

УДК 532.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОТОЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ ЗМІШУВАЧІВ

Макаренко А.А., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.10>

Проведений огляд конструкцій проточних кавітаційних гідродинамічних змішувачів та аналіз ефективності їх дії при обробці складних гетерогенних дисперсних систем, що характеризуються різними фізичними і термодинамічними властивостями. В залежності від типу апарату і конструкції робочих органів пропонуються їх використання у різних галузях промисловості.

Проведенный обзор конструкций проточных кавитационных гидродинамических смесителей и анализ эффективности их действия при обработке сложных гетерогенных дисперсных систем, характеризующихся разными физическими и термодинамическими свойствами. В зависимости от типа аппарата и конструкции рабочих органов предлагаются их использования в различных отраслях промышленности.

An overview of the structures of flow cavitation hydrodynamic mixers and an analysis of their efficiency in the processing of complex heterogeneous disperse systems characterized by different physical and thermodynamic was conducted. Depending on the type of apparatus and the design of the working bodies, they are offered for use in various industries

Бібл. 15, рис. 2.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, інтенсифікація тепломасообміну, сопло Вентурі, проточний кавітаційний змішувач, конфузор, дифузор.

Вступ

Явища кавітації використовуються у різних галузях промисловості для інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів при обробленні рідких гетерогенних систем і створенні сучасних енергозберігаючих технологій. Апарати, дія яких заснована на використанні гідродинамічної кавітації представляють собою ефективне обладнання, що прискорює технологічні процеси в рідких середовищах при цьому значно знижуючи питомі витрати енергії, що є **актуальним**.

На сьогодні кавітаційні технології використовуються у енергетиці, машинобудуванні, хімічній і харчовій, целюлозно-паперовій, будівельній та ін. галузях промисловості.

Метою даної статті є дослідження ефективності застосування різних конструкцій проточних кавітаційних змішувачів для обробки рідких гетерогенних дисперсних систем та визначення основних галузей промисловості для їх використання.

Кавітаційні апарати можуть бути ефективними при виконанні таких технологічних процесів, як: змішування рідин, які важко змішуються, розчинення твердих речовин в рідині, отримання стійких багатокомпонентних високодисперсних емульсій без використання стабілізаторів, диспергування суспензій в системах рідин в рідині, прискорення екстракції і дифузії та багатьох інших. Гідродинамічна кавітація може бути використана в технологіях при виробництві мастильних матеріалів, паливних матеріалів, лаків і фарб, будівельних матеріалів, мийних засобів та ін. [1, 2]

В енергетиці кавітацію застосовують як спосіб от-

римання дешевої теплової енергії, за рахунок виділення енергії при зхлопуванні каверн. Це дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання, збільшити теплову продуктивність, знизити або зовсім виключити застосування кислот, лугів та інших хімічних реагентів, які використовуються, наприклад, для зниження величини електричної напруги при плазмоелектролітичному процесі. [1, 3].

Застосування кавітаційних технологій при отриманні паливних сумішей дозволяє знизити собівартість одержання теплової і електроенергії, зменшити витрати матеріалів і кількість шкідливих викидів в атмосферу. Перспективним напрямком в енергетиці є використання високодисперсних паливних систем [1, 2]. Кавітаційний вплив на мазут дозволяє знизити його в'язкість на 20...30% і збільшити температуру спалаху на 5...10%. Після кавітаційної обробки в мазуті утворюється до 35 % дизельного палива (температура відгону 250...290 °С). Використання якісних вугле-мазутних суспензій дозволяє зменшити витрати мазуту на 20...25 %. Спалювання вугле-мазутних і водо-вугільних суспензій дозволяє знизити шкідливі викиди, утилізувати вугільний шлак, знизити собівартість одержання теплової та електричної енергії. При спалюванні водо-мазутних емульсій отримують суттєвий економічний ефект, підвищення ККД на 3...5 % і зниження емісії забруднюючих речовин (СО, сажі, оксидів азоту, бензопірену та інших канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів) в атмосферу. Найбільший економічний ефект і одночасне зниження газових викидів забезпечує додавання в паливо 10...15% води, а найбільший еко-

логічний ефект в частині утилізації забруднених органічними продуктами вод реалізується при рівні водної фази до 50 %. Таким чином забезпечується можливість спалювання некондиційних високов'язких і обводнених мазутів, а в якості водної фази з'являється можливість використання забруднених промислових стоків підприємств. [2, 3, 4].

