



УКРАЇНА

(19) UA (11) 88975 (13) C2
(51) МПК (2009)
B01F 7/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) КАВІТАЦІЙНИЙ РОТОРНИЙ АПАРАТ З ВАКУУМУВАННЯМ

1

(21) а200803193

(22) 12.03.2008

(24) 10.12.2009

(46) 10.12.2009, Бюл.№ 23, 2009 р.

(72) ПАВЛОВСЬКИЙ ВІКТОР ІВАНОВИЧ, ЖИЛКОВСЬКИЙ РУСЛАН ГЕОРГІЙОВИЧ

(73) ПАВЛОВСЬКИЙ ВІКТОР ІВАНОВИЧ, ЖИЛКОВСЬКИЙ РУСЛАН ГЕОРГІЙОВИЧ

(56) UA 45639 A, 15.04.2002

UA 20438 U, 15.01.2007

RU 2174045 C2, 27.09.2001

UA 65406 C2, 15.03.2004

UA 8093 A, 26.12.1995

(57) 1. Кавітаційний роторний апарат з вакуумуванням для обробки різних рідин, що містить вхідний і вихідний патрубки, корпус, у якому співвісно розташовані вал, швидкісний ротор з осьовими наскрізними отворами для здійснення процесу рециркуляції оброблюваної рідини у об'ємі камери апарата та на якому встановлені радіальні лопатки з суперкавітуючим клиновим асиметричним профілем, вхідна та вихідна розподільні камери, а також вхідна та вихідна кільцеві робочі камери, між якими розташовано ротор з лопатками та які розподілені повздовжніми радіальними перегородками на послідовно розташовані по кільцю групи міні-камер, причому кожна група міні-камер у вихідній кільцевій робочій камері має тільки один отвір до вихідної розподільної камери, звідки менша частина оброблюваної рідини йде на вихід з апарата, а її більша частина повертається на повторну кавітаційну обробку в кільцевих робочих камерах, який **відрізняється** тим, що кожна суперкавітуюча лопатка ротора має внутрішню порожнину, вхід у яку розташований у робочій хвостовій частині лопатки, а вихід з'єднаний внутрішнім каналом з загальною внутрішньою порожниною ротора й потім із зовнішнім газо-вакуумним патрубком апарата, при цьому у кожній групі міні-камер вихідної кільцевої робочої камери кожна міні-камера має вихідний отвір, а вихідна розподільна камера апарата розділена перегородкою на дві незалежні камери, перша з яких - зворотна

2

камера (В), розташована перед ротором і зв'язана отворами з більшою частиною усіх робочих міні-камер вихідної кільцевої робочої камери для повернення більшої частини рідини крізь отвори у роторі на повторну кавітаційну обробку, а друга - вихідна камера (Б), призначена тільки для виходу меншої частини рідини з апарата і зв'язана отворами тільки з тими міні-камерами, які у кожній групі міні-камер вихідної кільцевої робочої камери є останніми в напрямку руху кавітуючих лопаток.

2. Кавітаційний роторний апарат з вакуумуванням за п. 1, який **відрізняється** тим, що ротор встановлений з можливістю обертання зі швидкістю, що забезпечує виникнення за кожною суперкавітуючою лопаткою розвинутої кавітаційної каверни в оброблюваній рідині, а діаметр каналу зв'язку внутрішньої порожнини кожної лопатки із загальною порожниною ротора становить або перевищує 0,3 товщини цієї лопатки, причому сам ротор містить кілька рядів суперкавітуючих лопаток, які розташовані в паралельних площинах, що перпендикулярні осі обертання ротора, причому сусідні ряди цих асиметричних лопаток мають протилежні за знаком результуючі насосні ефекти уздовж осі ротора, а ефект лопаток першого від входу ряду щодо інших рядів лопаток є найбільшим по величині, а результуючий осьовий насосний ефект усіх рядів лопаток спрямований у бік вихідної загальної камери.

