



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119241** (13) **C2**

(51) МПК (2019.01)

**F23D 14/84** (2006.01)

**F23D 14/22** (2006.01)

**F23D 99/00**

**F23C 9/00**

**F23C 7/06** (2006.01)

**C22B 1/24** (2006.01)

**F27B 21/06** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: <b>а 2016 01017</b>	(72) Винахідник(и): <b>Мунко Андреас (DE), Кьолер Гартмут (DE)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>06.08.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ОУТОТЕК (ФІНЛЕНД) ОЙ,</b> Rauhalanpuisto 9, FIN-02230 Espoo, Finland (FI)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>27.05.2019</b>	(74) Представник: <b>Крилова Надія Іванівна, реєстр. №30</b>
(41) Публікація відомостей про заявку: <b>11.04.2016, Бюл.№ 7</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 84315 C2, 10.10.2008 UA 19056 U, 15.12.2006 WO 01/07833 A1, 01.02.2001 US 2013/157204 A1, 20.06.2013 EP 0896189 A2, 10.02.1999 US 2012/006157 A1, 12.01.2012 WO 2005/052446 A1, 09.06.2005 US 8202470 B2, 19.06.2012 DE 102007006243 A1, 14.08.2008
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.05.2019, Бюл.№ 10</b>	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ <b>РСТ/ЕР2013/066471, 06.08.2013</b>	

## (54) ПАЛЬНИКОВИЙ БЛОК І СПОСІБ СПАЛЮВАННЯ ГАЗОПОДІБНОГО АБО РІДКОГО ПАЛИВА

### (57) Реферат:

Спосіб спалювання газоподібного або рідкого палива для нагрівання промислової печі полягає в створенні струменя палива та первинного повітря, направленні струменя палива та первинного повітря із сопла пальника в зону горіння камери згоряння, яка веде до печі, та подаванні повітря для горіння. Повітря для горіння попередньо нагрівають. Направляють повітря для горіння поперек струменя палива та первинного повітря та повз сопло пальника. Внаслідок цього попередньо нагріте повітря для горіння перетинається і поєднується зі струменем палива та первинного повітря і відхиляється від свого напрямку руху так, що воно разом із струменем палива та первинного повітря струменіє суттєво паралельно від сопла пальника до печі. Керують подачею палива та первинного повітря у камеру згоряння, потоком і температурою попередньо нагрітого повітря, температурою всередині печі та потужністю пальника.

UA 119241 C2

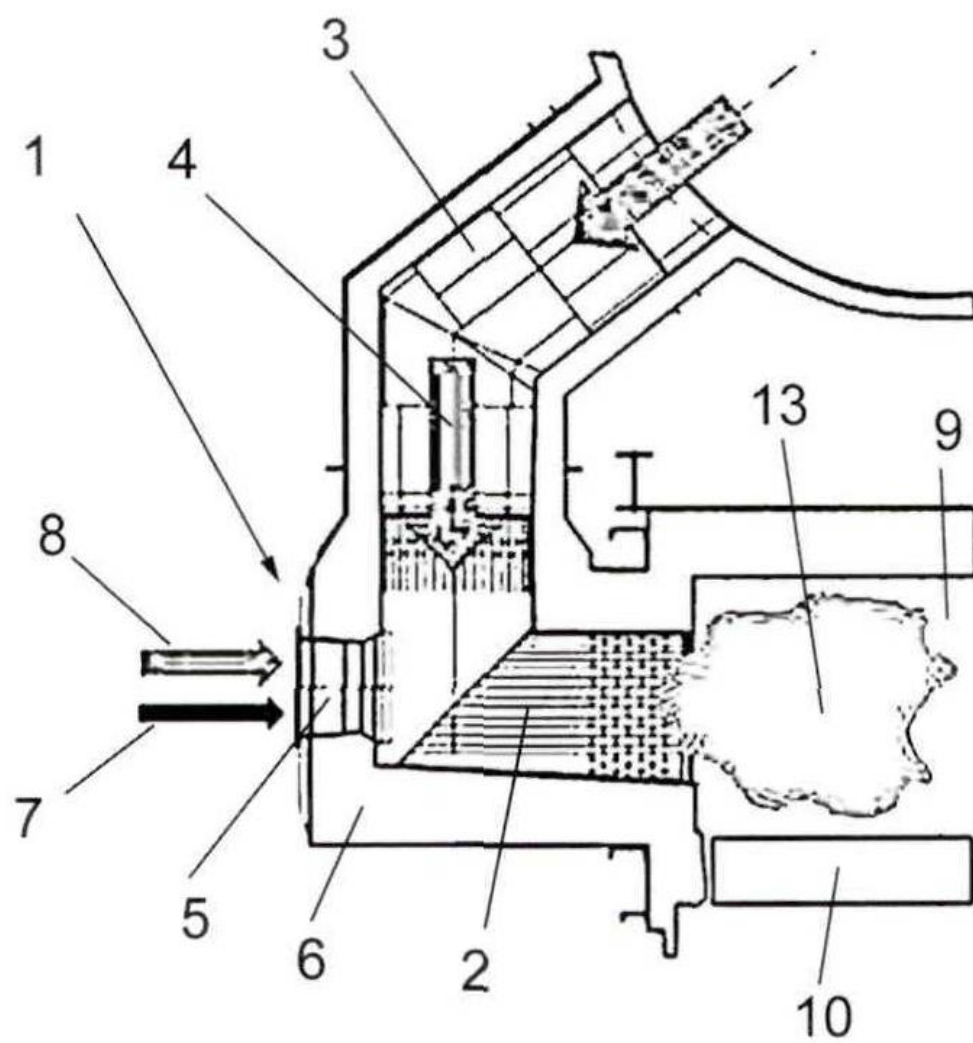


Fig. 1

Винахід стосується пальчикового блока та способу спалювання газоподібного або рідкого палива, такого як газ або мазут, для нагрівання промислової печі, зокрема випалювальної печі звичайної установки для виробництва окотнів з рухомою руштавицею. Пальниковий блок має камеру згоряння, принаймні один впускний отвір для повітря для подачі попередньо нагрітого повітря для горіння в камеру згоряння і пальник (називають також "пальниковий блок") з принаймні одним засобом подачі палива і принаймні одним засобом подачі повітря для подачі палива та первинного повітря в камеру згоряння, з якому пальник розташований поряд з зоною горіння камери згоряння таким чином, що повітря для горіння, що надходить в камеру згоряння через впускний отвір для повітря, проходить повз пальник в зоні горіння і потім відхиляється (наприклад біля стінки камери згоряння), таким чином, що потік (зокрема потужний) попередньо нагрітого повітря для горіння і потоки палива та первинного повітря (зокрема менші порівняно з потужним потоком попередньо нагрітого повітря для горіння) проходять приблизно паралельно від пальника до печі. Пальник переважно встановлюють у стінці камери згоряння, розміщеної, зазвичай, біля печі. Згідно з винаходом, потоки палива та первинного повітря подаються від пальника переважно майже перпендикулярно до основного потоку попередньо нагрітого повітря для горіння до того, як буде відхилено основний потік попередньо нагрітого повітря для горіння.

Згідно з винаходом, з пальником з'єднано блок керування (називають також "Апаратура керування") для керування принаймні подачею палива та первинного повітря в камеру згоряння. Звичайно, блок керування може бути виконано з можливістю керування й інших технологічних параметрів, таких як витрата та/або температура попередньо нагрітого повітря для горіння або, наприклад, температура в печі та потужність пальника.

Подібні стандартні пальники часто застосовують в пальникових блоках, наприклад, у випалювальних печах установок для виробництва окотнів з рухомою руштавицею. Загально застосовані пальники стабілізують полум'я безпосередньо на наконечнику пальника з отворами для виходу повітря. Внаслідок високої температури повітря для горіння, яка зазвичай складає 1000 °C, полум'я в камери згоряння також має дуже високу температуру. Це гаряче полум'я, зазвичай, з максимальною теоретичною температурою приблизно 2000 °C, викликає дуже високі викиди NOx і може також привести до термічних пошкоджень стінки камери згоряння. Зазвичай, швидкість потоку попередньо нагрітого повітря для горіння складає 15-25 м/с.