Експериментальні дослідження показали, що нафта, оброблена в кавітаційному генераторі, починає переганятися під атмосферним тиском при температурі нижче на 10...15 °С, ніж необроблена нафта, 50% необробленої нафти переганяється при температурі 328 °С, а 50% обробленої нафти переганяється при температурі 265°С під атмосферним тиском, що нижче на 63 °С [4, 5].

Кавітаційний вплив в машинобудівній промисловості дозволяє швидко і ефективно очищувати елементи деталей, агрегатів і систем мобільних машин різного призначення від забруднення, яке здебільшого представляє собою суміші твердих дрібних частинок, продуктів корозії і окислів із полімеризованими залишками масел, жирів олів, нагару тощо. Проведені дослідження показали, що запропонований спосіб очищення має високу ефективність, простоту, низьку собівартість [5, 6].

Ефективним є використання кавітаційних технологій для отримання наноструктур і наноматеріалів. За рахунок впливу на матеріал ультразвукової або гідродинамічної кавітації досягається значне збільшення продуктивності процесу їх отримання і зниження питомих витрат енергії на одиницю продукції [1, 2, 7].

В хімічній промисловості кавітаційний вплив допомагає підвищити ефективність окисно-відновних реакцій в рідині використовуючи енергію каверн, які утворюються при кавітації для підсилення потужності електричного розряду [2, 5].

На даний час кавітаційні ефекти широко використовуються як спосіб для дезінфекції, стерилізації та аерації води та водних систем. Кавітаційний вплив дозволяє провести якісне знезараження природних і стічних вод без використання хімічних реагентів і широко застосовується в системах господарського, питного та промислового водопостачання, а також для знезараження каналізаційних стоків переробних підприємств [7, 8].

В харчовій промисловості кавітаційний вплив на рідину дозволяє отримати високоякісні харчові і біологічно активні розчини, екстракти, емульсії, суспензії, наприклад при виробництві молочних продуктів, майонезів і соусів, фруктових і овочевих пюре, паст і соків [1, 5].

При виробництві молока кавітаційний вплив підвищує ефективність його гомогенізації і пастеризації, зменшує кількість мікроорганізмів. Така обробка мо-

лока при температурі 70 °С дозволяє знизити загальну кількість мікроорганізмів в 103...105 разів. При цьому відбувається повне знищення вегетативних форм дріжджів і плісняви, а також патогенних мікроорганізмів групи кишкової палички і нейтралізація фосфатази. Таким чином, така обробка дозволяє збільшити терміни зберігання молока при температурі 9...12 °С в нестерильній упаковці до не менше 5 днів без ознак його скисання. Також кавітація використовується для підготовки води, яка використовується при відновленні молока з сухого знежиреного залишку [9].

Кавітаційний вплив ефективно використовувати для інтенсифікації процесів розчинення і екстрагування біологічно активних речовин, наприклад, пектину, каротину, таніну і інших цінних речовин. Кавітація змінює властивості водних розчинів і гідрогелів полісахаридів: крохмалю, амілопектину, альгінату натрію, хітозану і ін. Внаслідок її використання збільшується вихід сухих речовин в екстрактах і досягається однорідність фракційного молекулярного складу отримуваних розчинів і екстрактів із сировини рослинного і тваринного походження [3, 5]. Застосування кавітаційних технологій дозволяє підвищити якість м'яких лікарських форм суспензійного і емульсійного типів [10].

Різні конструкції кавітаційних апаратів дозволяють отримати різні форми кавітації, різні способи її отримання або їх поєднання в залежності від призначення і галузі використання.

Принцип роботи проточних кавітаційних апаратів заснований на нестаціонарності потоків рідини і на активних гідродинамічних ефектах впливу на оброблювані речовини. Даний тип апаратів призначений для структурних перетворень рідини на мікро- і нанорівні з метою зміни її фізико-хімічних властивостей, інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів. Обробка рідини в кавітаційних апаратах здійснюється за рахунок локального імпульсного багатofакторного впливу: вихроутворення, мікромасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних гідроакустичних ефектів. Кавітаційний апарат здійснює перетворення енергії низької концентрації в енергію високої локальної концентрації в нестійких точках структури речовини. Просторова і тимчасова концентрація енергії дозволяє отримати велику потужність імпульсного енергетичного впливу, зробити енергетичне накачування, вивільнити внутрішню енергію речовини, ініціювати численні квантові, каталітичні, ланцюгові, мимовільні, лавиноподібні і інші енергонасичені процеси [2].

