



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36048 (13) A

(51) 6 B01F1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ РОЗЧИНЕННЯ ГАЗІВ У РІДИНІ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(21) 99105864

(22) 27.10.1999

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Розіна Олена Юріївна

(73) ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

(57) 1. Спосіб розчинення газів у рідині, який полягає у тому, що у рідині збуджують ультразвукові коливання, і газ вводять у рідину через капіляр, який відрізняється тим, що ультразвукові коливання вмикають в момент, коли меніск розташований на перерізі капіляра, на час не більший ніж декілька мілісекунд, після вимкнення ультразвукових коливань підвищують тиск у капілярній системі

щоб встановити меніск на перерізі капіляра, і процеси ці повторюють періодично.

2. Пристрій для розчинення газів у рідині, який має капіляр, розташований в рідині і з'єднаний з компресором, манометром та резервуаром з газом, а також магнітострикційний або п'єзоелектричний перетворювач, з'єднаний з генератором та підсилювачем, який відрізняється тим, що в ланцюг випромінювача введено електронний ключ з управляючим блоком, які задають режими вмикання та вимикання ультразвукових коливань, а в капілярній системі додатково присутній дросельний вентиль, який регулює тиск у капілярній системі, змінює швидкість переміщення меніска до перерізу капіляра і визначає швидкість розчинення газу в рідині.

Винахід належить до галузі ультразвукових технологій та їх застосування у різних технологічних процесах, які потребують швидкого та дозованого розчинення газів у рідині. Це стосується, наприклад, насичення води киснем для створення умов життєдіяльності живих організмів; введення газів у рідину як хімічних реагентів, або як каталізаторів хімічних реакцій, створення технічної води із спеціальними властивостями, зокрема з передбачуваною кавітаційною міцністю.

На сучасному рівні техніки відомі способи обробки рідини газами з метою їх фізичного розчинення, або створення хімічних сполук. Ці способи відрізняються по методу з'єднання: рідини і газу, а саме, газ вводять у рідину барботуванням (А.С. СРСР №634772 по класу B01 F 1/00 опубл. 30.11.78 Бюл. №44), або через вільну поверхню рідини, використовуючи газорідний інжектор, наприклад водоструменевий насос (А.С. СРСР №1331553 по класу B01J 19/18 опубл. 23.08.87. Бюл. №31). В обох способах створюють потоки рідини та їх турбулізують для інтенсифікації процесу розчинення, але все одно тільки мала частина газу, введенного в рідину, розчиняється, а більша його частина викидається з реакційної камери. На сучасному рівні техніки відомо, що для інтенсифікації процесу розчинення в рідині збуджують ульт-

развукові коливання (M.L. Cadwell and H.S. Fogler. Ultrasonic gas absorption and streaming observations. Chem. Eng. Progr. Symposium Series. 1971, v. 67, №109, p. 125). Суттєвими недоліками такого способу є, по-перше, необхідність створювати постійний підвищений тиск у газі над поверхнею рідини порядку 2 атмосфер, і, як наслідок, необхідність герметизації реакційної камери. По-друге, у такому способі немає можливості повністю розчинити підведений газ та оперативно оцінити кількість розчиненого газу в рідині, так само, як і у попередніх випадках. Частково ці проблеми вирішені у способі, коли газ подають через трубку, один кінець якої занурений у рідину, а в рідині збуджені ультразвукові коливання (М.А. Маргулис. Основы звукохимии. - М.: Высшая школа. 1984. - С. 10). В трубці незначно підвищують тиск, щоб відбувся відрив і спливання пузирів, оскільки в рідині збуджені ультразвукові коливання. Під час спливання пузирі пульсують і тому підвищується швидкість їх розчинення. У такий спосіб система не потребує герметизації, але залишається проблема дозованого і повного розчинення газів, введених в рідину.

У способі, який прийнято нами за прототип (Е.Ю. Розина, Ю.П. Розин. Растворение газа в жидкости при различных режимах ультразвукового

(19) UA (11) 36048 (13) A

воздействия. Журнал физический химии, 1995, том 69, №10, С. 1872), замість трубки довільного діаметра в рідину вводять капіляр, в рідині збуджують ультразвукові коливання, в капілярній системі підвищують тиск, щоб перемістити меніск до перерізу капіляра, коливання меніска спричиняють формуванню пухирця під перерізом капіляра, який стабілізований там дією звукокапілярного тиску, і протягом деякого часу розчиняється там повністю. Отже, застосування капіляра замість трубки довільного діаметра дозволяє здійснити повне локальне розчинення газів в рідині без герметизації всієї системи. Але відомо, що застосування ультразвукових технологій достатньо енергоємний процес, отже завжди залишається актуальною технічна задача зменшення енергоємності цього процесу. Крім того, у цьому способі підвищення швидкості капілярного розчинення регулюється підвищенням амплітуди ультразвукових коливань. Це не тільки веде до зростання енергоємності процесу розчинення, але й зумовлює існування верхньої межі для швидкості розчинення. Не можна підвищувати амплітуду звукових коливань вище порога кавітації, щоб не збуджувати кавітаційний процес під перерізом капіляра, адже під час існування кавітаційного процесу формується потік рідини, спрямований в канал капіляра, і процес розчинення припиняється.