В результаті заходів з захисту навколишнього середовища дозволені зараз законом гранично допустимі викиди NOx зменшуються або вже зменшено, що призводить до того, що стандартні пальники, які широко застосовують в таких промислових печах, зокрема у випалювальних печах установок для виробництва окотнів з рухомою руштавицею, може бути не допущено для застосування в деяких країнах. Що стосується викидів NOx, то випалювальні печі утворюють високі рівні NOx внаслідок високої температури в печі і спалювання палива та окислювального повітря для горіння, причому окислювальне повітря для горіння має зазвичай не нагріте (первинне) повітря, яке подається разом з паливом, і значно більшу кількість сильно нагрітого повітря для горіння, яке подається в камеру згоряння з допомогою так званої похилої труби (головного отвору для впуску повітря для горіння). Паливо вводиться в повітря для горіння і запалюється на наконечнику або соплі пальника, що приводить до стійкого і видимого високотемпературного факела в зоні горіння камери згоряння з максимальною теоретичною температурою приблизно 2000 °C.

Для зменшення викидів NOx в патенті US 8202470B2 описано подібний нагрівальний пристрій (пальниковий блок) випалювальної печі з повітряним каналом, що простягається до нагрівального пристрою. Попередньо нагріте рециркуляційне повітря рухається по каналу у напрямку нагрівального пристрою і змішується з газоподібним паливом, утворюючи робочу суміш, яка запалюється в каналі. Це здійснюється введенням газоподібного палива в канал в потоці, який не утворює робочої суміші з попередньо нагрітим рециркуляційним повітрям до потрапляння в канал. Запропонований пальник має змішувальні труби для отримання потоків палива та первинного повітря для горіння, які проходять по змішувальним трубам, утворюючи робочу суміш, яку називають "преміксом". Цей премікс має мінімальне відношення палива та окиснювача, що дозволяє уникнути утворення взаємодіючих NOx. Для цього запалювання здійснюють спочатку з допомогою запальника в зоні реакції зовнішнього наконечника змішувальних труб. Потім виконується наступна операція спалювання, коли премікс вприскується з отвору або сопла змішувальних трубок в камеру згоряння для змішування з повітрям для горіння. Паливо в преміксі згоряє в робочій суміші попередньо змішаного повітря і низхідного потоку повітря.

Такий порядок виконання допомагає зменшити температуру полум'я, оскільки після запалювання паливо змішується з мінімальним співвідношенням палива та окиснювача. Під час

подальшого спалювання паливо змішується з повітрям для горіння в похилих трубах, що забезпечує краще розподілення полум'я в камері згорання при нижчій температурі полум'я,

Однак, порівняно з традиційними стандартними пальниками, що застосовуються на цей час, пропонується пальник потребує певного рівня температури попередньо змішаного повітря для горіння, щоб уникнути samozapalювання, і вимагає проведення спеціальних заходів при подачі повітря і газоподібного палива до пальника та відповідної контрольно-вимірювальної апаратури.

Виходячи з викладеного вище, об'єктом цього винаходу є пальниковий блок і спосіб його застосування, зокрема для випалювальної печі звичайної установки для виробництва окотнів з рухомою рушавицею або для печей випалу на сталевій стрічці (SBS™) або на рухомій колосниковій решітці, що мають знижені викиди NOx, причому конструкція пальника проста і надійна і пальник може застосовуватися на існуючих установках без проведення значних об'ємів робіт з їх модернізації.

Ця задача розв'язується ознаками незалежних пунктів 1 та 9. У відповідності до винаходу для зменшення викидів NOx передбачено подавати паливо та/або первинне повітря з системи подачі відповідно палива та/або повітря в камеру згорання з вихідною швидкістю, вищою ніж 150 м/с (метрів за секунду). Вихідна швидкість палива та/або первинного повітря переважно вища ніж 200 м/с або навіть вища за швидкість звуку в текучому середовищі, У найбільш переважному варіанті здійснення винаходу вихідні швидкості палива та/або первинного повітря складають від 250 м/с до швидкості звуку.

Авторами винаходу було встановлено, що дуже висока вихідна швидкість, зокрема палива, із засобу подачі палива в камеру згорання приводить до утворення стійкої та ефективної суміші палива з повітрям для горіння, що проходить через головний отвір для впуску повітря для горіння. Це повітря для горіння в подальшому називається також вторинне повітря. Завдяки ефективній суміші палива з вторинним повітрям для горіння, а також з первинним повітрям для горіння паливо добре розподіляється в камері згорання, коли паливо вступає в реакцію з киснем повітря. Відповідно, на випускному отворі або соплі засобу подачі палива пальникового блоку має місце не стійке гаряче полум'я з максимальними температурами полум'я до 2000 °C, а так зване "відокремлене" полум'я або так зване "м'яке" полум'я.

Відокремлене полум'я у порівнянні з нормальним стандартним полум'ям на випускному отворі або соплі пальникового блоку розташовується нижче наконечника пальника і має велику площу, оскільки паливо ширше розподіляється в камері згорання і з ним змішується більше вторинного повітря. Таким чином, (все ще видиме) відокремлене полум'я розташовується в камері згорання або навіть біля входу між камерою згорання і самою піччю, з'єднаною з камерою згорання. Оскільки полум'я широко розподілене по площі, середня температура полум'я набагато нижча, ніж температура стандартного полум'я і температурні максимуми нижчі. Це істотно знижує викиди NOx і збільшує тривалу міцність камери згорання, оскільки вогнетривкий матеріал камери згорання зазнає значно менших термічних навантажень.

Що стосується м'якого полум'я, то тут горіння відбувається навіть з більшим відривом від пальника в камері згорання або навіть в самій печі, і видиме полум'я відсутнє або майже відсутнє. Відповідно, таке безполум'яне горіння є реакцією палива з високотемпературним киснем попередньо нагрітого повітря для горіння в камері згорання та/або технологічного повітря в самій печі без явного факела. Технологічне повітря в печі буде містити кількість кисню в діапазоні 16-18 об'єми. %, а попередньо нагріте повітря для горіння буде містити кількість кисню, що відповідає кількості кисню в атмосферному повітрі, тобто 20,9 об'єми. %. Це стандартні кількості кисню, наприклад для випалювального процесу установки для виробництва окотнів.

Таким чином, як відокремлене, так і м'яке полум'я мають нижчу середню температуру і знижені температурні максимуми, оскільки тут відсутнє зосереджене горіння палива з чітко визначеним яскравим факелом. Винахідниками було встановлено, що на відміну, наприклад, від опису US 8 202 470 B2, для досягнення ступеневого спалювання немає необхідності подавати паливо в камеру згорання в різних місцях, достатньо подавати паливо та/або первинне повітря з дуже високою вихідною швидкістю з системи подачі палива та/або повітря в камеру згорання, де основний потік повітря для горіння (вторинне повітря) проходить повз пальниковий блок.

Бажано, звичайно, щоб первинне повітря, ідо надходить до камери згорання разом паливом, мало вихідну швидкість, порівнянну з швидкістю палива. Первинне повітря, яке зазвичай не нагрівається і має температуру 20-100 °C, охолоджує можливу зону реакції безпосередньо перед вихідним отвором (соплом) системи подачі палива та повітря, що дозволяє уникнути samozapalювання палива і приводить до практично стійкого полум'я. Було встановлено, що корисний ефект настає тоді, коли первинне повітря має вихідну швидкість, принаймні близьку до швидкості палива, що подається у камеру згорання.

Згідно з переважним варіантом здійснення винаходу застосовуються блок або апаратура керування, пристосована з допомогою, наприклад, компресора або іншого генератора тиску прикладати тиск до палива та/або первинного повітря з метою забезпечити бажану вихідну швидкість. У випадку газоподібного палива, такого як природний газ, тиск переважно підвищується порівняно з атмосферним тиском подаваного газоподібного палива до приблизно 2 бар, зокрема до 0,8-4 бар. Переважне підвищення тиску подаваного первинного повітря знаходиться, зазвичай, в діапазоні 2-3 бар, або в діапазоні принаймні 0,8-4 бар. У випадку рідкого палива, такого як мазут, переважне підвищення тиску знаходиться, зазвичай, в діапазоні 3-9 бар при застосуванні розпиленого середовища (повітря або пари) з тиском 5-11 бар або 14-20 бар при застосуванні розпилення під тиском. Рідке паливо переважно розпилюється перед подачею в камеру згоряння повітрям високого тиску, яке прикладається до палива безпосередньо перед або безпосередньо на вихідному отворі або соплі системи подачі палива, що приводить до вприскування рідкого палива у вигляді крапельної хмари. Слід, однак, зазначити, що вихідна швидкість сильно залежить від вихідного об'єму подачі палива та повітря, зокрема від форми вихідного отвору або сопла. Фахівцям в даній області техніки відомо, як регулювати тиск, щоб досягти бажаних вихідних швидкостей.