Особливістю апаратів є невеликі габарити при високій продуктивності. Відмінні риси даного типу обладнання – це забезпечення безперервності хіміко-технологічного процесу і його висока інтенсифікація, можливість реалізації значних величин деформацій

і напружень зсуву, інтенсивний гідродинамічний і кавітаційний вплив, що обумовлює високу якість змішування компонентів, інтенсифікацію дифузійних процесів, простоту і надійність апаратурного оформлення. Економічна ефективність застосування гідродинамічних кавітаційних апаратів обумовлена низькою металоємністю обладнання, невисокими затратами на обслуговування і експлуатацію в порівнянні з ємнісними апаратами з мішалками [1, 2].

Форма виконання, конструкція апарату і величина тиску в робочій камері впливають на ефекти кавітації і, таким чином, на ефективність обробки. Основною великої кількості відомих проточних кавітаційних змішувачів (ПКЗ) є сопла Вентурі. Виникнення явища кавітації досягається за рахунок створення різкого розширення або звуження каналу (рис. 1), за рахунок зміни розмірів і конфігурацій отворів, що викликають потужні кавітаційні ефекти. Ці ефекти впливають на дисперсну фазу рідини і сприяють інтенсивному подрібненню і гомогенізації. Форма обтічних або погано обтічних елементів змушує потоки рідин рухатися з різними швидкостями, зростаючими в міру віддалення від поверхні цих елементів, що призводить до відносного руху шарів, вихреутворення і кавітації [1, 2, 5].

Такі апарати мають значну економічність. Їх робота при певних умовах протікає в нестационарному режимі, що підвищує ефективність диспергування і емульгування.

Профілі виконання конфузора і дифузора можуть бути різними. Для отримання найменшого тиску на

виході з сопла велике значення надається профілю і куту розкриття дифузора. Основні різновиди профілів трубки Вентурі, що найчастіше використовуюються наведені на рис.1.

Профіль виконання сопла (рис.1 а) відповідає класичному профілю трубки Вентурі. Він дозволяє змінювати кут розкриття дифузора. Профіль виконання сопла (рис.1 б) виконаний із дифузorzом у вигляді напівсфери. Сопло з профілем (рис.1 в) є спрощеним варіантом профілю (рис.1 б).

На сьогодні описано значну кількість модифікацій проточних кавітаційних змішувачів, які в основному відрізняються формою кавітатора. В основі великої кількості відомих в даний час апаратів лежить загальний принцип конструкції пристрою, який описаний в авторському свідоцтві СРСР №294897. Даний змішувач був розроблений і випробуваний в 1971 р., а потім запатентований в США, Великобританії, Франції, Японії та інших країнах Європи [2].

Варіанти виконання принципової схеми апарату зображена на рис. 2. В найпростішому вигляді він представляє собою послідовно з'єднані між собою конфузори 1, проточну камеру 2 і дифузори 3. В проточній камері 2, яка має прямокутну форму перерізу, перпендикулярно до її осі встановлено кавітатор 4 (рис. 2. а), який створює місцеве звуження каналу проточної камери. В більш складному виконанні (рис.2 б) можливе використання декілька кавітаторів, які встановлені в один або більше рядів [2, 4].

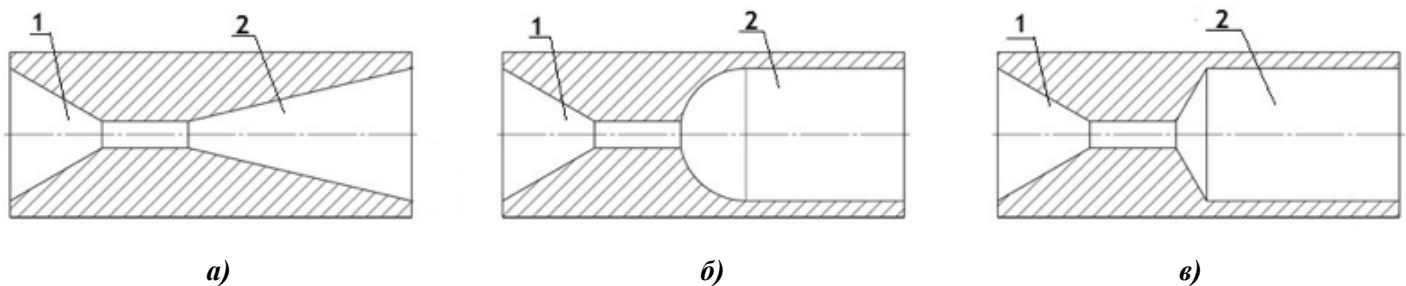


Рис. 1. Варіанти виконання ПКЗ з дифузорами і конфузорами: 1 – звуження каналу; 2 – розширення каналу.