Задача, на вирішення якої спрямовано запропонований винахід, полягає у підвищенні швидкості капілярного розчинення газу та одночасного зменшення енергоємності цього процесу.

Ця задача вирішується завдяки тому, що ультразвукові коливання збуджують в рідині тільки у момент, коли на перерізі капіляра розташований меніск. Коливання тривають у рідині дуже короткий час, 1-2 мілісекунди. За цей час порція газу розчиняється у рідині, і рідина заповнює капіляр на глибину його діаметра. Щоб перемістити меніск знову до перерізу капіляра у капілярній системі підвищують тиск і подають нову порцію газу. У цей інтервал часу ультразвукові коливання вимкнені. Якщо меніск з'явився на перерізі капіляра, ультразвукові коливання збуджуються знову. Цей процес повторюють до розчинення необхідної кількості газу в рідині.

Фізичні засади запропонованого способу розчинення газів у рідині полягають в проведених авторами експериментальних дослідженнях процесу капілярного розчинення при імпульсному збудженні ультразвукових коливань у рідині. Експериментально встановлено, що

- при імпульсному збудженні ультразвукових коливань принципово змінюється механізм розчинення: поверхня меніска інтенсивно руйнується з утворенням пульсуючих мікропухирків газу, тобто значно збільшується поверхня розділу рідина-газ;

- цей процес диспергування газу відбувається інтенсивно тільки протягом перших 1-2 мілісекунд, отже недоцільно безперервно підтримувати ультразвукові коливання в рідині;

- короткочасне збудження ультразвукових коливань дозволяє збільшити амплітуду ультразвукових коливань до величини, яка перевищує поріг кавітації, оскільки за час 1-2 мілісекунд кавітаційний процес розвинутий під перерізом капіляра не може.

Відомі пристрої для розчинення газів в рідині, коли газ вводять в рідину через поверхню розділу, і щоб прискорити процес розчинення в рідині збуджують ультразвукові коливання. (M.L. Cadwell and H.S. Fogler. Ultrasonic gas absorption and streaming observations. Chem. Eng. Progr. Symposium Series. 1971, v. 67, №109, p. 125, M.A. Маргулис. Основы звукохимии. – М.: Высшая школа. 1984.- С. 10). Основним недоліком в обох конструкціях є неможливість повного та дозованого розчинення підведеного газу. В першому випадку це пов'язано з тим, що реакційна камера представляє собою герметичну посудину, в донну частину якої вмонтовано ультразвуковий перетворювач. Рідина не повністю заповнює об'єм посудини, і над її поверхнею знаходиться газ під тиском до 2 Атм. Кількість газу, який знаходиться над поверхнею рідини, значно перебільшує кількість газу, який безпосередньо розчиняється у рідині. Отже у цьому випадку немає можливості підвести дозовану кількість газу та повністю її розчинити. В другій конструкції реакційна камера складається з ультразвукової ванни, в донній частині якої вмонтовано ультразвуковий перетворювач. Через дистильовану воду ультразвукові коливання передають в тонкодонну посудину, яка заповнена реагуючою рідиною. В рідину занурюють трубку для розчинення у рідині необхідного газу. Під дією підвищеного тиску на перерізі трубки формуються пухирці газу, які повільно спливають і під час спливання частково розчиняються. Завдяки ультразвуковим коливанням процес розчинення прискорюється, але повного розчинення пухирців, які спливають, ніколи не відбувається. Отже така конструкція також не дозволяє здійснити дозоване розчинення газу в рідині.

Проблема повного і дозованого розчинення газу в рідині вирішена в пристрої, який прийнято нами за прототип (Е.Ю. Розина, Ю.П. Розин. Растворение газа в жидкости при различных режимах ультразвукового воздействия. Журнал физический химии, 1995, том 69, №10, С.1872). Пристрій включає ультразвукову ванну, в донній частині якої вмонтовано ультразвуковий перетворювач, який електрично зв'язаний з генератором та підсилювачем. Над поверхнею перетворювача розташований капіляр, нижній переріз якого занурено в рідину. Верхня частина капіляра з'єднана з компресором, який задає регульований постійний тиск в капілярній системі. У такому пристрої вирішена проблема дозованого розчинення: пухирці, які утворились під перерізом капіляру, стабілізовані там звукокапілярним тиском і існують там до повного розчинення.

