



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100814** (13) **C2**  
(51) МПК (2013.01)  
**F24J 3/00**  
**F04F 5/10** (2006.01)  
**F04F 5/24** (2006.01)  
**B01F 3/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

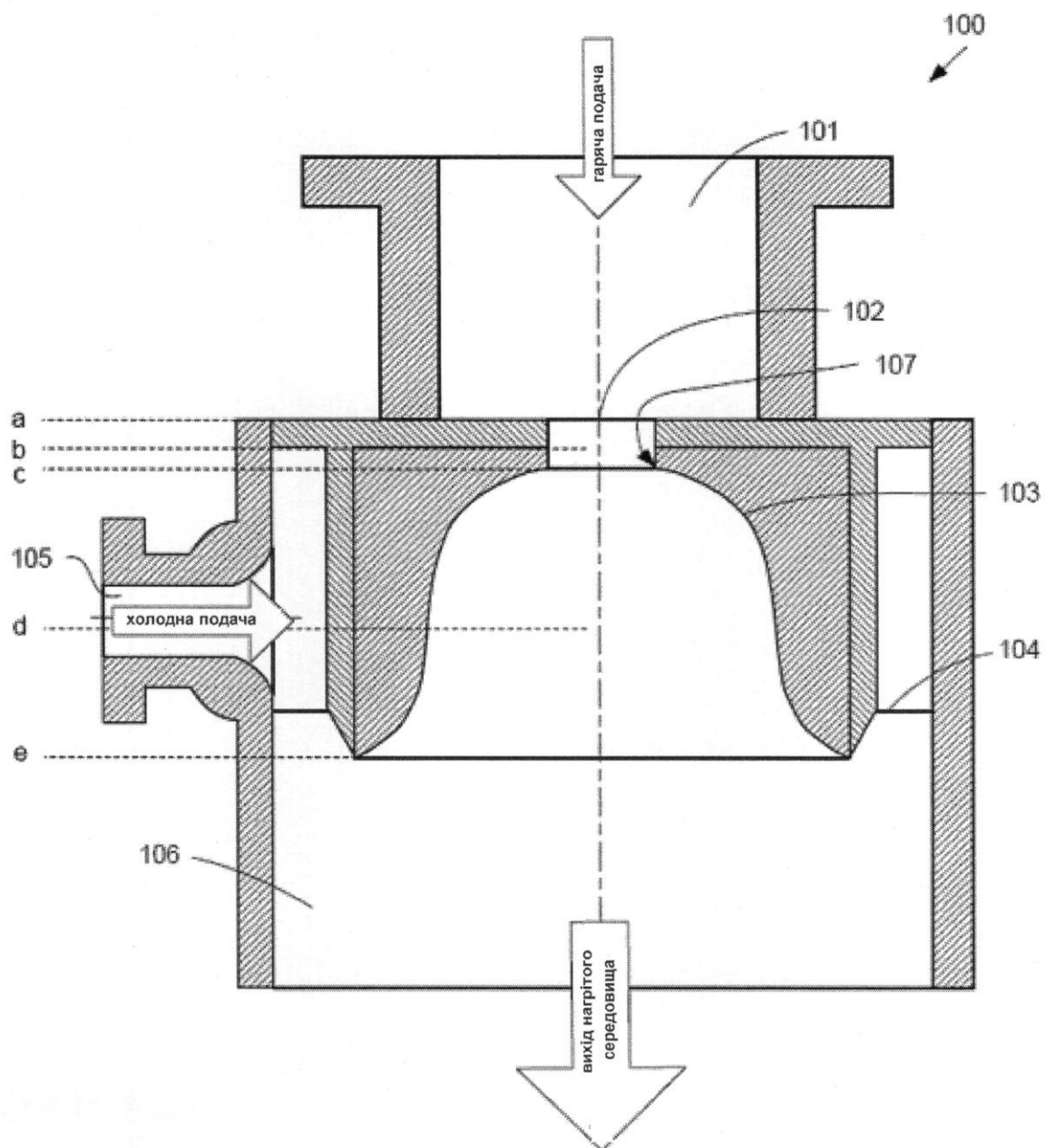
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2011 13540</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Фісенко Владімір Владімірович (RU)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>29.03.2011</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ФІСОНІК ХОЛДІНГ ЛІМІТЕД,</b> 2 Riga Feraiou Street, Limassol Center, Block B, 6th Floor, Flat/Office 601, 3095 Limassol, Cyprus (CY)
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.01.2013</b>	<b>(74)</b> Представник: <b>Вуліх Олександр Наумович, реєстр.</b> <b>№102</b>
<b>(31)</b> Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>12/951,029</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 1478 U, 15.11.2002 CN 1584480 A, 23.02.2005 DE 4425601 A1, 18.01.1996 US 3823872 A, 16.07.1974 US 5323967 A, 28.04.1994 WO 09316791 A2, 02.09.1993 UA 15787 C1, 30.06.1997
<b>(32)</b> Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: <b>20.11.2010</b>	
<b>(33)</b> Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: <b>US</b>	
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>25.05.2012, Бюл.№ 10</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.01.2013, Бюл.№ 2</b>	
<b>(86)</b> Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: <b>РСТ/IB2011/000679,</b> <b>29.03.2011</b>	

**(54) СПОСІБ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ (ВАРІАНТИ) І ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИЙ СТРУМИННИЙ АПАРАТ (ВАРІАНТИ)**

**(57) Реферат:**

Винаходи належать до генерації тепла. Струминний теплогенеруючий апарат має принаймні два послідовно з'єднаних сопла, сформованих для скипання гарячого рідинного потоку в першому соплі, гальмування й зменшення газової фази в другому соплі з наступним розгоном і повторним скипанням у другому соплі. На виході із другого сопла внаслідок гальмування потоку зменшується газова фаза і генерується тепло. В іншому варіанті апарата перше сопло звужується-розширюється і в нього вводиться пара. Варіанти способу теплогенерації передбачають використання відповідних апаратів. Третє сопло може бути використане для введення холодної рідини на виході із другого сопла для змішування з гарячим потоком до закінчення повторного гальмування. Винаходи сприяють підвищенню ефективності виділення тепла з потоку.

UA 100814 C2



ФІГ. 1

Рівень техніки

Галузь техніки

Цей винахід стосується струминної техніки, наприклад інжекторів і способів інжекції для нагрівання середовищ, що перекачується і ежекується.

5      Опис попереднього рівня техніки

Відомий струминний тепловиділяючий апарат і спосіб, що включає дві фази перетворення рідинного потоку суміші теплоносіїв, описаний у патенті RU2110701, опублікованому 10 травня 1998, що належить авторові цього винаходу. Одне з цих перетворень включає розігнання суміші, скипання, утворення двофазного надзвукового потоку з числом Маха, більшим 1, і організацію стрибка тиску з нагріванням рідинного потоку. Інше перетворення включає розігнання потоку, скипання його, організацію режиму плинину із числом Маха, яке дорівнює 1, гальмування потоку і його перетворення в ізотропний рідинний потік, заповнений мікроскопічними парогазовими бульбашками, з додатковим нагріванням рідини. У якості одного з теплоносіїв може бути використана пара. Цей спосіб дозволяє інтенсифікувати нагрівання теплоносія.