3. Кавітаційний роторний апарат з вакуумуванням за п. 1, який **відрізняється** тим, що кожна кільцева зона апарата між сусідніми рядами кавітуючих лопаток ротора є додатковою кільцевою робочою зоною, що конструктивно має тільки повздовжні радіальні перегородки й таким чином розділена по кільцю на міні-камери, причому повздовжні радіальні перегородки в усіх кільцевих робочих камерах апарата розташовані по кільцю однаково, що забезпечує послідовне осьове розташування міні-камер у різних кільцевих робочих камерах і, як наслідок, прямі осьові проходження робочих потоків оброблюваної рідини з вхідної до вихідної кільцевої робочої камери.

Пропонований Винахід відноситься до технологічного обладнання для інтенсивної гідро-

динамічної обробки рідких середовищ з метою їх інтенсивного диспергування, суспензування і гомо-

(19) UA (11) 88975 (13) C2

генізації, деструкції їхніх компонентів у рідкому й твердому стані, введення в них хімічних речовин у будь-якому фазовому стані, а також вакуумного відкачування пари газів і легко киплячих компонентів з робочого середовища. Дане обладнання може бути використано в хімічній, нафтопереробній, енергетичній, харчовій і інших галузях промисловості, а також у технологічних процесах водочищення й одержання дистильованої води.

Відомо, що якість емульсій і суспензій визначається значною мірою їх дисперсністю й гомогенністю. Застосування високо інтенсивної гідродинамічної кавітаційної обробки в режимі жорсткої суперкавітації істотно поліпшує ці показники.

Відомий змішувач рідин за Патентом Російської Федерації RU2060806 C1, B01F7/16, від 27.05.96р. Корпус цього пристрою містить коаксіально розташовані циліндричні порожнини, які з'єднані поміж собою отворами й мають загальний вихід у змішувальну камеру, де також обертається ротор з лопатками. Недоліком цього пристрою є відсутність ефективних кавітуючих елементів та механізму обробки суміші в змішувальній камері, а також механізму штучного вакуумування кавітаційної зони.

Відомий також диспергатор за Авт.св. СРСР SU1183162 A, B01F7/16, від 09.11.83р., в якому використовується насосна крильчатка (або ротор), що має лопатки з клиновим суперкавітуючим профілем. Однак тут практично недосяжні високі швидкості переміщення лопаток щодо навколишньої рідини й тому виникаюча кавітація має низьку щільність енергії. Загальний лобовий опір лопаток великий й при високій швидкості вимагає підвищених енерговитрат. Крім цього, механізм повернення рідини в робочу камеру за допомогою зовнішнього контуру з додатковим насосом не вирішує проблему значного збільшення відсотка однаково оброблених кавітацією часток рідини щодо загальної витрати рідини через апарат (як правило, він менше 30...50%).

Відомий кавітаційний апарат за Патентом України №20438, B01F7/10 від 15.01.2007р., який містить два співвісно розташованих ротори з клиноподібними кавітуючими лопатками. Однак тут має місце недостатньо висока інтенсивність кавітації внаслідок низьких швидкостей кавітуючих елементів відносно оброблюваної рідини, а також недосконала конструктивна схема та механізм рециркуляції рідини у межах апарата.

Внаслідок цього усі частини оброблюваної рідини мають різну ступінь кавітаційної обробки, що відповідно знижує якість продукту.

Найбільш близьким по суті є кавітаційний Змішувач Павловського за Пат. України UA 45639 A, B01F7/16 від 15.04.2002р., що складається з корпусу, у якому співвісно розміщені вал, швидкохідний ротор, що несе на собі радіальні клинові суперкавітуючі лопатки (КСКЛ) з асиметричним профілем робочої частини, вхідна та вихідна розподільні камери, вхідні та вихідні патрубки, а також вхідна та вихідна кільцеві робочі камери, розділені по окружності повздовжніми радіальними перегородками на групи робочих міні-камер. При цьому в кожній із цих груп тільки остання (в напрямку руху

лопаток) міні-камера має вихід у розподільну камеру, у якій оброблена рідина ділиться на дві частини. Її менша частина йде на вихід з апарата, а більша - вертається у вхідну робочу камеру апарата і далі на повторну кавітаційну обробку у двох кільцевих робочих камерах. Однак тут має місце недостатньо досконалий механізм перемішування й повернення робочого середовища в зону кавітаційної обробки, внаслідок чого не гарантується одержання 100% часток рідини з однаковим ступенем кавітаційної обробки. Більше того, для більшості технологічних завдань потрібне застосування більш жорстких режимів (більшої інтенсивності) кавітаційної обробки, ніж ті, які досягаються у відомому пристрої. Також важливим недоліком цього пристрою є відсутність механізму штучного вакуумування кавітаційної зони.