Може бути застосовано різні конструкції та типи сопел для газоподібного палива і повітря. Згідно з винаходом, найпростішою конструкцією є прямолінійний відрізок труби. Може бути застосовано також сопла, що містять 40° впускний отвір або навіть сопла Лаваля зі спеціальною конструкцією випускного отвору. Найбільш переважним є застосування сопел, здатних забезпечувати низьку втрату тиску і високу швидкість на виході.

Вихідна швидкість палива і первинного повітря переважно має бути однаковою або приблизною. Однак, згідно з винаходом, а також геометрією пальника і печі, вихідна швидкість палива і первинного повітря (та/або тиск палива і первинного повітря відповідно) може бути також різною. Корисний ефект досягається тоді, коли швидкість та/або тиск первинного повітря вищі за швидкість та/або тиск палива. Зокрема, вихідна швидкість первинного повітря може бути вища у 1,5-2,5 рази, зокрема приблизно у 2 рази.

Авторами винаходу було виявлено, що ще одним аспектом, який впливає на зменшення викидів NOx під час спалювання палива в пальнику, є відношення первинного повітря до палива в засобі подачі повітря і палива пальникового блока. Для того, щоб істотно зменшити викиди NOx, блок керування має бути пристосовано для подачі палива і первинного повітря в камеру згоряння з коефіцієнтом надлишку первинного повітря  $\lambda$ , що дорівнює або перевищує 0,1.

Коефіцієнт надлишку повітря  $\lambda$  визначається як

$$\lambda = m_{\text{первинного повітря}} / m_{\text{первинного повітря, стехіометр}},$$

де  $m_{\text{первинного повітря}}$  - масова витрата первинного повітря

$m_{\text{первинного повітря, стехіометр}}$  - мінімальна масова витрата первинного повітря, потрібного для повного (стехіометричного) спалювання палива.

Первинне повітря охолоджує зону реакції перед вихідним отвором або соплом засобу подачі палива і, таким чином, дозволяє уникнути миттєвого запалювання палива перед засобом подачі палива або пальниковим блоком. Коефіцієнт надлишку первинного повітря відносно палива знаходиться в діапазоні 0,1-0,6, найбільш переважно 0,2-0,5. Співвідношення стосується коефіцієнта надлишку  $\lambda$  потоку первинного повітря відносно потоку палива.

Було встановлено, що позитивний ефект виникає тоді, коли коефіцієнт надлишку повітря змінюється відповідно до вихідної швидкості палива та/або первинного повітря. Зокрема, переважним є варіант, коли коефіцієнт надлишку повітря збільшується зі зменшенням вихідної швидкості. У переважному варіанті здійснення винаходу вихідна швидкість палива та/або первинного повітря складають від 250 м/с до швидкості звуку, а коефіцієнт надлишку повітря  $\lambda$  - приблизно 0,2-0,3.

Згідно з переважним варіантом здійснення винаходу повітря для горіння (вторинне повітря), що подається до камери згоряння через впускний отвір для повітря, має температуру понад 750 °C та/або концентрацію кисню 17-21 %, зокрема 19-21 %. Робоча температура понад 750 °C повітря для горіння та/або печі необхідна для самозапалювання палива та/або реакції палива з киснем повітря для горіння. Це самозапалювання викликає стандартне, відокремлене або м'яке полум'я. Переважний варіант здійснення винаходу дозволяє уникнути стабілізації стандартного полум'я, яка відбувається при роботі стандартного пальника.

У зв'язку з цим, на відміну від відомих малотоксичних пальників, в яких застосовано принцип розбавлення полум'я великою кількістю рециркулюючих (в) відхідних газів після спалювання, які містять дуже малу кількість кисню, зазвичай 1 - 7 %, таке розбавлення неможливе для деяких процесів, таких як випалювання в установці для виробництва окотнів, оскільки відхідні газу у самій випалювальній печі містять значно більшу кількість кисню - приблизно 17 %, що

приводить до реакції (стандартне полум'я) при контакті з паливом, що подається в камеру згоряння. Крім того, згідно з винаходом, немає потреби в зовнішній рециркуляції відхідних газів з низьким вмістом  $O_2$  в повітря для горіння, яка здійснюється з допомогою додаткового вентилятора, і внутрішня, і зовнішня рециркуляція відхідного газу може викликати проблеми

5 внаслідок певного вмісту пилу в технологічному газі.

У переважному варіанті виконання пальникового блока згідно з винаходом передбачено, що після першого запалювання пальника блок керування здатний подавати паливо і первинне повітря з вихідною швидкістю, меншою за 150 м/с, відповідно засобом подачі палива і засобом подачі повітря в камеру згоряння доти, поки повітря для горіння в головному отворі для впуску

10 повітря та/або камері згоряння не досягне температури, вищої за попередньо задане значення температури. Ще один або додатковий критерій - поки технологічне повітря в печі не досягне температури, вищої за попередньо задане значення температури. Нормальне спалювання з стандартним полум'ям відбувається доти, поки робоча температура не досягне бажаної мінімальної температури. Для цього, як зазначалось раніше, попередньо задана температура

15 переважно має становити приблизно 750 °C. При перевищенні попередньо заданого значення температури, наприклад 750 °C, блок керування засобом подачі палива і засобом подачі повітря подає паливо та первинне повітря в камеру згоряння з вихідною швидкістю, вищою ніж 150 м/с. Зокрема, швидкість і співвідношення первинного повітря і палива (зокрема коефіцієнт надлишкового повітря  $\lambda$ ) можуть бути вибрані, як описувалось вище. Збільшення швидкості

20 може бути здійснене збільшенням об'ємної витрати газоподібного палива та/або первинного повітря з застосуванням тих самих труб, що і для подачі палива/повітря або переключенням з одного типу труб, що подають повітря з низькою швидкістю, на другий тип труб, які забезпечують подачу повітря з більшою швидкістю при сталому потоку газу та/або первинного повітря. При другому режимі роботи з відокремленим або м'яким полум'ям викиди  $NO_x$  істотно

25 зменшуються в порівнянні з режимом роботи, в якому впродовж всього часу застосовано конфігурацію стандартного полум'я.

Відповідно до переважного конструктивного виконання винаходу, засіб подачі палива і засіб подачі повітря в пальник утворюють принаймні одну подавальну трубу у формі подвійної труби, що має центральну трубу і зовнішню трубу навколо центральної труби з кінцями, відкритими у

30 напрямку камери згоряння. Такий тип труби називають також подвійною трубою. Центральну трубу переважно застосовують для подачі палива, а зовнішню трубу переважно застосовують для подачі первинного повітря. Однак, згідно з винаходом, зовнішня і центральна труби можуть бути застосовані і навпаки. У випадку застосування більш ніж однієї подавальної труби можливе змішане застосування, як описувалось вище, тобто одну частину подавальних труб може бути

35 застосовано з центральними трубами для подачі палива, а іншу частину подавальних труб може бути застосовано з центральними трубами для подачі первинного повітря. В залежності від розташування подавальних труб (подвійних труб) у пальниковому блоці запропоноване змішане застосування подавальних труб забезпечує оптимізацію суміші палива і вторинного повітря (основного повітря для горіння) у камері згоряння.

Відкриті кінці центральної труби і зовнішньої труби можуть утворювати як вихідний отвір відмінне від простої труби з відкритим торцем структуроване сопло, з метою справляти певний вплив на потік первинного повітря та/або палива, наприклад щоб поліпшити змішування палива та первинного та/або вторинного повітря або змінити вихідну швидкість.

Переважний варіант виконання структурованого сопла має вхідний отвір, яке відповідає внутрішньому діаметру зовнішньої труби, і вихідний отвір з діаметром, меншим за діаметр вхідного отвору. Діаметр вихідного отвору може становити приблизно половину діаметра вхідного отвору. Внутрішня стінка структурованого сопла може мати поверхню, яка принаймні частково сходиться на конус. Така форма збільшує вихідну швидкість і при випробуваннях показала позитивні результати.

У ще одному варіанті здійснення винаходу структуроване сопло має вхідний отвір, який відповідає внутрішньому діаметру зовнішньої труби, і вихідний отвір з діаметром, більшим за діаметр вхідного отвору. Наприклад, як такі сопла можуть застосовувати сопла Лавалю згідно з винаходом, .