Проте, цей спосіб недостатньо ефективний. Ефективність знижується за рахунок перетворення внутрішньої енергії потоку в кінетичну енергію з надзвуковим потоком на другому етапі перетворення двофазного потоку в рідинний потік з парогазовими бульбашками. Разом з тим відомо, що чим вище число Маха, тим інтенсивніше відбувається перетворення внутрішньої енергії в кінетичну. Зниження ефективності особливо типово для двофазних потоків, де число Маха може бути в кілька разів більше, ніж в однофазних потоках при однакових або подібних параметрах потоку, що гальмується. Додатково, раніше відомі інжекторні сопла не забезпечували безперервного розігнання потоку, що скипає, до надзвукової швидкості, необхідної для досягнення переваг струминного інжектування з подвійним перетворенням.

25      Таким чином, задачею, на вирішення якої спрямований цей винахід, є подолання цього й інших обмежень попереднього рівня техніки в галузі струминних апаратів і способів нагрівання середовищ що перекачується й ежекується.

Ця технологія може вирішити ці й інші задачі для поліпшеної струминної інжекції, такі як, наприклад, досягнення підвищення ефективності роботи струминного апарата шляхом інтенсифікації нагрівання теплоносіїв більш повним використанням як енергії середовища, що нагрівається, за рахунок досягнення надзвукового потоку на виході з розгінного сопла, так і збільшення енергії теплоносія, що нагрівається, за рахунок зменшення тиску на виході з розгінного сопла, що приводить до скипання рідини, що перекачується. У струминному апараті відповідно до нової технології може використовуватися сопло, раніше описане автором цього винаходу в російській заявці на патент № 2008138162, поданій 25 вересня 2008 й опублікованій 27 березня 2010, посилання на яку приводиться.

Спосіб роботи струминного теплообмінного апарата містить подання гарячого рідинного теплоносія в сопло під тиском і подання холодного рідинного теплоносія і їхнє змішування для здійснення таких змін стану. У деяких варіантах здійснення винаходу обидва теплоносії містять воду. Перші дві зміни стану здійснюються з нагрітою рідиною й включають розігнання гарячого (що нагрівається) теплоносія до першої швидкості, при якій він скипає з утворенням неоднорідного двофазного потоку. Двофазний потік розганяють у соплі до швидкості із числом Маха, яке дорівнює щонайменше 1, потім піддають різкому збільшенню тиску за рахунок гальмування, яке перетворює двофазний потік у дозвуковий однорідний й ізотропний рідинний потік, що містить мікроскопічні газові бульбашки, і нагріває рідинний теплоносії. Потім, теплоносії, що нагрівається, з газовими бульбашками розганяють до швидкості, при якій суміш теплоносіїв повторно скипає й знову перетворюється в неоднорідний двофазний потік теплоносія. Розігнання здійснюють таким чином, щоб число Маха в перетині сопла, що розширюється, зростало до 1, а потім на виході із сопла число Маха зростає до значення, більшого 1.

Третя зміна стану здійснюється на теплоносії, що нагрівається (звичайно з більш низькою температурою). Теплоносії, що нагрівається, розганяють до швидкості, при якій він скипає з формуванням двофазного потоку із числом Маха, близьким або рівним 1, тобто до трансзвукової швидкості (тут і далі термін "транс-звукова швидкість" є перекладом українською мовою англійського терміну "near-sonic speed" - прим, перекл.). Таким чином, вищеописаний процес приводить до одержання двох двофазних потоків: надзвукового потоку теплоносія, що нагрівається, і трансзвукового потоку теплоносія, що нагрівається. Надзвуковий й транс-звуковий потоки змішуються з формуванням суміші надзвукового двофазного потоку, що потім гальмується. В результаті гальмування змішаний потік перетворюється в однорідний ізотропний рідинний потік суміші теплоносіїв, заповнений мікроскопічними парогазовими бульбашками.

Додатково, завдяки перетворенню потоку в первісний рідкий стан, рідинний потік суміші нагрівається, а рідинний потік, що нагрівається, суміші теплоносіїв з парогазовими бульбашками подається споживачеві під тиском, отриманим у струминному апараті.

Ця технологія може включати такі варіанти способу, описаного вище. Наприклад, в одному з альтернативних варіантів рідинний носій, що нагрівається, перетворюють у пару й подають під тиском в інжекційне сопло для змішування з холодним рідинним середовищем, що нагрівається. Наприклад, гаряче подаване середовище може містити пару, а холодне подаване середовище - воду. Пароподібний теплоносіїв, що подається в сопло, змішується з одержуваною рідиною з формуванням надзвукового неоднорідного двофазного потоку з числом Маха більше 1 на виході із сопла. Потім тиск потоку різко зростає для перетворення надзвукового двофазного потоку в однофазний рідинний потік суміші теплоносіїв з одночасним нагріванням суміші теплоносіїв під час стрибка тиску за рахунок конденсації парової фази. Потім, потік суміші теплоносіїв розганяють до швидкості, при якій суміш теплоносіїв скипає з повторним утворенням надзвукового двофазного потоку з числом Маха більше 1. Далі, потік гальмують до перетворення двофазного потоку в однорідний ізотропний рідинний потік з мікроскопічними парогазовими бульбашками, додаткового нагрівання суміші теплоносіїв і підвищення тиску. Потім рідинний потік суміші теплоносіїв, що нагрівається, може подаватися споживачеві під тиском, отриманим у струминному апараті.

В іншому варіанті, рідинний носій, що нагрівається, перетворюють у пару й подають під тиском в інжекційне сопло для змішування з холодним рідинним середовищем, що нагрівається. Пароподібний теплоносіїв, що подається в сопло, змішується з одержуваною рідиною з формуванням надзвукового неоднорідного двофазного потоку із числом Маха більше 1 на виході із сопла. Далі, двофазний потік гальмують, і він перетворюється в однорідний ізотропний рідинний потік суміші теплоносіїв з мікроскопічними парогазовими бульбашками. Гальмування також приводить до нагрівання потоку шляхом конденсації парової фази й підвищення тиску в потоку. Далі, потік суміші теплоносіїв розганяють до швидкості, при якій суміш теплоносіїв повторно скипає, для формування надзвукового неоднорідного двофазного потоку з числом Маха більшим 1. Потім подають додатковий носій, що нагрівається, і розганяють його до швидкості, при якій він скипає, і формується двофазний потік з числом Маха, близьким або рівним 1, тобто до трансзвукової швидкості. Таким чином, процес приводить до одержання двох двофазних потоків: надзвукового потоку суміші гарячих теплоносіїв й трансзвукового потоку теплоносія, що нагрівається. Надзвуковий й трансзвуковий потоки змішуються з формуванням суміші надзвукового двофазного потоку, яка потім гальмується. У результаті гальмування змішаний потік перетворюється в однорідний ізотропний рідинний потік суміші теплоносіїв, заповнений мікроскопічними парогазовими бульбашками. Додатково, завдяки конденсації парової фази усередині потоку до первісного рідкого стану, рідинний потік суміші нагрівається, а рідинний потік, що нагрівається, суміші теплоносіїв з мікроскопічними парогазовими бульбашками подається споживачеві під тиском, отриманим у струминному апараті.

Струминний апарат для здійснення вищеописаного способу, що використовує подання гарячої рідини, може містити, щонайменше, два послідовно з'єднаних сопла, як зазначено далі. Перше сопло, сформоване для скипання гарячої рідини, що подається під тиском у перше сопло, і друге сопло, з'єднане з виходом з першого сопла, сформоване для гальмування й зменшення газової фази гарячої рідини, за якими йдуть розігнані і повторне скипання в другому соплі, й повторне гальмування й зменшення газової фази на виході із другого сопла. Перше сопло містить канал з постійним перетином. Перше сопло далі містить отвір з гострою вхідною кромкою, сформований для відриву потоку від підведення. Канал, як правило, циліндричний і має довжину, що змінюється в діапазоні 0,5-1 значення його діаметра. Друге сопло містить дифузор зі змінним розширенням. Струминний апарат далі містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом із другого сопла й з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском. Струминний апарат далі містить з'єднання для вивідного каналу, з'єданого з виходом із другого сопла.