Завданням пропонованого винаходу є усунення недоліків відомих пристроїв та створення роторного кавітаційного апарату нового типу з досконалою схемою багаторазовій внутрішній рециркуляції рідини, який працює в режимі жорсткої суперкавітації в оброблюваній рідині та створює штучне вакуумування кожної кавітаційної зони, що йде слідом за кожною швидкохідною суперкавітуючою лопаткою. Це забезпечує інтенсивну кавітаційну обробку, практично однакову для всіх мікро об'ємів оброблюваної рідини при відносно низьких енерговитратах. Більше того, завдяки штучному вакуумуванню кавітаційної зони забезпечується додаткова технологічна можливість у вигляді вакуумного відкачування пар, газів і легко киплячих компонентів із робочого середовища в процесі його обробки в протоці.

Дане завдання вирішується в такий спосіб. Рідина, що йде через апарат, ділиться на ряд паралельних осьових потоків із міні-камер вхідної кільцевої робочої камери в один за одним розташовані по кільцю міні-камери додаткової кільцевої робочої камери, а потім - вихідної кільцевої робочої камери. Ці потоки послідовно перетинаються рядами швидко рухомих лопаток ротора із суперкавітуючим профілем. Конструкція розподільників вхідної, вихідної та додаткової кільцевих робочих камер, а також насосні ефекти в протилежних осьових напрямках, що створюються за рахунок асиметричної форми суперкавітуючих лопаток і наскрізні отвори у роторі, забезпечують комбінований механізм інтенсивного перемішування рідини й можливість її багаторазового повертання (рециркуляції) та проходження через зони максимальної кавітації.

Значну роль у цьому механізмі обробки рідини має також розміщення суперкавітуючих лопаток на роторі у декілька рядів, які розташовані в паралельних площинах, що перпендикулярні осі обертання ротору. Причому сусідні ряди цих лопаток мають протилежні за знаком результуючі насосні ефекти уздовж осі ротора, до того ж цей ефект лопаток першого (від входу) ряду щодо інших рядів лопаток повинен бути найбільшим, а результуючий ефект усіх рядів лопаток - спрямованим у бік вихідної камери. Кожна кільцева зона між сусідніми рядами лопаток ротору є додатковою кільцевою робочою зоною апарата, що конструктивно має тільки повздовжні радіальні перегородки й

таким чином розділена по кільцю на однакові міні-камери. При цьому повздовжні радіальні перегородки в усіх кільцевих робочих камерах апарату розташовані по кільцю однаково, що забезпечує послідовне осьове розташування міні-камер у різних кільцевих робочих камерах і як наслідок - переважно прямі осьові проходження робочих потоків оброблюваної рідини з вхідної до вихідної кільцевої робочою камери.

Вихідна розподільна камера апарату розділена перегородкою на дві незалежні камери, перша з яких - зворотня камера (В), розташована перед ротором і зв'язана отворами з більшою частиною усіх робочих міні-камер вихідної кільцевої робочої камери для повернення більшої частини рідини скрізь отвори у ротору на повторну кавітаційну обробку.

А друга - вихідна камера (Б), зв'язана отворами тільки з тими міні-камерами, що у кожній групі вихідної кільцевої робочої камери є останніми* в напрямку руху кавітуючих лопаток. Завдяки цьому менша частини рідини, що дійшла до останньої в кожній групі міні-камери та одержала достатньо високу й рівну по інтенсивності кавітаційну обробку, прямує до виходу з апарату.

* Пояснення: Кожна лопатка при своєму кільцевому русі з кожним обертом ротору послідовно перетинає зони усіх груп міні-камер, розташованих по кільцю. Причому цей рух лопаток для кожної групи міні-камер починається у зоні її першої і завершується у її останньої міні-камери, а потім при послідовних обертах ротору багаторазово повторюється.