Згідно з винаходом, подавальна труба може мати структуроване сопло з одним одностороннім каналом, в який входить і центральна труба, і зовнішня труба. Відповідно, паливо і первинне повітря, що подаються в сопло по двом різним трубам, зокрема по центральній трубі і зовнішній трубі, проходять по одному і тому ж каналу сопла перед тим, як вийти відповідно з сопла і подавальної труби в камеру згоряння.

Згідно з винаходом, пальник може мати більш ніж одну подавальну трубу. Переважний

60 варіант виконання може мати 2-6 подвійних труб.

Згідно з переважним варіантом виконання отвір для впуску повітря для горіння являє собою похилу трубу, в якій повітря для горіння (вторинне повітря) проходить вертикально вниз і повертається у вертикальному напрямку перед надходженням у камеру згоряння і піч. У цій схемі пальниковий блок переважно розташований таким чином, ще паливо і первинне повітря, що подаються в камеру згоряння, лінійно рухаються через камеру згоряння в піч паралельно основному напрямку потоку відхиленого повітря для горіння (вторинного повітря).

Винахід стосується також способу спалювання газоподібного або рідкого палива, такого як природний газ або мазут, для нагрівання промислової печі, зокрема випалювальної печі установки для виробництва окотнів із застосуванням пальникового блока, описаного вище, або її частин. Пальниковий блок, що застосовується згідно з пропонуваним способом, має камеру згоряння, принаймні один впускний отвір для подачі попередньо нагрітого повітря в камеру згоряння, паливник з принаймні одним засобом подачі палива і принаймні одним засобом подачі повітря для подачі палива та первинного повітря в камеру згоряння, причому паливник розташований поряд з зоною горіння камери згоряння таким чином, що повітря для горіння, ще надходить в камеру згоряння через впускний отвір для повітря, проходить повз паливник з зони горіння і потім відхиляється таким чином, що потік попередньо нагрітого повітря для горіння і менші потоки палива та первинного повітря проходять приблизно паралельно від паливника до печі. Крім того, з паливником з'єднаний блок керування для керування подачею палива і, можливо, первинного повітря в камеру згоряння. Згідно з винаходом, паливо та/або первинне повітря подається із засобу подачі палива та/або повітря в камеру згоряння з вихідною швидкістю, вищою ніж 150 м/с (метрів за секунду). Запропонований спосіб застосовує всі ознаки, описані вище у відношенні паливника згідно з винаходом. Відповідно, ці аспекти наведеного вище опису дійсні і у відношенні способу і ще раз докладно не описано.

Запропонований спосіб дозволяє також досягти того, що паливо та/або первинне повітря в засобі подачі палива та/або повітря піддають тиску для отримання вихідної швидкості зокрема з тиском 0,8-4 бар для газоподібного палива і 2-8 бар для рідкого палива. Отримані вихідні швидкості палива та первинного повітря та/або тиск палива та первинного повітря можуть бути різними. Однак, переважним варіантом є той, в якому швидкості однакові (або принаймні порівнянні).

Важливим фактором, що впливає на зменшення викидів NOx при спалюванні, є також співвідношення первинного повітря і палива під час подачі палива та первинного повітря в камеру згоряння. Як було визначено вище, коефіцієнт надлишку первинного повітря  $\lambda$  має перевищувати 0,1, зокрема знаходитися в діапазоні 0,1 - 0,6, найбільш переважно 0,2-0,5.

Крім того, згідно з пропонуваним способом повітря для горіння може подаватися з камери згоряння через отвір для впуску повітря з температурою понад 750 °C та/або концентрацією кисню 17-21 %.

Рідке паливо може вводиться в камеру згоряння у вигляді крапельної хмари, що, згідно з переважним варіантом виконання, може бути досягнуто введенням розпиленого повітря в подавальну трубу.

Згідно з переважним варіантом здійснення способу передбачено також, що після запалювання паливника паливо і первинне повітря подаються з вихідною швидкістю, меншою ніж 150 м/с, засобом подачі палива та засобом подачі повітря в камеру згоряння доти, поки температура повітря для горіння в отворі для впуску повітря та/або камері згоряння не перевищить попередньо заданого значення температури, наприклад 750 °C, як пояснювалось вище. Лише після перевищення цього попередньо заданого значення температури паливо і первинне повітря подаються засобом подачі палива та засобом подачі повітря в камеру згоряння з вихідною швидкістю, вищою ніж 150 м/с. Переважно, вихідна швидкість знаходиться в діапазоні від 250 м/с до швидкості звуку.

Запропонований паливник і спосіб мають ту додаткову перевагу, що паливник може працювати і з стандартним полум'ям, і з відокремленим полум'ям або м'яким полум'ям. Це може бути легко реалізовано із застосуванням різних коефіцієнтів надлишку повітря. Відповідно, коефіцієнт надлишку первинного повітря відносно палива, менший за 0,1 ( $\lambda < 0,1$ ), забезпечує стандартне полум'я, а коефіцієнт надлишку первинного повітря відносно палива, більший за 0,1 ( $\lambda > 0,1$ ), приводить до відокремленого (12) або м'якого (13) полум'я. Для отримання стандартного полум'я, тобто звичайного режиму роботи паливника, вихідна швидкість палива та/або первинного повітря має становити, згідно з винаходом, також менш ніж 150 м/с.

Додаткові ознаки, переваги і можливі області застосування винаходу викладаються в наведеному нижче описі прикладів виконання і кресленнях. Всі ознаки, описані та/або показані на рисунках, утворюють об'єкт винаходу в чистому вигляді або в будь-якій комбінації, незалежно від того, включені вони в формулу винаходу або на них є посилання.

На кресленнях показано:

Фіг. 1 схематично пальниковий блок у розрізі згідно з переважним варіантом здійснення винаходу;

Фіг. 2 схематично різні типи полум'я пальника, що досягаються пальниковим блоком, зображеним на фіг. 1;

Фіг. 3 схематично випалювальну піч у розрізі з двома пальниковими блоками згідно з пунктом 1;

Фіг. 4 перспективний вигляд ззаду пальника зі змішувальними трубками згідно з переважним варіантом здійснення винаходу;

Фіг. 5 перспективний фронтальний вигляд пальника згідно з фіг. 4 з отворами подавальних трубок, спрямованими у камеру згоряння; Фіг. 6 переважний варіант подавальної трубки у розрізі згідно з першим прикладом виконання

Фіг. 7 переважний варіант подавальної трубки у розрізі згідно з другим прикладом виконання

На фіг. 1 показано в пальниковий блок 1, вигляд у розрізі, згідно з переважним прикладом здійснення винаходу. Пальниковий блок 1 має камеру згоряння 2, отвір для впуску повітря для горіння 3 для подачі попередньо нагрітого повітря для горіння 4 в камеру згоряння 2 та пальник 5, розміщений у стінці 6 камери згоряння 2 таким чином, що повітря для горіння 4, яке надходить в камеру згоряння 2 через отвір для впуску повітря для горіння 3, проходить повз пальник 5. Пальник 5 має принаймні один засіб подачі палива 7 і принаймні один засіб подачі повітря 8 для подачі відповідне палива та первинного повітря в камеру згоряння 2. Крім того, разом з пальниковим блоком 1 передбачено блок або апаратура керування (не показано) для керування подачі палива та первинного повітря в камеру згоряння.

Камеру згоряння 2 відкрито в бік промислової печі 9, в якій виконується бажана обробка матеріалу.

Згідно з переважним варіантом здійснення винаходу промислова піч 9 являє собою випалювальну піч з колосниковою решіткою 10 установки для виробництва окотнів. В такій установці впускним отвором для повітря зазвичай служить похила труба 3, по якій вторинне повітря тобто попередньо нагріте повітря для горіння 4 тече вниз в камеру згоряння 2, проходячи, таким чином, повз пальниковий блок 5. а потім спрямовується вертикально в піч 9 через камеру згоряння 2. З камері згоряння 2 паливо що подається в камеру згоряння 2 засобом подачі палива 7, змішується з попередньо нагрітим повітрям для горіння 4, утворюючи полум'я для нагрівання печі 9 до бажаної температури.

В традиційному пальниковому блоці 1 полум'я в камері згоряння 2 являє собою стандартне полум'я 11 (як показано на фіг. 2а). Стандартне полум'я 11 запалюється безпосередньо на кінці засобу подачі палива 7 і розкривається у напрямку камери згоряння 2. Таким чином, стандартне полум'я 11 майже повністю міститься в камері згоряння; має стійку, традиційну полум'я подібну форму, причому стандартне полум'я 11 стабілізується дуже приблизно до наконечника пальника. Максимальна температура такого стандартного полум'я 11, зазвичай, вища ніж 1500 °C, причому температура в печі 9 буде приблизно 1300 °C (принаймні для випалювальної печі 9 установи); для виробництва окотнів).