Струминний апарат для здійснення описаного способу з використанням подання гарячої пари, наприклад, водяної пари, містить, щонайменше, два послідовно з'єднаних сопла, як зазначено далі. Перше сопло, сформоване для упорскування парової фази рідкого матеріалу через перше сопло в холодну рідку фазу матеріалу для забезпечення скипання гарячого рідинного потоку в камері змішування нижче першого сопла, з'єднується з каналом з постійним перетином за допомогою камери змішування. Канал сформований для гальмування й зменшення газової фази гарячого рідинного потоку. Друге сопло, з'єднане з виходом з каналу з постійним перетином, сформованим для розігнання й повторного скипання в другому соплі з наступним повторним гальмуванням і зменшенням газової фази на виході із другого сопла.

Перше сопло містить сопло, що звужується-розширюється. Струминний апарат містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом з першого сопла і з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском. Канал з постійним перетином, як правило, циліндричний і має довжину, що змінюється в діапазоні 4-6 значень його діаметра.

Друге сопло містить дифузор зі змінним розширенням. Струминний апарат містить з'єднання для вивідного каналу, з'єднаного з виходом із другого сопла. Струминний апарат містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом із другого сопла і з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском.

Як видно з наведених прикладів, змішування й нагрівання рідкого теплоносія в струминному апараті з використанням стрибка тиску в комбінації з перетворенням потоку в однорідний ізотропний потік і неоднорідний двофазний потік здійснюються для підвищення ефективності теплопередачі. Більше повне розуміння струминного апарата й способу буде надано фахівцям у даній області, так само як і здійснення додаткових переваг й об'єктів шляхом розгляду наступного докладного опису. Посилання зроблені на додані аркуші малюнків, які будуть спочатку коротко описані.

На Фіг. 1 показане схематичне зображення потокової секції струминного апарата, придатного для здійснення описаного способу роботи з використанням гарячої води як середовища, що нагрівається.

На Фіг. 2 показане схематичне зображення потокової секції струминного апарата, придатного для здійснення описаного способу роботи з використанням пари як середовища, що нагрівається.

Фіг. 3 представляє альтернативну схему апарата, показаного на Фіг. 2.

На Фіг. 4 наведена потокова діаграма, що показує спосіб роботи струминного апарата з гарячою рідиною як середовища, що нагрівається.

На Фіг. 5 наведена потокова діаграма, що показує спосіб роботи струминного апарата з гарячою парою як середовища, що нагрівається.

#### Докладний опис

Перш ніж приступити до докладного опису апарата й способу, у підтримку розкритих варіантів здійснення винаходи приводяться певні теоретичні міркування.

Одне таке міркування стосується ініціювання скипання в ході процесу. Для запобігання відставання процесу скипання при досягненні тиску насичення пари необхідна наявність центрів паротворення в потоку рідини. При роботі способу, коли як гарячий теплоносіє виступає пара, такої проблеми немає, оскільки нагнітання пари викликає присутність у потоку рідини великої кількості мікроскопічних бульбашок, які містить пара з температурою, що набагато перевершує температуру несучого їх потоку, і, таким чином, ці бульбашки виступають як центри паротворення.

Інакше відбувається, якщо як середовища, що нагріває, виступає гаряча рідина, наприклад вода. Придатне сопло для гарячої рідини, описане в заявці на патент РФ № 2008138162, що належить авторові цього винаходу, має плавний вхід у частині, що звужується, що при відсутності центрів паротворення приводить до затримки скипання рідини навіть після значного зниження тиску нижче тиску насичення. Це у свою чергу приводить до роботи сопла в режимі, відмінному від розрахункового, а, отже, до зниження його ефективності й ефективності роботи всього пристрою в цілому.

Для усунення цього недоліку можна в якості парогенеруючого пристрою використати на вході в це або подібне сопло отвір з гострою входною кромкою. У цьому випадку, діаметр вузького перетину сопла повинен бути правильно розрахований відповідно до нижчеописаного. У гідродинаміці Жуковським Н.Е. була запропонована така формула для визначення коефіцієнта витрати при витіканні в атмосферу рідини з ємності трубопроводу великого діаметра:

$$\mu = .57 + \frac{.043}{1.1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}$$

де d - діаметр отвору; D - діаметр підвідного трубопроводу.

При  $D \gg d$ ,  $\mu = 0,609$ .

Наведена залежність досить добре описує результати витікання холодної рідини в необмежений простір з атмосферним тиском у вигляді струменя, що вільно розширюється. Однак, формула не досить точно описує витікання в обмежений і затоплений простір, що має протитиск більший, ніж атмосферний, і питання діаметра горловини залишалося відкритим для широкого спектра початкових температур і тисків. Не зовсім зрозумілою залишалася й фізична сутність процесів, що відбуваються в струмені. Поводження рідинного потоку, що скипає, у соплі

з парогенеруючою вставкою й розбіжною частиною, виконаною у відповідності до способу розрахунку, описаному в заявці № 2008138162 для пристрою, показано на Фіг. 1.

Відмітною рисою сопла 102 є те, що в міру зниження тиску за його віссю й пов'язаного із цим скипання рідини в ньому двічі відбувається перехід через швидкість звуку. Перший раз це відбувається при мінімальному об'ємному співвідношенні фаз 'β,' що визначається як відношення об'єму газового компонента до сумарного об'єму суміші рідини й газу, що має значення 1/3 (одна третина). Це відбувається на виході з отвору з гострою кромкою, розташованого у вузькому перетині сопла на вході 107 у його секцію 103, що розширюється. Другий раз перехід через звукову швидкість відбувається при β(P01) при максимальному об'ємному співвідношенні фаз на виході 104 із сопла залежно від тиску P01 на вихідному перетині сопла. Витрата суміші на вході й виході із сопла є тією самою і визначається такою саме залежністю:

$g_{cr}(P01) f$ , де  $f$  - площа перетину,  $ag_{cr}(P01)$  - питома критична витрата суміші в функції тиску перед стрибком, який пов'язаний з тиском гальмування залежністю:

$$P01 = P_0(P01) \cdot \frac{(1 - \beta(P01))}{k(P01)},$$

де  $k$  - показник ізоентропи, що так само, як об'ємне співвідношення фаз і тиск гальмування, є функцією тиску P01, що змінюється, у розбіжній частині сопла. Питома критична витрата дорівнює:

$g_{cr}(P01) = (k(P01) \cdot P01 \cdot \rho \cdot (1 - \beta(P01)))^5$ , де  $\rho$  - щільність рідини, оскільки відношення площ перетинів сопла дорівнює зворотному відношенню питомих витрат:

$$\frac{f}{F} = \left[ \frac{k(P01) \cdot P01 \cdot \rho \cdot (1 - \beta(P01))}{k1 \cdot P01 \cdot \rho \cdot (1 - \beta1)} \right]^5$$