Введення в зону кавітації штучного вакуумного паро-газовідсосу з головної частини розвитої суперкаверни, яка йде за кожною суперкавітуючою лопаткою, міняє розміри й форму кавітаційної каверни у рідині та збільшує інтенсивність (жорсткість) кавітації за рахунок росту енергії зхлопування (колапсу) кавітаційних бульбашок, а також значно розширює технологічні можливості обладнання. Наприклад, дані апарати можуть ефективно використовуватись як випарники водяних і спиртових розчинів, а також для вилучення легких фракцій з нафти, розчинених газів із різних рідин та інше.

Пропонований винахід пояснюється кресленням, де схематично зображено повздовжній та поперечний перерізи кавітаційного роторного апарата з вакуумуванням (Фіг.1 і Фіг.2) та умовні схеми руху потоків оброблюваної рідини в апараті. Додаткове пояснення дає розгорнення трьох кільцевих робочих камер (Х), (У) та (Z) із діючою схемою основних потоків рідини у зонах кавітаційної обробки K_1 та K_2 (Фіг.3). Поперечний переріз робочої частини кожної лопатки з асиметричним суперкавітуючим профілем та внутрішньою порожниною зображено на Фіг.4.

Кавітаційний апарат складається з корпусу (1), у якому співвісно розташовані швидкісний ротор (3) з двома рядами радіальних суперкавітуючих лопаток (7 і 8) на валу (2), вхідні (11) та вихідні (12) патрубки, газо-вакуумний патрубок (9), вузол торцевого ущільнення (10), вхідний (4), проміжний (5) і вихідний (6) розподільники, які разом з внут-

рішньою циліндричною поверхнею апарату утворюють три кільцеві робочі камери (вхідна - Х, проміжна - У і вихідна Z), а також вхідна (А), вихідна (Б) і зворотна (В) камери, які утворені поверхнями оболонок роздільників (4, 5 і 6), внутрішньою циліндричною поверхнею апарату і ротора (3). Кожна кільцева робоча камера (Х, У чи Z) розділена повздовжніми радіальними перегородками (14_x , 14_y та 14_z), відповідно, на n -ну кількість груп міні-камер, кожна з яких конструктивно об'єднує k -ту кількість окремих міні-камер або: x_{nk} , y_{nk} і z_{nk} .

У кожній групі міні-камер вихідної кільцевої робочої камери (Z) усі міні-камери мають вихідні отвори. Причому більша частина з цих міні-камер ($z_{n1} \dots z_{n(k-1)}$) у кожній групі мають вихідні отвори тільки до зворотньої камери (В), що дозволяє спрямовувати потоки рідини скрізь ротор до вхідної кільцевої робочої камери (Х) на додаткову кавітаційну обробку.

Але у кожній групі вихідної робочої камери (Z) є міні-камера (z_{nk}), що є останньою у напрямку руху лопаток ротора, та має тільки отвір до вихідної камери (Б), що дозволяє спрямовувати потоки рідини скрізь вихідний патрубок назовні апарату.

На відміну від вихідної кільцевої робочої камери (Z) міні-камери у вхідній кільцевій робочій камері (Х) не мають функціональних відмінностей у межах кожної групи. У свою чергу, розподіл на групи міні-камер у додатковій кільцевій робочій камері У - відсутній і всі міні-камери тут - конструктивно однакові.

Осьовий насосний ефект, який роблять клинові радіальні суперкавітуючі лопатки першого ряду, є найбільшим та діє у напрямку вихідної кільцевої робочої камери Z (Фіг.2 і 3). Йому в протилежність і слабкіше діють суперкавітуючі лопатки другого ряду, що забезпечує протилежно спрямовані осьові переміщення потоків рідини в межах міні-камер в усіх трьох кільцевих розподільниках (4, 5 і 6). В разі використання декількох рядів суперкавітуючих лопаток на роторі треба, щоб осьовий насосний ефект лопаток у сусідніх рядах було спрямовано у протилежні боки. В результаті цього діє комбінований механізм інтенсивного перемішування оброблюваної рідини та можливість її багатозонального проходження крізь зону найбільшої кавітації. Результуючий ефект цього механізму спрямовано до виходу з міні-камер кільцевої вихідної робочої камери (Z).