Внаслідок високої температури полум'я при горінні утворюється велика кількість гарячого NOx. Для зниження таких викидів гарячого NOx необхідно знизити середню температуру полум'я і не допустити виникнення високих піків температури.

Для досягнення цієї мети винахід пропонує дестабілізувати стандартне полум'я 11, показане на фіг. 2а.

На відміну від відомого рівня техніки, в якому пропонується пальник зі ступеневим спалюванням і багато точковою подачею палива в камеру згоряння пальника (див. US 8 202 470 B2), у відповідності з цим винаходом запропоновано збільшення вихідної швидкості принаймні палива, що подають в камеру згоряння засобом подачі палива 7 пальникового блока 5. В результаті високої швидкості палива, що вводиться в камеру згоряння, стабілізація стандартного полум'я 11 безпосередньо перед паливо впускними отворами стає неможливою і паливо значно краще змішується з вторинним повітрям (попередньо нагрітим повітрям для горіння 4) перед запалюванням.

Це приводить принаймні до відокремленого полум'я 12, схематично показаного на фіг. 2б, яке є одним з переважних типів полум'я згідно з винаходом. Відокремлене полум'я 12 охоплює більшу зону реакції, ніж стандартне полум'я 11 і забезпечує більш рівномірно розподілену температуру факела, оскільки паливо не зосереджується навколо сопла засобу подачі палива 7 в пальнику 5, а добре розподіляється в камері згоряння 2 завдяки якісному змішуванню палива з вторинним повітрям для горіння 4. Відповідно, середня температура полум'я зменшується, і полум'я відривається від пальника 5 у напрямку потоку повітря для горіння до печі 9.



Відокремлене полум'я 12 утворюється в камері згоряння 2 і може частково потрапляти в саму піч 9.

Однак, згідно з цим винаходом найбільш переважним полум'ям є сильно відокремлене або м'яке полум'я 13, показане на фіг. 2с та фіг. 1

Що стосується м'якого (або сильно відокремленого) полум'я 13 то в камері згоряння 2 або самій печі 9 немає або майже немає видимого полум'я. Замість цього паливо вступає в реакцію з попередньо нагрітим повітрям для горіння 4 (вторинним повітрям), яка є практично безполум'яною внаслідок підвищеної температури вторинного повітря. Це досягається за рахунок кращого розподілення палива у вторинному повітрі для горіння 4, і уникнення, таким чином, зон з більшим змістом палива з повітрі для горіння, які приводять до видимого полум'я 11 Реакція між паливом і повітрям для горіння 4 систематично відбувається в основному в кінці камери згоряння 2 і в самій печі 9. Відповідно, середня температура цієї реакції у всій зоні реакції значне нижча, ніж середня температура стандартного полум'я 11 або навіть відокремленого полум'я 12. Відповідно до цього винаходу це досягається за рахунок сильного розбавлення палива із засобу подачі палива 7 в пальниковому блоці 5 повітрям для горіння внаслідок дуже високої вихідної швидкості палива та/або коефіцієнта надлишку повітря.

Для спрощення на фіг. 2b та 2с показані не всі посиальні позиції. Вони відповідають позиціям на фіг. 2a.

Додатково, з паливом, що подається в камеру згоряння 2, засобом подачі повітря 8 в пальниковому блоці 5 до камери згоряння 2 подається первинне повітря. Позитивний ефект виникає, коли первинне повітря також подається в камеру згоряння 2 з вихідною швидкістю, вищою ніж 150 м/с. Паливо і первинне повітря можуть подаватися в камеру згоряння з однаковою вихідною швидкістю, яка переважно вища ніж 250 м/с. Звичайно, можливо також, що вихідні швидкості палива та первинного повітря різні.

На відміну від вторинного повітря, яке являє собою повітря для горіння, нагріте, наприклад, до температури приблизно 750-1000 °C, первинне повітря має низьку температуру атмосферного повітря, що переважно знаходиться в діапазоні 20-100 °C при подачі в камеру згоряння. Первинне повітря має той ефект, що охолоджує можливу зону реакції до засобів подачі палива та повітря в камері згоряння 2, що дозволяє уникнути швидкого запалювання палива в попередньо нагрітому повітрі для горіння. Відповідно, паливо переміщується разом з попередньо нагрітим повітрям для горіння 4 глибше в камеру згоряння 2 і піч 9, забезпечуючи виникнення відокремленого полум'я 12 або оптимального м'якого полум'я 13 без або майже без видимого полум'я.

На фіг. 3 показано у розрізі випалювальну піч 9 з рухомою решіткою 10 і два пальникових блока 1, зображених на фіг. 1. Попередньо нагріте повітря для горіння (вторинне повітря) подається в камеру згоряння 2 і піч 9 через похилу трубу 3, яка є отвором для впуску повітря для горіння. На фіг. 3 показано м'яке полум'я 13.

Для досягнення бажаних вихідних швидкостей палива та первинного повітря паливо та первинне повітря повинні знаходитися під тиском, який регулюється блоком керування пальникового блока 1. Зазвичай, (газоподібне) паливо і первинне повітря подаються під тиском, з переважним підвищенням тиску до приблизно 3 бар або в діапазоні 0,8-4 бар.

Первинне повітря може знаходитися навіть під вищим тиском, наприклад 6 або 7 бар.

В принципі, чим вищий тиск палива та первинного повітря, тим вища вихідна швидкість палива та первинного повітря і краще змішування палива з попередньо нагрітим повітрям для горіння 4. Для того щоб досягти навіть надзвукової швидкості, повинні застосовуватись спеціальні сопла, такі як сопла Лавалю. Таким чином, для отримання м'якого полум'я 13, в одному і тому ж пальнику і решітці печі вихідна швидкість та тиск відповідно будуть вищими, ніж для отримання відокремленого повітря 12, Підвищення коефіцієнта надлишку повітря також може змінювати тип полум'я з відокремленого полум'я до м'якого полум'я.

Одна велика перевага описаного пальникового блока 1 полягає в тому, що пальник 5 дозволяє отримати також стандартне полум'я 11, наприклад при нагріванні печі 9 і камери згоряння 2 до робочої температури подачею палива та первинного повітря з набагато меншою температурою, ніж 150 м/с, забезпечуючи в такий спосіб, якщо це необхідно, отримання стабільного полум'я.

На фіг. 4 і 5 зображено пальниковий блок 5, вигляд ззаду (фіг. 4) і спереду (фіг. 5), перед визначений як сторона пальникового блока 5, повернута до камери згоряння 2.

В пальниковому блоці 5 передбачено кілька подавальних труб 14, кожна у формі подвійної труби, що має центральну трубу 15 і зовнішню трубу 16, як детально показано на фіг. 5.

Центральну трубу 15 переважно застосовують як трубу подачі палива, зовнішню трубу 16 застосовують як трубу подачі повітря для первинного повітря. Було виявлено, що така

конфігурація засобу подачі палива 7 і подачі повітря 8 з подвійну трубу 14 проста в поводженні демонструє хороші результати у відношенні змішування палива і первинного повітря з вторинним або попередньо нагрітим повітрям для горіння 4 в камері згорання 2.

На фіг. 6 отвори центральної труби 15 і другої труби 16 включають сопло зі зменшеним діаметром отвору, але вони можуть бути просто відкриті перерізуванням труб. Однак можливі на відкритому кінці центральної труби 15 та/або зовнішньої труби 16 окремі сопла для палива і первинного повітря, або навіть одне спільне сопло для палива і первинного повітря фіг. 6 або 7, з тим щоб впливати на впуск, змішування і надходження палива і первинного повітря в камеру згорання 2 відповідно до бажаної форми полум'я та/або геометрії пальника 1 та/або печі 9.

Для подачі палива і вторинного повітря під тиском в подавальну трубу 14 передбачено (фіг. 5) перший патрубок 17 до центральної труби 15 і другий патрубок 18 до зовнішньої труби 16 для кожної подавальної труби або подвійної труби 14.

На фіг. 6 показано поперечний переріз однієї подавальної труби або подвійної труби 14 з центральною трубою 15 і зовнішньою трубою 16 і відповідну перший патрубок 17 до центральної труби 15 і другий патрубок 18 до зовнішньої труби 16. Як впливає з фіг. 6, поперечний переріз отворів центральної труби 15 і зовнішньої труби 16 мають певну форму та об'єм для забезпечення можливості керування вихідної швидкості та напрямку палива і первинного повітря. Переважно вони також регулюють коефіцієнт надлишку первинного повітря та палива.