З урахуванням наведених залежностей при рівності тиску гальмування у вихідному перетині розгінного сопла 102 і на вході 107 у розбіжну частину 103 сопла, відношення площ отвору з гострою кромкою й вихідним перетином сопла буде зворотно пропорційно відношенню об'ємних відносин M рідини до газової фази в цих перетинах, а відношення діаметрів буде дорівнювати

$$\frac{d(P01)}{D(P01)} = \left( \frac{1 - \beta(P01)}{1 - \beta1} \right)^5$$

Зважаючи на стрибок тиску:

$$a(P01)^2 = w1(P01) \cdot w2(P01),$$

де  $a(P01)$  - швидкість звуку,  $w1(P01)$  - швидкість двофазної суміші перед стрибком тиску,  $w2(P01) = w1(P01) \cdot (1 - \beta(P01))$  - швидкість двофазної суміші після стрибка тиску. Підставляючи цей вираз в умову існування стрибка тиску, одержимо:

$$M(P01)^2 = \frac{1}{(1 - \beta(P01))}$$

Відповідно, відношення квадратів діаметрів отвору на вході в розгінне сопло й вихідного перетину сопла, можна записати як:

$$\frac{d(P01)^2}{D(P01)^2} = \frac{M1^2}{M(P01)^2}$$

де  $d$  - діаметр на вході сопла,  $D$  - діаметр на виході із сопла, а  $M$  - об'ємне відношення фаз рідина/газ. Якщо підставити це відношення у формулу Жуковського Н.Е., вказану вище, одержимо:

$$\mu(P01) = .57 + \frac{.043}{1.1 - \frac{M1^2}{M(P01)^2}}$$

або, через те, що об'ємне відношення фаз на вході в перетин, що розширюється, сопла дорівнює 1/3  $M1=1.5$ , одержимо формулу, у якій коефіцієнт витрати не залежить ні від діаметра отвору, ні від діаметра підвідного трубопроводу, а залежить тільки від властивостей рідини в тому випадку, коли форма й геометричні розміри струменя, що витікає через отвір з гострою вхідною кромкою, задані спеціальним надзвуковим соплом для двофазного потоку, що скипає, як описано в заявці на патент РФ №2008138162, що належить авторові цього винаходу:

$$\mu(P01) = .57 + \frac{.043 \cdot M(P01)^2}{(1.1 \cdot M(P01)^2 - 2.25)}$$

Незважаючи на те, що цей вираз для коефіцієнта витрати є величиною, що залежить від тиску на виході із сопла, який у свою чергу залежить від параметрів рідини (у цьому випадку води) на вході в сопло, а розрахунки, виконані за цією формулою в широкому діапазоні температур (від 20 °C до 200 °C) і тисків (від 0,2 до 2МПа) на вході в сопло, коефіцієнт витрати залишається величиною постійною, яка дорівнює його значенню, розрахованому за формулою Жуковського Н.Е. для умови  $D \gg d$ :  $\mu = 0,609$ .

Це вказує на той факт, що ця величина носить фундаментальний характер і визначає найважливіші властивості води: її стискальність і потенційну внутрішню енергію.

У заявці № 2008138162 описується залежність діаметра  $D(P01)$  на вихідній секції розгінного сопла, що працює на рідині, що скипає. Діаметр отвору на вході в сопло визначається такою залежністю:

$$d(P01) = \frac{1.5 \cdot D(P01)}{M(P01)},$$

де довжина сопла 102 знаходиться в діапазоні від близько 0,5 до 1,0 діаметрів отвору  $d$ .

Відповідно до вищевикладеного, Фіг. 1 представляє схематичне зображення потокової секції струминного апарата 100 для здійснення описаного способу з використанням води як середовища, що нагріває. Теплогенеруючий струминний апарат 100 містить вхід 101, сопло 102 із профільованим соплом, що розширюється, 103, змішувальне сопло 104, підвідний патрубок 105 і вихід 106.

Теплогенеруючий струминний апарат 100 працює в такий спосіб. У випадку, коли як теплоносії використовується рідке середовище, це середовище подається під тиском у сопло 102. Рідинний теплоносії, що нагріває, подається від входу 101 у розгінний дифузор 103 через парогенеруюче сопло 102. При цьому, у секції (а) відбувається відрив потоку від гострої кромки, потік звужується, тиск у ньому падає, відбувається його скипання й у вузькому перетині (b). Об'ємне відношення фаз газ/рідини стає рівним 1/3, потік стає надзвуковим, і на виході 107 із сопла 102 у секції (c) відбувається стрибок тиску. На вході в розгінне сопло 103 потік являє собою рідину з мікроскопічними бульбашками пари, які, будучи центрами паротворення, забезпечують скипання рідини в міру зниження тиску у двофазному потоку.

Сопло 103 має дифундуючий профіль, зі змінною розбіжністю, як показано. Таким чином, щільність суміші зменшується і швидкість зростає, у секції (d) потік стає критичним і подальше його розширення відбувається з надзвуковою швидкістю. У секції (e) швидкість досягає максимуму, а тиск мінімуму. Вода, що нагрівається і надходить у кільцеве змішувальне сопло 104 через патрубок 105, також скипає за рахунок низького тиску в секції (e) і змішується з двофазним потоком, що йде з розгінного сопла.

При цьому, потоки змішуються в такому відношенні й при таких параметрах, що після практично миттєвого обміну кількістю рухів двофазна суміш подається на вихідний трубопровід 106 на надзвуковій швидкості. В результаті виникає стрибок тиску (підвищення) у трубопроводі 106. Під час стрибка тиску двофазний потік різко перетворюється в однорідний ізотропний однофазний рідинний дозвуковий потік, який характеризується об'ємним відношенням газ/рідини не менш 1/3. Така різка зміна фазового стану потоку одночасно супроводжується нагріванням потоку в стрибку тиску. Потік однорідної рідини наповнений мікроскопічними паровими бульбашками, сформованими на цьому етапі. Цей потік подається споживачеві у вигляді нагрітої рідини, чим досягається ефективно і швидко термальне перенесення з входу середовища, що нагрівається.

Теоретичні значення параметрів для водо-водяного котла, як показано на Фіг. 1, були розраховані для працюючого прототипу, сконструйованого як приклад описаної технології. З дати цієї заявки емпіричні дані від дослідного зразка ще не доступні. Розрахункові значення вхідних параметрів були такі:

Тиск гарячої води на вході:	$P1=0,44$ МПа
Температура гарячої води на вході:	$T1=110$ °C
Підведена до води потужність:	$ME=500$ кВт
Використані геометричні значення:	
Діаметр вузького перетину сопла	$d=18$ мм
Діаметр вихідного перетину сопла	$D=116$ мм
Розрахункові параметри:	
Тиск на виході:	$P2=0,138$ Мпа
Температура води на виході:	$T2=77,6$ C
Вихідна потужність:	$Q=1000,6$ кВт
Витрата води:	$g=15$ куб. м/ч

Швидкість звуку перед стрибком:	$a = 27,56 \text{ м/с}$
Тиск перед стрибком:	$P_0 = 0,0085 \text{ Мпа}$
Швидкість потоку перед стрибком:	$W_1 = 231,39 \text{ м/с}$
Число Маха перед стрибком:	$M = 8,39$

Зазначені розрахункові значення просто ілюстративні і не повинні сприйматися як обмеження викладеної тут винахідницької концепції. Також слід зазначити, що емпіричні результати можуть відрізнятися від представлених тут теоретичних значень.

Інші варіанти здійснення способу роботи теплогенеруючого струминного апарата відрізняються від описаних вище в основному тим, що пара подається під тиском на вхід 101 струминного апарата як нагрітий теплоносіє. Тобто, теплоносіє впорскується у вигляді пари. Отже, інтенсифікується процес нагрівання холодного теплоносія шляхом перенесення на нього більшої кількості тепла, а також процес формування двофазного потоку. Як описано вище, у потоку проводять два перетворення, тобто перетворення потоку суміші теплоносіїв за рахунок стрибка тиску й перетворення потоку суміші теплоносіїв із установленням надкритичного режиму плинності. Істотною відмінністю є те, що перетворення потоку суміші теплоносіїв, що проводять першим, не вимагає спеціального розігнання суміші теплоносіїв для скипання, що дозволяє прискорити процес нагрівання суміші теплоносіїв, а бульбашки, що знаходяться після стрибка тиску в рідині, служать центрами паротворення при скипанні рідини в розгінному соплі.