Внаслідок дії підключеного зовні до газовакуумного патрубка вакуумного насоса відкачуються пара та гази із вакуумної порожнини кавітаційної каверни, що йде за кожною суперкавітуючою лопаткою (7 і 8). В першу чергу вони надходять до внутрішньої порожнини кожної суперкавітуючої лопатки, потім через канали зв'язку вони йдуть до внутрішньої порожнини ротору, далі - до виходу через вакуумний патрубок (9) і далі у технологічну схему для конденсації й одержання відповідного продукту.

Кавітаційний роторний апарат з вакуумуванням працює в такий спосіб (Фіг.1, 2 та 3). Оброблювана рідина через вхідні патрубки (11) апарату проходить у вхідну камеру (А), а потім через радіальні отвори у циліндричній оболонці вхідного

розподільника (4) потрапляє до вхідної кільцевої робочої камери (X). Далі паралельні потоки рідини, що течуть послідовно уздовж перегоронок (14) шести міні-камер ($k \times n = 6$) в кожній з трьох кільцевих робочих камер (X, Y і Z), перетинаються швидко рухомими суперкавітуючими лопатками (7 та 8), які створюють крім значного кавітаційного ефекту потужний осьовий насосний ефект. Під його дією більша частина потоків рідини послідовно прямує вздовж 6 міні-камер додаткової кільцевої робочої камери (Y) і потім вздовж 6 міні-камер вихідної кільцевої робочої камери (Z), а незначна частина потоків йде в кільцевому напрямку в обох кільцевих кавітаційних зонах (K_1 та K_2). В результаті цього рідина, що оброблюється, здійснює зворотно-поступальні (переважно) й кільцеві переміщення в трьох (у даному прикладі) кільцевих робочих камерах. При цьому вона багаторазово проходить через кільцеві кавітаційні зони (K_1 та K_2) й відповідно піддається багаторазовій кавітаційній обробці.

Більша частина рідини, що одержала недостатньо велику кратність кавітаційної обробки та не дійшла до останньої (третьої) міні-камери кожної з 2 груп міні-камер вихідної кільцевої робочої камери (Z), під дією насосного ефекту наскрізних отворів у роторі та за допомогою отворів у 4-х міні-камер (Z_{11} , Z_{12} , Z_{21} та Z_{22}) цієї робочої камери прямує в зворотну камеру (B) й далі крізь отвори у ротору йде у вхідну кільцеву робочу камеру (X) на додаткову кавітаційну обробку.

Але менша по об'єму частина рідини, що пройшла найбільшу кількість разів скрізь зони кавітації (K_1 та K_2) та дійшла до останньої (третьої) міні-камери кожної з 2 груп міні-камер вихідної кільцевої робочої камери (Z), прямує на вихід з апарату крізь отвори в обох міні-камерах (Z_{13} та Z_{23}) цієї робочої камери, кожна з яких є останньою в обох групах міні-камер в напрямку руху лопаток ротора.

Внаслідок створення за кожною суперкавітуючою лопаткою вакуумної порожнини (у розвиненій кавітаційній каверні) вона заповнюється паром та газом з оброблюваної рідини (Фіг.4). Під дією створюваного зовнішнім вакуумним насосом розрідження ці пара, та газ відкачуються через хвостову частину кожної лопатки (8 чи 7), внутрішню порожнину ротора (3), канали зв'язку, торцеве ущільнення (10) і вихідний газо-вакуумний патрубок (9) до зовнішньої технологічної схеми. Для того, щоб ефект вакуумного відкачування пару газів з робочого середовища, що обробляється в протоці, був достатній, необхідно забезпечити достатні поперечні перетини усіх вакуумно-газових каналів. Із цієї метою діаметр ($\varnothing d = c$) каналу зв'язку порожнини кожної суперкавітуючої лопатки з внутрішньою порожниною ротора повинен бути не меншим 0,3 товщини (b) цієї лопатки або $\varnothing d \geq 0,3b$ (Фіг.3).

Конструктивна схема Кавітаційного апарату з вакуумуванням характеризується компактністю і наявністю значної кількості міні-камер у кільцевих робочих камерах, кожна з яких має об'єм у десятки разів менший загального об'єму апарату. Та він, у свою чергу, також незначний і не перевищує 0,5% від об'єму оброблюваної рідини, яка проходить

крізь апарату за годину. Ця особливість забезпечує велику кількість повних циклів додаткової кавітаційної обробки рідини у апараті в протоці (не менш 30-50 разів за одне проходження через апарат).