На фіг. 7 показано подавальну трубу 14, описану вище, з структурованим соплом 19 з впускним отвором 20, який відповідає внутрішньому діаметру зовнішньої труби 16 подвійної труби 14, і випускним отвором 21 з діаметром, меншим, ніж впускний отвір 20. Діаметр випускного отвору 21 може становити приблизно половину діаметра впускного отвору 20. Внутрішня стінка структурованого сопла 19 має частково поверхню 22 конічної форми. Така форма дозволяє збільшити вихідну швидкість і показала позитивні результати випробувань. Газоподібне паливо і первинне повітря проходять крізь центральну трубу 15 і зовнішню трубу 16 і через сопло 21. У цьому прикладі сопло має лише один спільний канал як для подачі палива, так і первинного повітря.

Випробування показали, що для забезпечення спалювання з низькими викидами NOx з пальнику і коефіцієнт надлишку первинного повітря відносно палива має переважно складати 0,2-0,5.

Запропонований пальниковий блок 1 та спосіб мають перевагу, оскільки пальник 5 як такий може бути застосовано як традиційний пальник 5 для отримання стабільного полум'я 11, а також як пальник з низькими викидами NOx, що забезпечує отримання відокремленого полум'я 12 або м'якого полум'я 13 простою зміною вихідної швидкості та/або коефіцієнта надлишку первинного повітря відносно палива.

Перелік позицій на кресленнях

1 пальниковий блок

2 камера згорання

3 отвір для впуску повітря для горіння, похила труба

4 попередньо нагріте повітря для горіння (вторинне повітря)

5 пальник, пальниковий блок

6 стінка камери згорання

7 засіб подачі палива

8 засіб подачі первинного повітря

9 промислова піч, випалювальна піч

10 рухома решто

11 стандартне полум'я

12 відокремлене полум'я

13 м'яке полум'я

14 подавальна труба, подвійна труба

15 центральна труба

16 зовнішня труба

17 перший патрубок до центральної труби

18 другий патрубок до зовнішньої труби

19 структуроване сопло

20 впускний отвір

21 випускний отвір

22 поверхня, що сходиться на конус

# ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб спалювання газоподібного або рідкого палива для нагрівання промислової печі, який полягає в
- 5 створенні струменя палива та первинного повітря, направленні струменя палива та первинного повітря із сопла пальника в зону горіння камери згоряння, яка веде до печі, та подаванні повітря для горіння, який **відрізняється** тим, що повітря для горіння попередньо нагрівають,
- 10 направляють повітря для горіння поперек струменя палива та первинного повітря та повз сопло пальника, внаслідок чого попередньо нагріте повітря для горіння перетинається і поєднується зі струменем палива та первинного повітря і відхиляється від свого напрямку руху так, що воно разом із струменем палива та первинного повітря струменіє суттєво паралельно від сопла пальника до печі, та
- 15 керують подачею палива та первинного повітря у камеру згоряння, потоком і температурою попередньо нагрітого повітря, температурою всередині печі та потужністю пальника.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що операція керування подачею палива та первинного повітря включає стискання палива та первинного повітря для досягнення необхідної вихідної швидкості для палива та первинного повітря.
- 20 3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що вихідна швидкість палива та первинного повітря однакові.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що операція керування подачею палива та первинного повітря включає подачу палива та первинного повітря в камеру згоряння з надлишковим відношенням первинного повітря до палива в діапазоні від 0,1 до 0,6.
- 25 5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що операція керування потоком і температурою попередньо нагрітого повітря для горіння включає подачу попередньо нагрітого повітря для горіння в камеру згоряння при температурі в діапазоні від 750 °C до 1000 °C.
6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що після запалення пальника паливо та первинне повітря подають із вихідною швидкістю, що не перевищує 150 м/с, у камеру згоряння, доки попередньо нагріте повітря в камері згоряння не досягне температури вище 750 °C, після чого паливо та первинне повітря подають із вихідною швидкістю в діапазоні від 250 м/с до швидкості звуку.
- 30 7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що операція керування подачею палива та первинного повітря включає подачу палива та первинного повітря у камеру згоряння з надлишковим відношенням первинного повітря до палива, меншим за 0,1, таким чином утворюючи стандартне полум'я.
- 35 8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що операція керування подачею палива та первинного повітря включає подачу палива та первинного повітря в камеру згоряння з надлишковим відношенням первинного повітря до палива, більшим за 0,1, таким чином утворюючи відокремлене або м'яке полум'я.
- 40 9. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що операція керування подачею палива та первинного повітря включає подачу палива та первинного повітря з вихідною швидкістю 150 м/с та попередньо нагрітого повітря для горіння, що містить кількість кисню, подібну до його вмісту в навколишньому повітрі, через що технологічне повітря в печі має об'ємну частку кисню в
- 45 діапазоні 16-18 %.
10. Пальниковий блок для здійснення способу за пп. 1-9, який складається з конструкції, яка містить камеру (2) згоряння, що веде до печі (9), і має канал (3) для подачі попередньо нагрітого повітря (4) для горіння, причому канал (3) для подачі попередньо підігрітого повітря (4) для горіння має стінку (6), обернену до камери (2) згоряння, та камера (2)
- 50 згоряння має стінку навпроти каналу (3), та пальника (5), встановленого в стінці (6), оберненій до камери (2) згоряння, для створення високошвидкісного струменя палива та первинного повітря та направлення струменя палива та первинного повітря до зони горіння камери (2) згоряння, який **відрізняється** тим, що канал (3) для подачі попередньо нагрітого повітря (4) для горіння виконано з можливістю направляти
- 55 попередньо нагріте повітря для горіння до стінки навпроти каналу (3) поперек струменя палива та первинного повітря та повз сопло пальника (5), щоб таким чином перетинати та поєднувати попередньо нагріте повітря (4) для горіння з паливом і первинним повітрям та відхиляти попередньо нагріте повітря (4) для горіння від стінки навпроти каналу (3) так, що попередньо нагріте повітря разом із струменем палива та первинного повітря струменіє суттєво паралельно
- 60 від сопла пальника (5) до печі (9).