На Фіг. 2 представлено схематичне зображення іншого апарата 200, що підходить для описаного тут способу роботи з використанням пари як середовища, що нагріває.

Фіг. 3 представляє альтернативний вид струминного апарата 200. Під апаратом розуміється здійснення таких операцій: подання теплоносія - пари під тиском у сопло 202, що звужується-розширюється, секції (а), витікання його із сопла 202 з поданням в камеру змішування 204, при одночасному поданні першого холодного потоку для нагрівання в камеру змішування 204 з камери 201, що одержує, через сопло 203. Під час змішування теплоносіїв між секціями (b і c) у камері змішування 204 нижче сопел 202 й 203, утворюється паро-рідинна суміш теплоносіїв. Паро-рідинний потік розганяють до надзвукової швидкості на вході в циліндричну частину 205 камери змішування. Паро-рідинний потік має об'ємне відношення газ/рідина близько 1/3 біля входу в циліндричну частину 205.

Після надходження в циліндричну частину 205 камери, паро-рідинний потік гальмують, і відбувається стрибок тиску. Циліндрична частина 205 сконструйована, як описано вище, для гальмування й підвищення тиску. При різкому підвищенні тиску, двофазний паро-рідинний потік перетворюється в однорідний ізотропний однофазний дозвуковий рідинний потік, що містить мікроскопічні бульбашки і має об'ємне відношення газ/рідина менше 1/3.

Додатково, нагрівання цього потоку суміші теплоносіїв відбувається під час стрибка тиску в циліндричній частині 205 камери змішування в результаті зменшення парової фази. Потік витікає в сопло 206, яке лежить нижче, на дозвуковій швидкості і при підвищеній температурі.

Далі рідинний потік розганяють до швидкості, при якій він скипає в розгінному паро-рідинному соплі 206. Сопло 206 має дифундуючий профіль зі змінною розбіжністю, як показано. Потік знову досягає стану неоднорідного двофазного потоку з об'ємним відношенням рідина/газ більше 1/3 і числом Маха, яке дорівнює 1, усередині розгінного сопла секції (е) частини профільованого сопла 206, що розширюється. Потім, рідинний потік розганяють до максимальної швидкості із числом Маха значно більше 1 на виході з розгінного сопла 206.

Два відмінних варіанти роботи способу для апарата 200, обидва з використанням пари як гарячого вхідного носія, здійснюються в такий спосіб. В одному варіанті здійснення винаходу апарат 200 сформований для роботи так, щоб після того, як надзвуковий потік досягне виходу з розгінного сопла 206, за рахунок гальмування потоку під час стрибка тиску, він перетвориться в однорідний ізотропний рідинний потік суміші теплоносіїв, наповнений мікроскопічними парогазовими бульбашками, на виході із трубопроводу 208. Таке перетворення здійснюється з додатковим одночасним нагріванням рідинного потоку суміші теплоносіїв за рахунок зменшення парової фази і з підвищенням тиску в потоку. Потім нагрітий рідинний потік суміші теплоносіїв подається споживачеві під отриманим тиском. Через патрубок 207 не подається нічого, і цей елемент може бути вилучений.

В альтернативному варіанті здійснення винаходу апарат 200 сформований для роботи таким чином, що подання гарячої пари відрізняється від описаного вище варіанта таким. Другий холодний потік додатково подається через патрубок 207 і на вихід розширювального сопла 206 у секції (f). Завдяки низькому тиску в цьому сегменті, другий холодний вхідний потік також скипає й розганяється до трансзвукової швидкості з числом Маха, близьким 1. Потім другий холодний потік змішується з гарячим двофазним надзвуковим потоком, що подається в секцію

(f) з розгінного сопла 206. Змішаний двофазний потік є надкритичним. Під час стрибка (підвищення) тиску на виході із трубопроводу 208 зазначений змішаний двофазний потік перетворюється в однорідний ізотропний рідинний потік з мікроскопічними паровими бульбашками. У такому стані нагріта рідина подається споживачеві під тиском, отриманим на виході 208.

Перша частина апарата 200 містить трансзвуковий струминний апарат (ТСА) як описано в патенті РФ RU2155280, що належить авторові цього винаходу, опублікованому 27 серпня 2000, модифікованому для досягнення максимально можливого тиску гальмування під час стрибка тиску в циліндричній частині камери змішування 204.

Для порівняння, відповідна частина ТСА, описана в патенті RU2155280, сформована у формі дифузора з кутом конусності ( $\gamma$ ). Теоретично доведено і експериментально підтверджено, що при трансзвуковому плинні для будь-яких заданих параметрів пари й води на вході в ТСА, тиск гальмування після стрибка має максимум при строго визначеному значенні тиску в соплі перед стрибком. Як показано вище, діаметр перетину двофазного потоку, що скипає, при заданій масовій витраті також є функцією тиску перед стрибком. Таким чином, маючи певне значення перед стрибком, при якому тиск гальмування має свій максимум, можна визначити відповідне значення діаметра циліндричної частини 205 камери змішування 204. З досвіду встановлена оптимальна довжина 'L' циліндричної частини камери змішування, визначена як  $L=4-6$  значень діаметра камери змішування.

Відповідно до викладеного, спосіб 300 роботи струминного апарата для нагрівання рідини з використанням подання гарячої рідини здійснюється таким чином, як показано на Фіг. 4. Спосіб включає подання 302 у перше сопло гарячого рідинного потоку під тиском до скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідина, щонайменше,  $1/3$ , з розігнанням гарячого рідинного потоку в першому соплі до надзвукової швидкості. Гарячий рідинний потік подається в перше сопло через отвір з гострою кромкою (вхід) для відділення потоку й швидкого скипання.

Потім, спосіб включає виведення 304 гарячої рідини з першого сопла в частину, що розширюється, другого сопла, що викликає гальмування гарячої рідини до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідина до менше  $1/3$  і нагрівання гарячого рідинного потоку, що перетворює потік в однорідну ізотропну рідину з мікроскопічними паровими бульбашками. Спосіб далі включає розігнання 306 потоку в другому перетині другого сопла до повторного скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідина, щонайменше,  $1/3$ , з розігнанням гарячого рідинного потоку на виході із другого сопла до надзвукової швидкості.

Спосіб 300 далі включає подання 308 холодного рідинного потоку під тиском через третє сопло з викиданням біля виходу із другого сопла до прискорення й скипання холодного рідинного потоку безпосередньо перед змішуванням з потоком гарячої води. Спосіб далі включає змішування 310 гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку безпосередньо після виходу із другого сопла. Спосіб далі включає виведення 312 суміші гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку на вихід, сформований для уповільнення суміші до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідина до менш, ніж  $1/3$ , і нагрівання гарячого рідинного потоку, з перетворенням потоку в однорідну ізотропну рідину з мікроскопічними паровими бульбашками. Постійний перетин каналу містить циліндричний канал з довжиною в діапазоні 4-6 його діаметрів. Спосіб далі включає розігнання 408 потоку в другому соплі до повторного скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідина, щонайменше,  $1/3$ , з розігнанням гарячого рідинного потоку до надзвукової швидкості на виході із другого сопла.