Процес формування пухирця та його розчинення носить періодичний характер. Але, співвідношення часу розчинення та часу інших супроводжуваних процесів (формування пухирця, переміщення меніска і таке інше) не оптимальне. Крім того, у цьому пристрої необхідно, щоб ультразвукові коливання підтримувались в рідині безперервно, оскільки саме локалізація звукокапілярним тиском пухирця під зрізом капіляра забезпечує можливість розчинення дозованої кількості газу. Отже, енергія ультразвукових коливань у цьому пристрої використовується неефективно. Інша проблема полягає у тому, що швидкість розчинення регулюється амплітудою ультразвукових коливань, і зростання

амплітуди стримується можливістю виникнення кавітаційного процесу під зрізом капіляра.

Об'єктом винаходу є пристрій, в якому вирішується технічна задача забезпечити підвищення швидкості розчинення газу в рідині з одночасним зменшенням енергоємності конструкції. Для цього в ланцюг випромінювача введено електронний ключ з управляючим блоком, які задають режими вмикання та вимикання ультразвукових коливань, а в капілярній системі додатково присутній дросельний вентиль, який регулює тиск у капілярній системі. Цей пристрій схематично зображений на фіг. 1. Рідина заповнює ультразвукову ванну 1, в донній частині якої розташовано ультразвуковий перетворювач 2, електрично зв'язаний через підсилювач 3 з генератором 4 синусоїдальних коливань ультразвукової частоти. Цей ланцюг має електронний ключ 5, який вмикає і вимикає ультразвукові коливання в рідині за режимом, який задає генератор П-імпульсів 6. В рідині над поверхнею перетворювача розташовано капіляр 7, який з'єднаний з компресором 8 через дросельючий елемент 9, який дозволяє регулювати тиск у капілярній системі. Для контролю капілярна система може включати витратомір 10 та манометр 11.

Підготовка до роботи та робота пристрою можуть бути здійснені таким чином. Генератором 4 та підсилювачем 3 задають амплітуду ультразвукових коливань (можна трохи більшу, ніж поріг кавітації). Генератором 6 задають послідовність П-імпульсів. Їх тривалість складає  $\tau_1 = 2 \cdot 10^{-3}$  с (рекомендована на основі наших досліджень), а інтервал між двома послідовними імпульсами  $\tau_2$  змінюють для того, щоб встановити потрібну швидкість розчинення. Сигнал з генератора 6 подають на електронний ключ 5, який на час  $\tau_1$  вмикає ультразвукові коливання, і на час  $\tau_2$  розмикає ланцюг перетворювача, протягом цього часу коливання відсутні. Вмикаючи компресор 8 через регулюючий дросельний елемент 9, підвищують тиск у капілярній системі. Під дією цього тиску меніск переміщується до перерізу капіляра. Регулюючим елементом 9 встановлюють такий тиск, щоб швидкість меніска не перевищувала відношення діаметра

капіляра до інтервалу  $\tau_2$ . У цьому випадку один з імпульсів буде подано в той момент, коли меніск заглиблений у капіляр не більше, ніж на його діаметр. Відбудеться перший неповний цикл розчинення і меніск переміститься на глибину діаметра капіляра. За час  $\tau_2$  під дією статичного тиску меніск переміститься на переріз капіляра, і наступний П-імпульс спричинить диспергування газу з наступним розчиненням мікропузирків. Процес диспергування зумовить знову переміщення меніска на глибину діаметра капіляра, і постійним тиском меніск повернеться до перерізу капіляра за час  $\tau^2$ . Ці процеси періодично повторюють, поки необхідна кількість газу не буде розчинена. На фіг. 2 наведено послідовність П-імпульсів, які модулюють ультразвукові коливання в рідині, та положення меніска при оптимальному співвідношенні інтервалу  $\tau_2$  і постійного тиску в капілярній системі.

Таким чином, швидкість розчинення можна регулювати, змінюючи співвідношення між інтервалами часу  $\tau_1$  і  $\tau_2$ , а енергоємність процесу розчинення виявляється значно меншою, ніж у відомих аналогах та прототипі. Порівняємо на прикладі. У пристрої, який вибрано нами за прототип, швидкість розчинення повітря у воді склала  $(0,17-0,67) \text{ мм}^3/\text{с}$ . Ультразвукові коливання збуджувались в рідині безперервно. У запропонованому пристрої за час 2 мс завдяки руйнуванню меніска через капіляр діаметром 1,4 мм введена в рідину кількість газу склала  $42 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$ , і швидкість розчинення за цей проміжок часу склала  $21 \text{ мм}^3/\text{с}$ . Таким чином, щоб забезпечити таку швидкість розчинення як у прототипі, можна відключати ультразвукові коливання на час 60 мс при швидкості розчинення  $0,67 \text{ мм}^3/\text{с}$ , і на час 250 мс при швидкості розчинення  $0,17 \text{ мм}^3/\text{с}$ . Очевидно, що енергоємність такого періодичного процесу в десятки разів менша, ніж у разі безперервного озвучення рідини. Зменшуючи інтервал  $\tau_2$ , можна забезпечити зростання швидкості розчинення, залишаючи енергоємність процесу значно меншою, ніж у способі і у пристрої з безперервним озвученням.