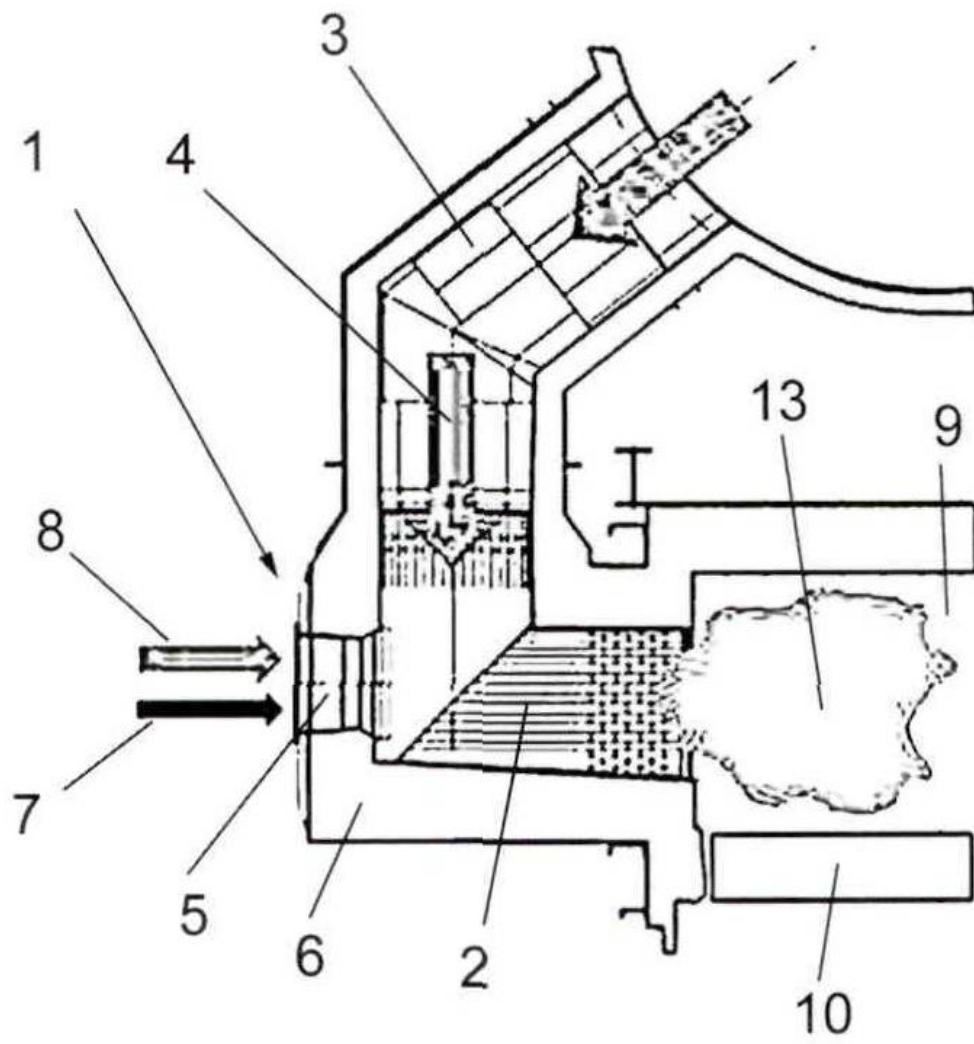
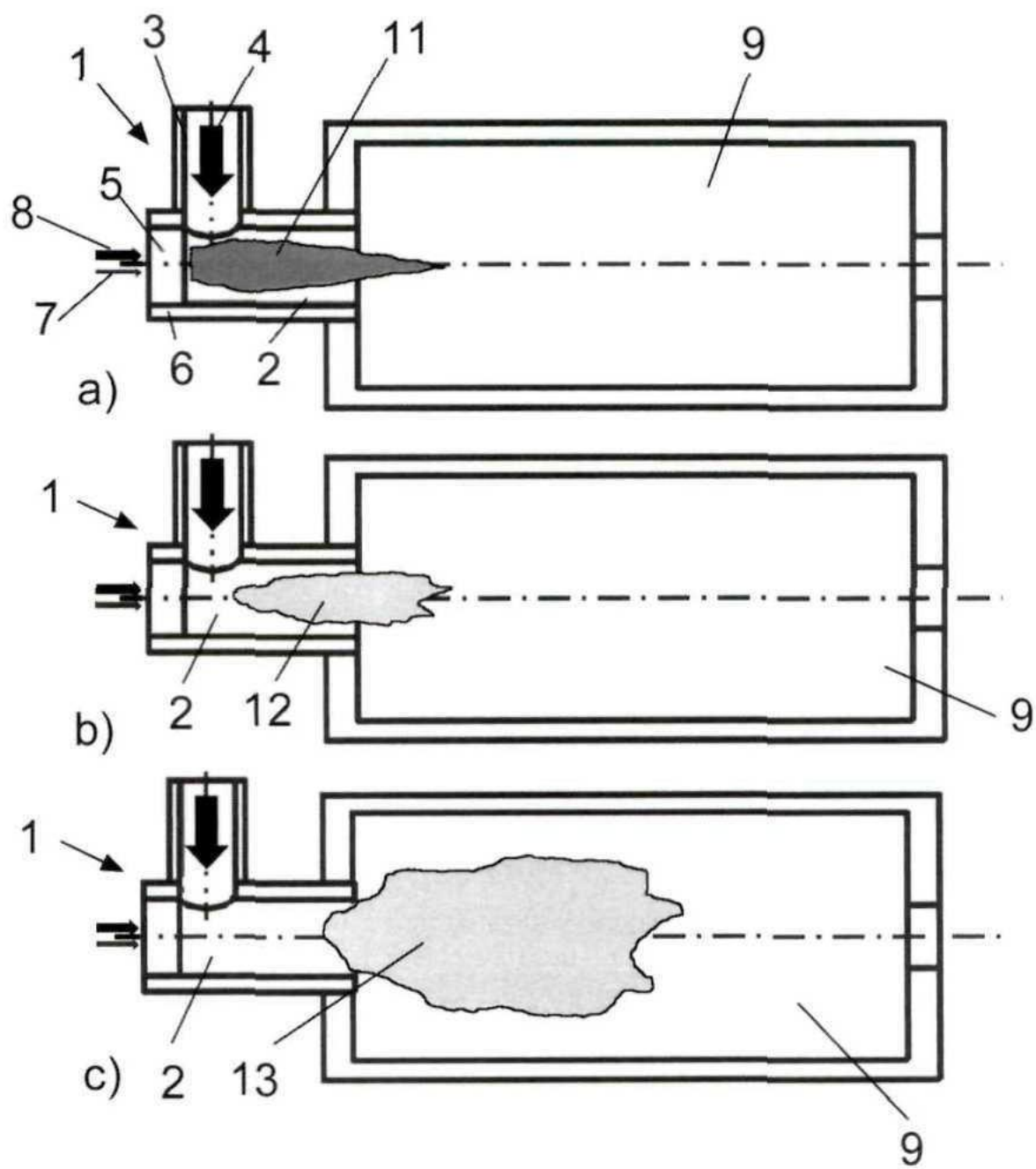