Спосіб 400 далі включає подання холодної рідинної фази матеріалу через сопло в камеру змішування. Спосіб далі включає подання 410 холодного рідинного потоку під тиском через третє сопло з викиданням біля виходу із другого сопла до розігнання й скипання холодного рідинного потоку безпосередньо перед змішуванням з потоком гарячої води. Спосіб далі включає змішування 412 гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку безпосередньо після виходу із другого сопла. Спосіб далі включає виведення 414 суміші гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку на вихід, сформований для гальмування суміші до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідина до менш, ніж  $1/3$ , і нагрівання суміші. В альтернативному варіанті, спосіб містить виведення 416 гарячого рідинного потоку без будь-якого проміжного змішування на вихід, сформований для уповільнення гарячого рідинного потоку до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідина до менш, ніж  $1/3$ , і подальше нагрівання гарячого рідинного потоку.

Способи, які можуть бути застосовані відповідно до розкритого об'єкта винаходу, були описані з посиланням на діаграми. Для простоти пояснення, способи показані й описані як серія блоків. Необхідно пояснити, що заявлений об'єкт винаходу, були описані з посиланням на діаграми. Для простоти пояснення, способи показані й описані як серія блоків. Необхідно пояснити, що заявлений об'єкт винаходу не обмежується порядком блоків, оскільки деякі блоки можуть прямувати в різному порядку та/або одночасно з іншими блоками, на відміну від того, що зображене й описане тут. Крім того, не всі проілюстровані блоки можуть бути необхідні для здійснення способів, описаних тут; пропуск різних блоків може привести до роботи блоками, що залишаються, одного з альтернативних варіантів здійснення винаходу, описаних тут, або заявлених.

Описані способи роботи тепловиділяючого струминного апарата можуть бути реалізовані як при створенні й реконструкції великих джерел теплоти, так і при створенні автономних тепловиділяючих установок, наприклад, систем опалення різного роду приміщень, де немає системи централізованого опалення, у тому числі в районах Далекої Півночі, а також для опалення й гарячого водопостачання побутових і службових будинків, споруджень, котеджів і дач. Ці способи можуть бути також реалізовані при створенні й реконструкції очисних споруджень промислових відходів, заводів з розміщення радіоактивних відходів, водних засобів для опріснення води й заводів для одержання чистої питної води. Варіанти здійснення винаходу, описані тут, просто ілюструють різні апарати і способи струминної інжекції. Ця технологія не обмежується цими прикладами.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб генерації теплової енергії, при якому подають гарячий рідинний потік під тиском у перше сопло до скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідини щонайменше  $1/3$  з розгоном гарячого рідинного потоку в першому соплі до надзвукової швидкості, виводять гарячу рідину з першого сопла в переріз, що розширюється, другого сопла, що має наслідком гальмування гарячої рідини до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідини до менш ніж близько  $1/3$  і нагрівання гарячого рідинного потоку, перетворення потоку в однорідну ізотропну рідину з вмістом мікроскопічних бульбашок пари, і розганяють потік в другому перерізі другого сопла до повторного скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідини щонайменше  $1/3$  з розгоном гарячого рідинного потоку на виході із другого сопла до надзвукової швидкості.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що подають холодний рідинний потік під тиском через третє сопло з викиданням біля виходу із другого сопла до прискорення й скипання холодного рідинного потоку безпосередньо перед змішуванням з потоком гарячої води.

3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що змішують гарячий рідинний потік й холодний рідинний потік безпосередньо після виходу із другого сопла.

4. Спосіб за п. 3, який **відрізняється** тим, що виводять суміш гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку на вихід, пристосований для уповільнення суміші до дозвукової швидкості, зменшують об'ємне відношення газ-рідини до менш ніж близько  $1/3$  і нагрівають суміш.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що виводять гарячий рідинний потік на вихід, пристосований для уповільнення гарячого рідинного потоку до дозвукової швидкості, зменшують об'ємне відношення газ-рідини до менш ніж близько  $1/3$  і далі нагрівають гарячий рідинний потік.

6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що подають гарячий рідинний потік в перше сопло через отвір з гострою вхідною кромкою.

7. Спосіб генерації теплової енергії, при якому упорскують рідинний матеріал в газоподібній фазі через перше сопло в холодну рідку фазу матеріалу для забезпечення скипання гарячого рідинного потоку в камері змішування нижче першого сопла, подають гарячий рідинний потік через переріз, що звужується, камери змішування, що має наслідком розгін гарячого рідинного потоку до надзвукової швидкості й одержання об'ємного відношення газ-рідини щонайменше  $1/3$ , виводять гарячу рідину із перерізу, що звужується, в постійний переріз каналу, що веде до частини, що розширюється, другого сопла, що має наслідком гальмування гарячої рідини до дозвукової швидкості, зменшують об'ємне відношення газ-рідини до менш ніж близько  $1/3$  і нагрівання гарячого рідинного потоку, перетворюють потік в однорідну ізотропну рідину із вмістом мікроскопічних бульбашок пари і прискорюють потік в другому соплі до повторного скипання гарячого рідинного потоку з одержанням об'ємного відношення газ-рідини

щонайменше  $1/3$ , з розгоном гарячого рідинного потоку на виході із другого сопла до надзвукової швидкості.

8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що подають холодну рідку фазу матеріалу через сопло в камеру змішування.

5 9. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що подають холодний рідинний потік під тиском через третє сопло з викиданням біля виходу із другого сопла до прискорення й скипання холодного рідинного потоку безпосередньо перед змішуванням з потоком гарячої води.

10. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що змішують гарячий рідинний потік й холодний рідинний потік безпосередньо після виходу із другого сопла.

10 11. Спосіб за п. 10, який **відрізняється** тим, що виводять суміш гарячого рідинного потоку й холодного рідинного потоку на вихід, сформований для гальмування суміші до дозвукової швидкості, зменшують об'ємне відношення рідина-газ до не менш ніж 1 і нагрівають суміш.

12. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що виводять гарячий рідинний потік на вихід, сформований для уповільнення гарячого рідинного потоку до дозвукової швидкості, зменшення об'ємного відношення газ-рідина до менш ніж близько  $1/3$  і нагрівання гарячого рідинного потоку.

13. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що постійний переріз каналу містить циліндричний канал з довжиною, що змінюється в діапазоні 2-4 значень його діаметра.

20 14. Струминний апарат, що включає щонайменше два послідовно з'єднаних сопла, перше сопло сформоване для скипання гарячої рідини, що подається під тиском у перше сопло, друге сопло з'єднане з виходом з першого сопла і сформоване для гальмування й зменшення газової фази гарячої рідини, за якими ідуть прискорення й повторне скипання в другому соплі, і повторне гальмування й зменшення газової фази на виході із другого сопла.

25 15. Апарат за п. 14, який **відрізняється** тим, що перше сопло містить канал з постійним перерізом.

16. Апарат за п. 15, який **відрізняється** тим, що перше сопло далі містить отвір з гострою вхідною кромкою, сформований для відриву потоку від підведення.

17. Апарат за п. 15, який **відрізняється** тим, що канал, як правило, циліндричний і має довжину, що змінюється в діапазоні 0,5-1 значень його діаметра.

30 18. Апарат за п. 14, який **відрізняється** тим, що друге сопло містить дифузор зі змінним розширенням.

19. Апарат за п. 14, який **відрізняється** тим, що містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом із другого сопла й з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском.

35 20. Апарат за п. 14, який **відрізняється** тим, що містить з'єднання для вивідного каналу, з'єданого з виходом із другого сопла.