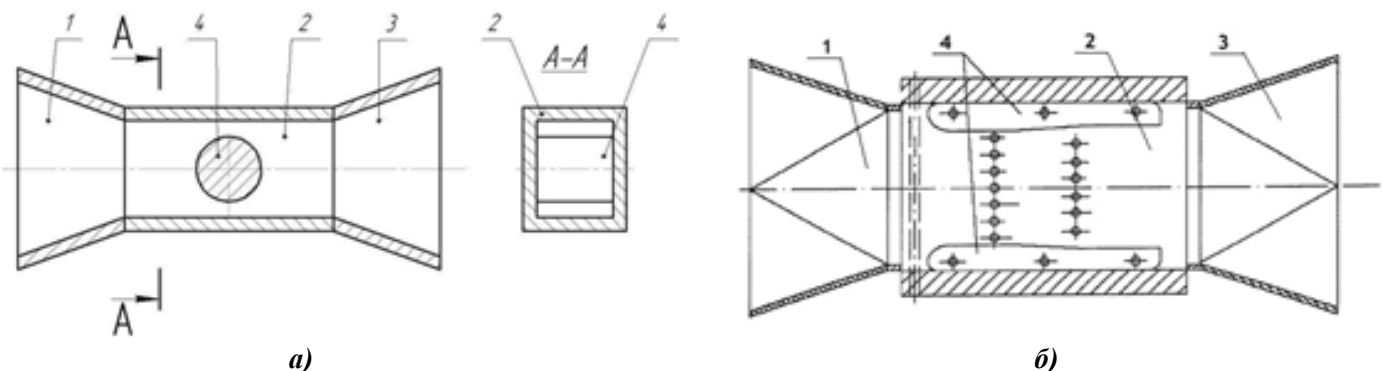


Рис. 2. Варіанти виконання проточного кавітаційного змішувача з встановленим кавітатором: 1 – конфузори; 2 – проточна камера; 3 – дифузори; 4 – кавітатор.

Змішувач працює наступним чином. Потік оброблюваних компонентів подається додатковим насосом зі швидкістю 1...3 м/с у конфузори. В конфузори, за рахунок стиснення, швидкість потоку зростає до 10...20 м/с і надходить в проточну камеру 2, обтікаючи кавітатор 4. За кавітатором, в результаті місцевого зниження тиску, утворюються кавітаційні каверни і бульбашки, які зносяться в зону підвищеного тиску, де зхлопуються, здійснюючи динамічний вплив на оброблювальне середовище. В дифузори 3 швидкість потоку знижується до необхідної по умовам транспортування.

Поширеними елементами для створення нестійкості в потоці рідини в конструкціях статичних змішувачів є гвинтові елементи або тангенціальне введення потоку рідини в робочу камеру (рис. 3). Відповідно до закону збереження енергії, рідина прагне пройти робочу камеру за найкоротшим шляхом. Цьому перешкоджають гвинтові напрямні, що призводить до підвищення зсувних зусиль в потоці, зриву вихорів при обтіканні верхній частині потоку рідини спіральної навивки і її турбулізації. Гвинтові елементи сприяють утворенню вихорів всього потоку рідини, що протікає через змішувач і підсилюють кавітаційні і вихрові ефекти (рис. 3 а) [3].

Для здійснення процесу гомогенізації компонент, що змішуються, проходить по трубі з гвинтовими елементами. Потік рідини, огинаючи нерухомі елементи, безперервно поділяється на кілька потоків, збільшуючи тим самим поверхню розподілу компонентів і їх дисперсність. Потрібна ступінь гомогенізації суміші регу-

люється числом елементів (рис. 3 б).