Fig. 1



Фиг. 2

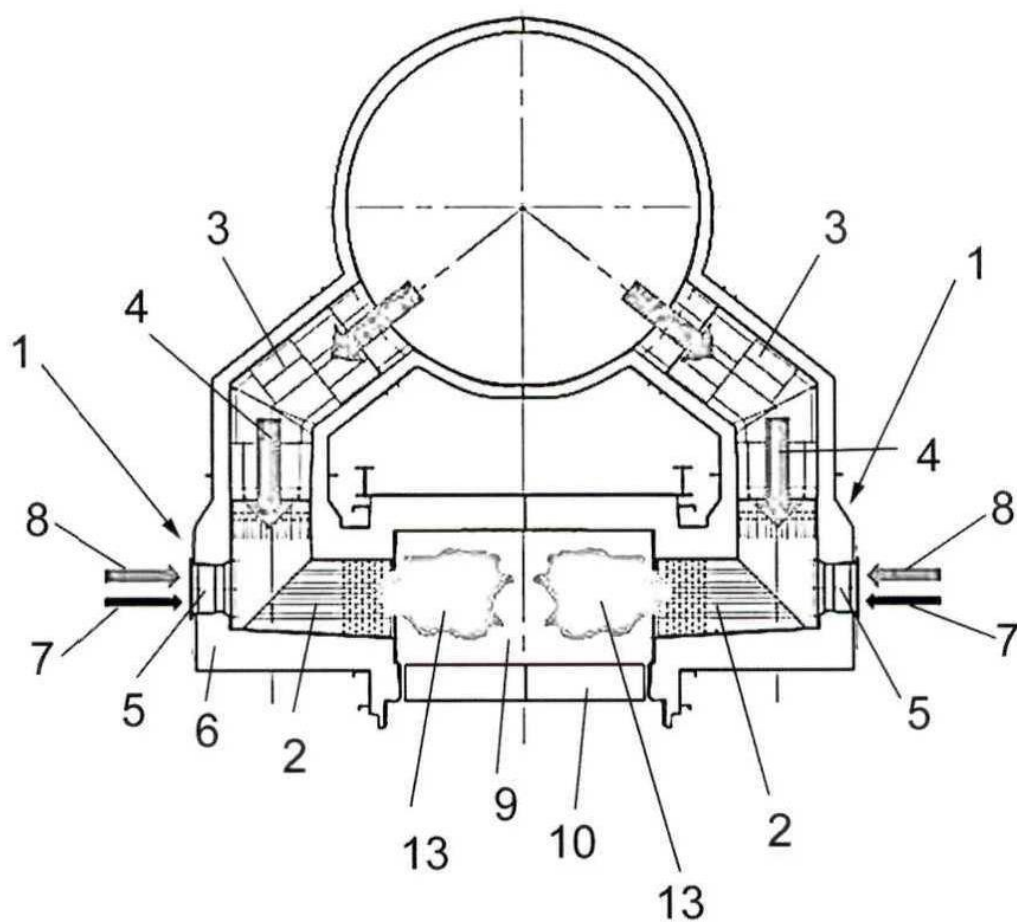


Fig. 3

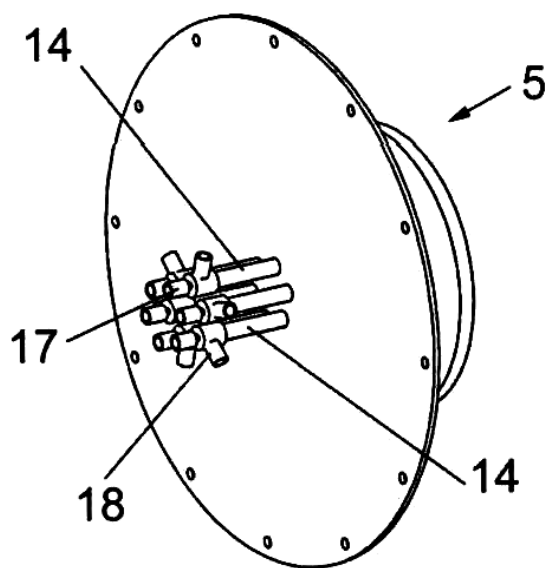


Fig. 4

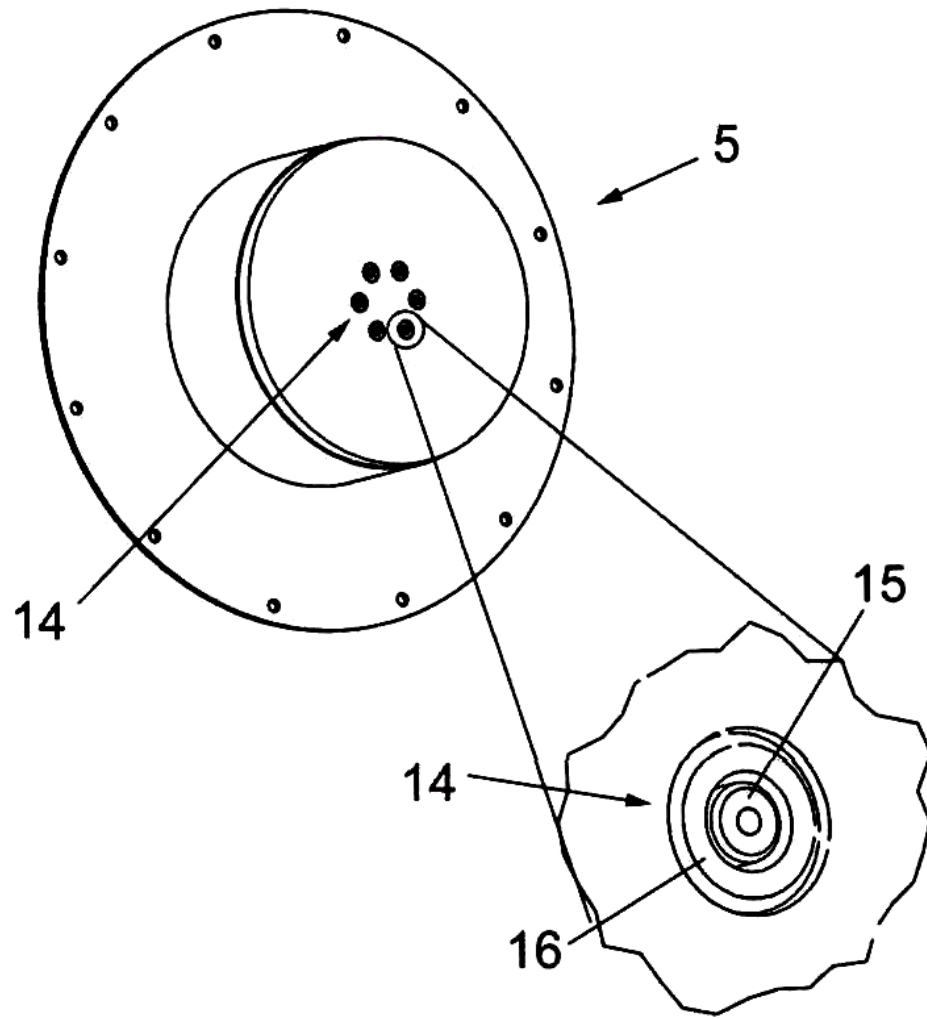


Fig. 5

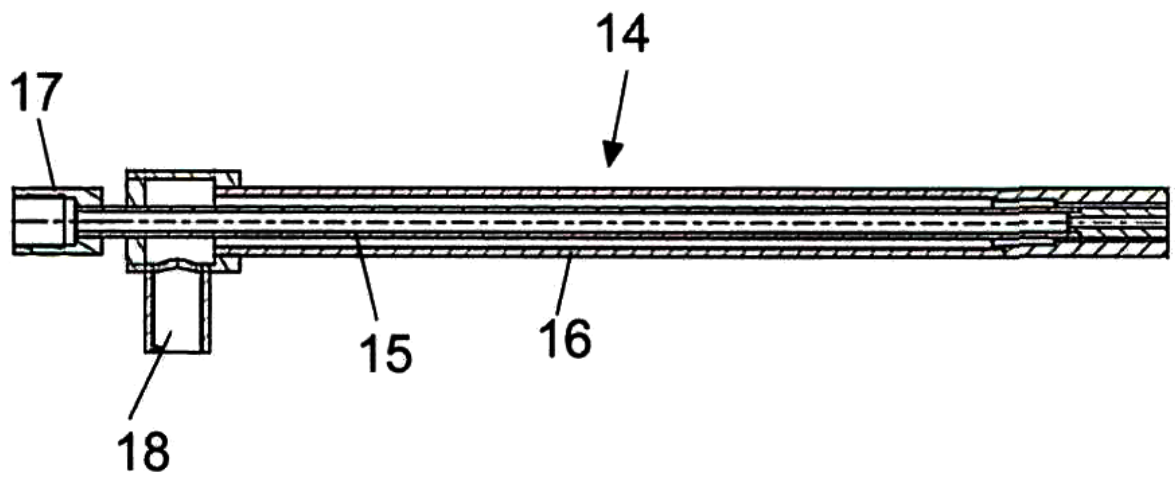
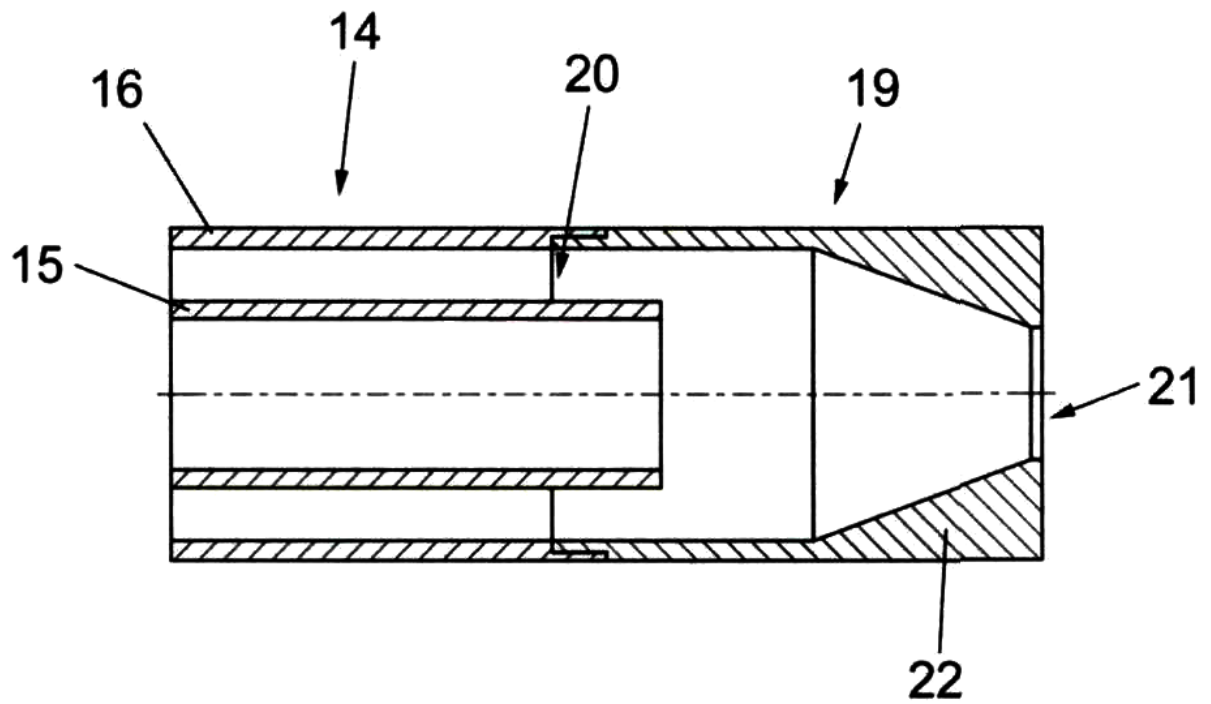


Fig. 6



Фіг. 7

---

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

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