = 10,6/448 \cdot 100 \% = \pm 2,4 \%$  і знаходиться у допустимих для інженерного експерименту межах.

25 Результати розрахунків і дослідів підтверджують, що нанесення покриттів у вигляді кілець по периметру труби на ділянках з різною площею покриттів з максимальною і мінімальною ступенями чорноти ( $\varepsilon_{\max}, \varepsilon_{\min}$ ) по довжині протяжної труби, спрощує і здешевлює на практиці процес підбору покриттів зі збереженням рівномірності випромінювання протяжних труб по їх довжині.

### 30 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб інфрачервоного радіаційного опалення великих приміщень та нагріву об'єктів протяжними випромінюючими трубами, всередину яких подають нагрітий газовий теплоносій, а на зовнішню поверхню наносять покриття, який **відрізняється** тим, що покриття наносять на зовнішню поверхню вздовж кожної труби по периметру у вигляді кілець, що чергуються, з мінімальною і максимальною випромінювальною здатністю, причому по ходу теплоносія на ділянках, в яких температура зменшується, площа кілець з максимальною випромінювальною здатністю збільшується, а з мінімальною випромінювальною здатністю зменшується згідно з формулою:

$$40 \quad f_{\min} = \left[ \varepsilon_{\max} \cdot (T_i^4 - T_n^4) \right] / \left[ (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}) \cdot T_i^4 \right] \cdot f, \text{ м}^2,$$

де  $f_{\min}$  - загальна площа кілець на ділянці з покриттям, яке має мінімальну випромінюючу здатність  $\varepsilon_{\min}$ ;  $\varepsilon_{\max}$  - максимальна випромінювальна здатність покриття;  $T_i$  - середня температура  $i$ -тої ділянки, К;  $T_n$  - середня температура останньої по ходу газів ділянки, К;  $f$  - площа зовнішньої ділянки труби,  $\text{м}^2$ .

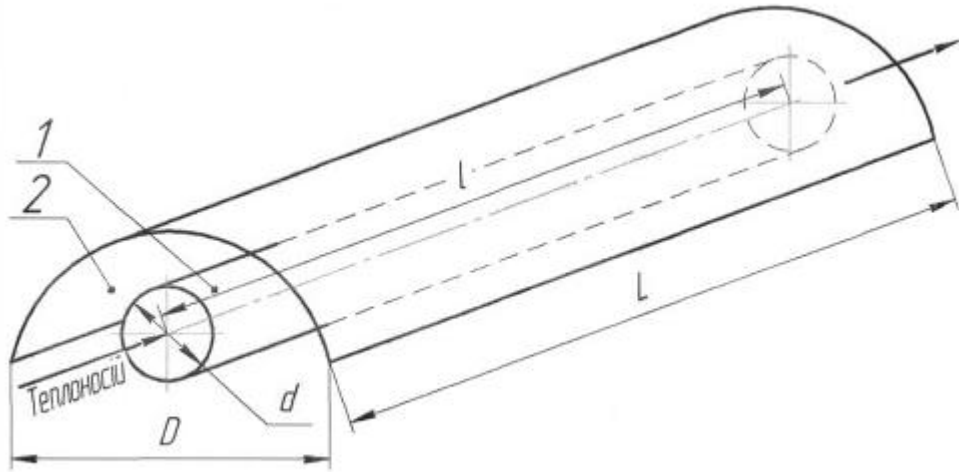


Fig. 1

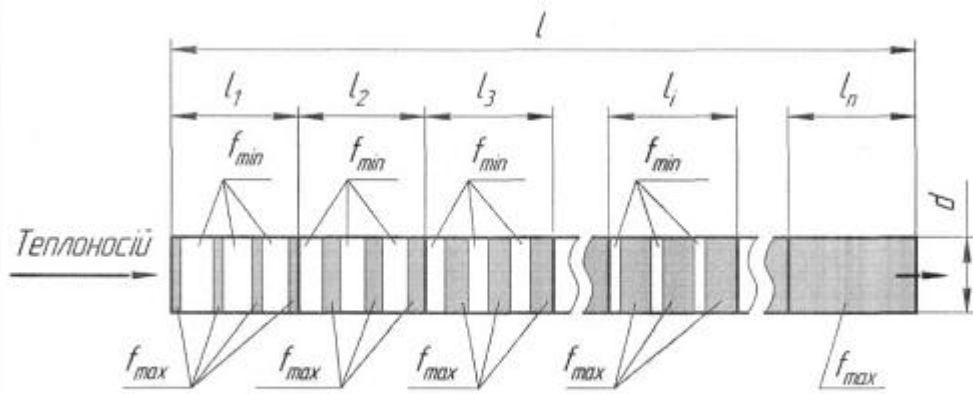


Fig. 2

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

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