40 21. Струминний апарат, що включає щонайменше два послідовно з'єднаних сопла, перше сопло сформоване для упорскування парової фази рідкого матеріалу через перше сопло в холодну рідку фазу матеріалу для забезпечення скипання гарячого рідинного потоку в камері змішування нижче першого сопла, канал з постійним перерізом у рідинному зв'язку з камерою змішування сформований для гальмування й зменшення газової фази гарячого рідинного потоку; друге сопло з'єднане з виходом з каналу з постійним перерізом і сформоване для розгону й повторного скипання в другому соплі з наступним повторним гальмуванням і зменшенням газової фази на виході із другого сопла.

45 22. Апарат за п. 21, який **відрізняється** тим, що перше сопло містить сопло, що звужується-розширюється.

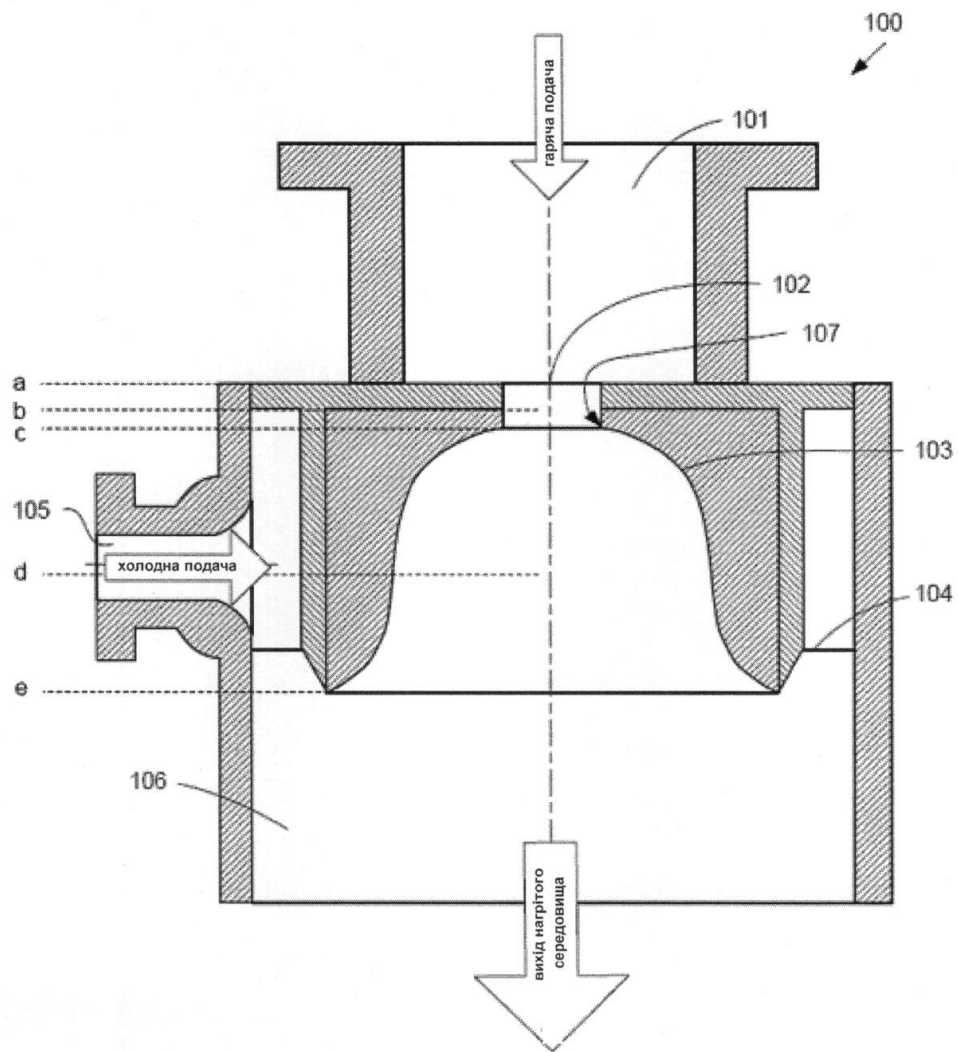
23. Апарат за п. 22, який **відрізняється** тим, що містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом з першого сопла й з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском.

50 24. Апарат за п. 21, який **відрізняється** тим, що канал з постійним перерізом, як правило, циліндричний і має довжину, що змінюється в діапазоні 4-6 значень його діаметра.

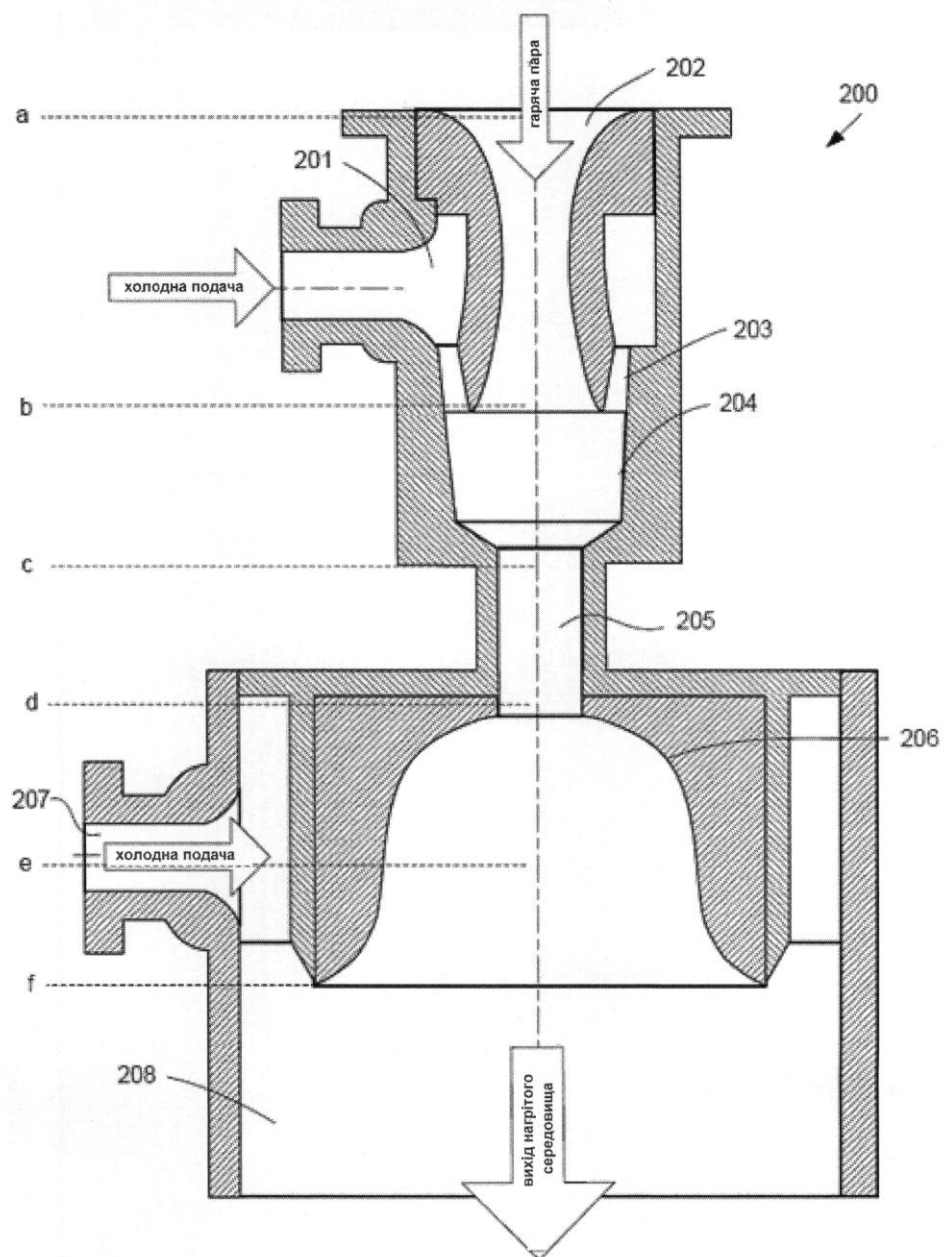
25. Апарат за п. 21, який **відрізняється** тим, що друге сопло містить дифузор зі змінним розширенням.