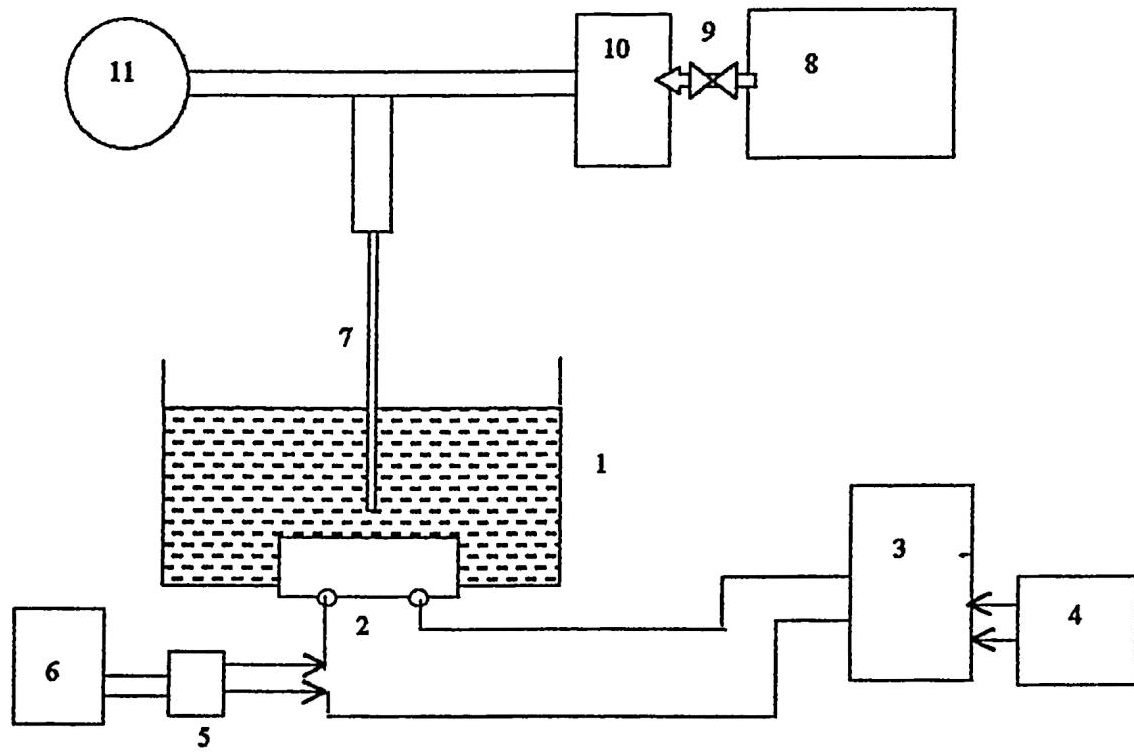


Fig. 1

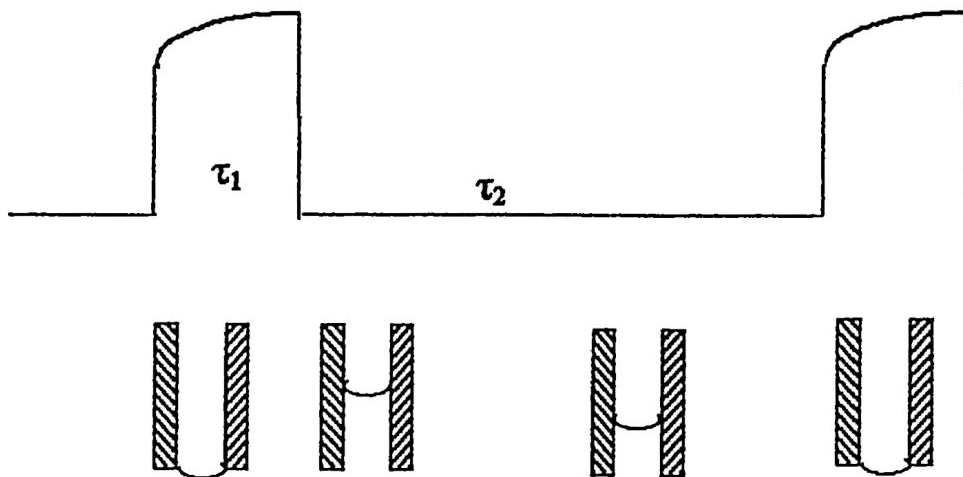


Fig. 2

---

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60х84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

---

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22

---