Також важливо, що лобовий опір лопаток з суперкавітуючим профілем є дуже малим і енергетичні витрати на їх рух у рідині з великою швидкістю також відносно невеликі. Більш того, рідина у кавітаційній зоні ротора не затягується услід за суперкавітуючими лопатками, що рухаються крізь отвори великої кількості відбиваючих радіальних поздовжніх перегородок, і це не створює загальний кільцевий потік. Завдяки цьому легко досягаються реально високі швидкості руху лопаток відносно оброблюваної рідини (близько 30-60 м/с) - головний фактор виникнення кавітації великої інтенсивності. Вакуумне відкачування з порожнини розвитої кавітаційної каверни пари та газів, що йде услід кожної суперкавітуючої лопатки ротору, ще значно більше підіймає ефективність кавітаційної обробки рідини.

Таким чином у кожній кільцевій кавітаційній зоні апарату має місце переважно суперкавітація з високою питомою густиною енергії і, як наслідок, високоефективне диспергування та інтенсивна кавітаційна обробка практично усіх частин рідини, яка йде крізь апарат. Поряд з цим виникає також інтенсивне перемішування і гомогенізація рідкої суміші у межах всього робочого об'єму апарату. Досконалий механізм перемішування й повернення робочого середовища в зону кавітаційної обробки гарантує одержання 100% часток рідини з однаковим ступенем інтенсивної кавітаційної обробки.

Достовірність високих техніко-економічних показників даного Кавітаційного апарату з вакуумуванням підтверджена при випробуванні його лабораторного та декількох дослідних промислових зразків з потужністю двигунів 15, 22 чи 30 кВт і продуктивністю 2, 5 та 12 м³/год оброблюваної рідини. Кожен з них мав швидкісний ротор (2900 об/хвил) із одним чи двома рядами суперкавітуючих лопаток, що рухаються зі швидкістю 35...45 м/с відносно оброблюваної рідкої суміші, яка йшла скрізь апарат (обробка рідини - в протоці). В результаті були отримані стійкі до зберігання та ефективні для використання високоякісні водо-мазутні емульсії (вміст води 8-25%), водо-олійні емульсії (вміст олії 5-15%), бензиново-спиртові (5%) суміші, біо дизель, водно-емульсійні фарби та інші. Їх дисперсність не перевищувала 5-10 мкм.

Обробка коров'ячого молока зменшила розмір жирових часток з 3-5 мкм до 0,3-0,7 мкм при значному підвищенні (у 5-10 разів) тривалості зберігання в якісному стані (анти бактеріцидні можливості кавітаційного впливу).

Обробка водної суспензії з черепашником грубого помелу дозволила успішно руйнувати частки (50-250 мкм у вихідному стані) твердої речовини усіх розмірів та отримати продукт з дисперсністю частинок на рівні декілька мікрон.

Важливий результат було отримано при кавітаційно вакуумній обробці різних рідин в протоці.

Так при проходженні крізь апарат промислової нафти поряд з її інтенсивною обробкою (а отже й придбання нею нових якостей, наприклад, зниження в'язкості та ефективний підігрів) були отримані з вакуумного патрубку легкі фракції нафтопродуктів з температурою кипіння 68-75°C. Подібний позитивний результат за допомогою даного пристрою отримано також при обробці забрудненою нафтою технологічної води, де нафти було до 30%.

При проходженні скрізь апарат солоної та брудної води була одержана якісна дистильована

вода з продуктивністю процесу до 40л/год. При цьому затрати електроенергії не перевищували 0,8кВт-год на 1л дистилляту, а величина розрідження у вакуумній зоні кавітаційної камери досягла 0,95атм (тому вода кипіла при майже 42°C).

При проходженні крізь апарат технологічних (забруднених) водних розчинів етилового спирту (до 25%) було отримано чистий концентрований спирт. Аналогічний успішний результат отримано при витягуванні метанолу (шкідлива речовина) з технологічно забрудненої води, в якій вхідний вміст метанолу був приблизно 20%.