55 26. Апарат за п. 21, який **відрізняється** тим, що містить з'єднання для вивідного каналу, з'єданого з виходом із другого сопла.

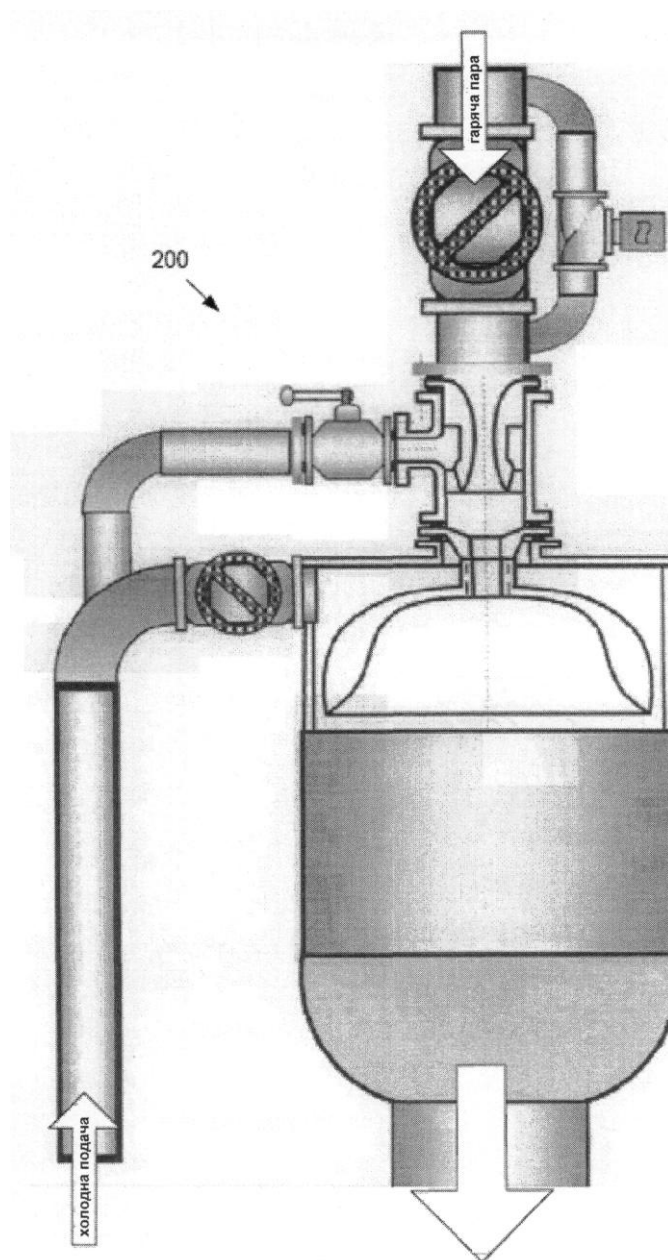
27. Апарат за п. 21, який **відрізняється** тим, що містить третє сопло з рідинним зв'язком на його виході з виходом із другого сопла й з рідинним зв'язком на його вході із з'єднанням для подання рідини під тиском.



ФІГ. 1



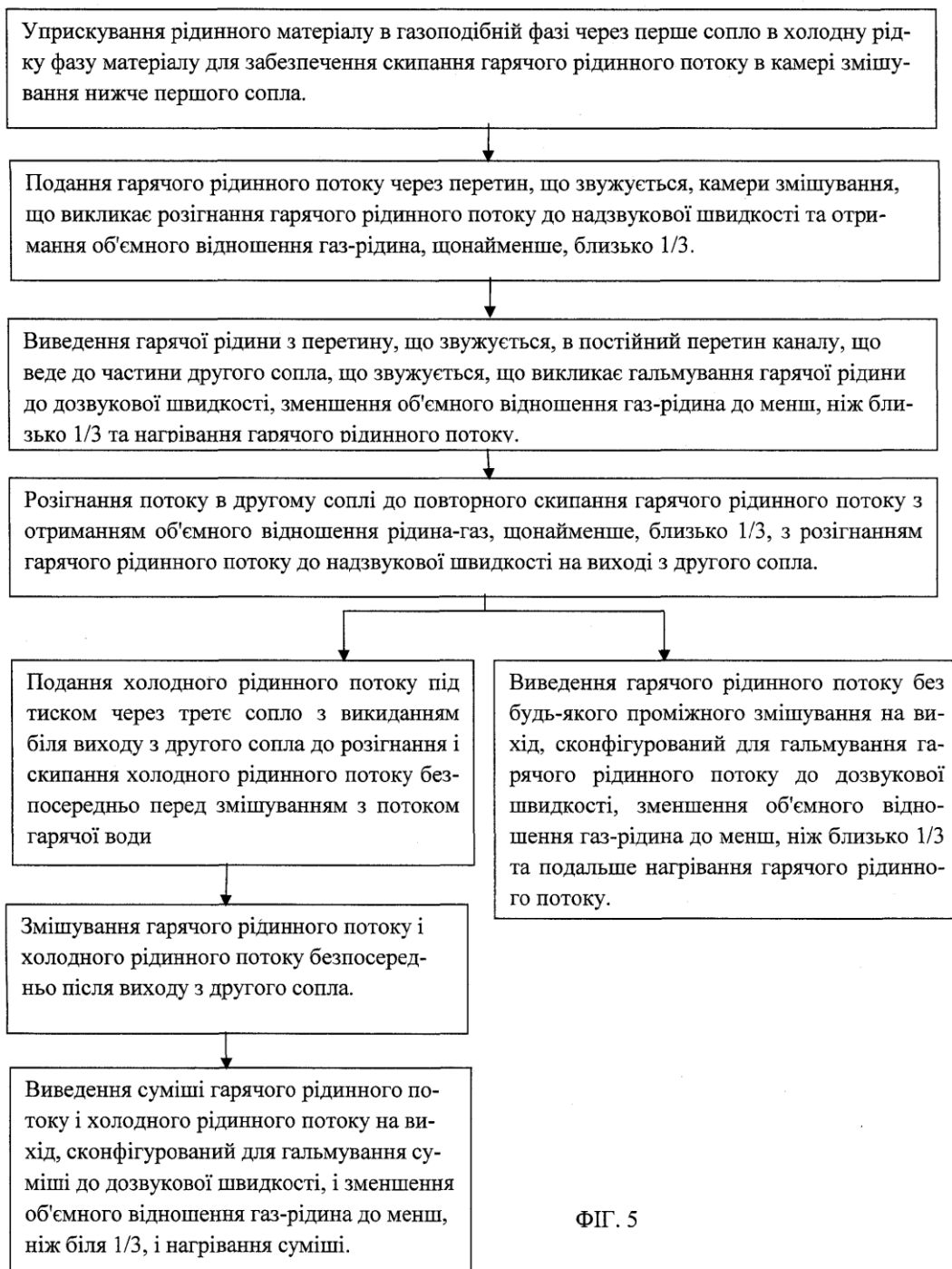
ФІГ. 2



ФІГ. 3



ФІГ. 4



ФІГ. 5

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

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

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