Ефективними елементами статичних змішувачів є перегородки з отвором (отворами) (рис. 4) [8]. Перегородка може бути виконана у формі диска, в якому є кілька каналів для проходження рідини. Канали рівномірно розподілені на робочій поверхні диска і можуть мати різну форму (рис. 4 а), різний розмір і різні кути розкриття (рис. 4 б). При проходженні рідини через отвори в диску в потоці рідини виникають вихроутворення, відривні течії і кавітація. Дані ефекти впливають на частки рідини і сприяють їх інтенсивному подрібненню і гомогенізації, зриву прикордонних шарів на частинках.

Тенденції розвитку конструкцій кавітаційних пристроїв характеризуються прагненням підвищити їх продуктивність, ефективність і інтенсивність диспергування, знизити питомі енерговитрати на обробку. Так для регулювання інтенсивності кавітаційного поля деякі змішувачі оснащені вакуумною системою. В інших випадках, для створення поля з підвищеною інтенсивністю, передбачені додаткові конструктивні елементи, які є по суті допоміжними кавітаторами (рис. 2. б, рис. 3 б). Відомі також ПКЗ, які мають декілька кавітаторів, які утворюють решітку в проточній камері, перпендикулярно її поздовжній осі [11]. Особливостями інших змішувачів є наявність другого ряду кавітаторів (рис. 2 б), деякі мають еліптичну форму і встановлені з можливістю обертання навколо своєї осі на 90°.

Для інтенсифікації перемішування на поверхні кавітатора в деяких конструкціях виконана насічка (рис 5 а), а в інших пропонується покриття кавітатора

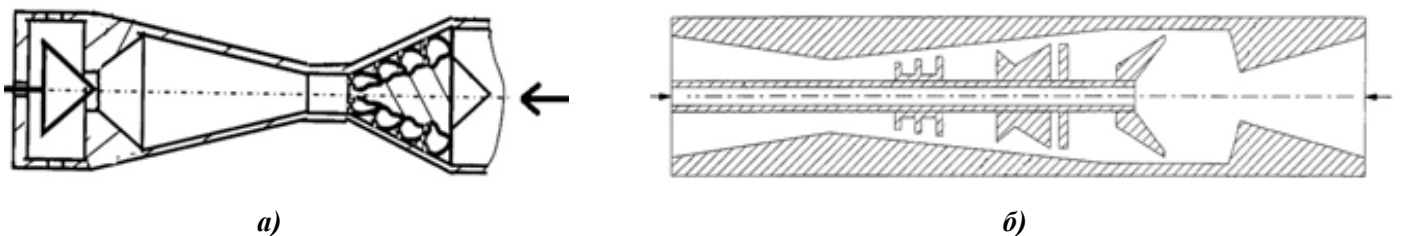


Рис. 3. Варіанти виконання ПКЗ з гвинтовими елементами.

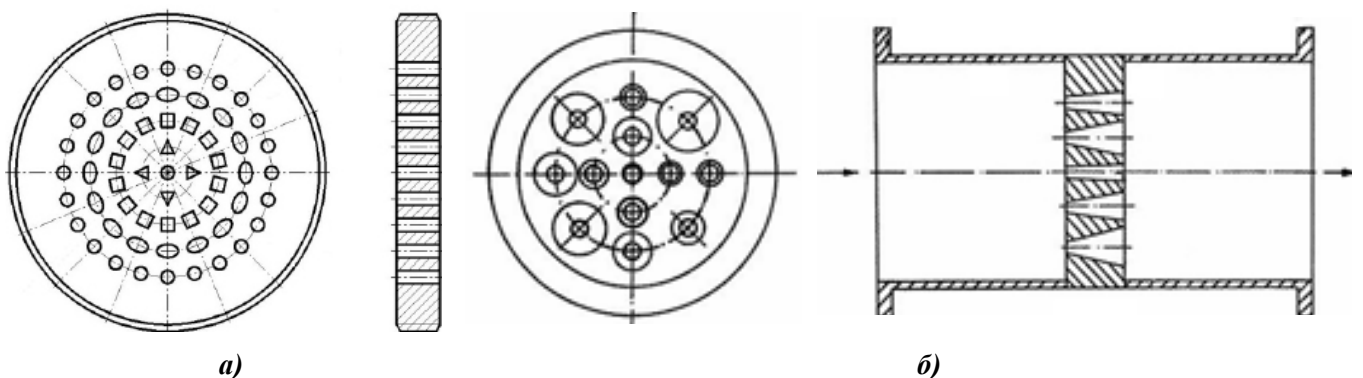


Рис. 4. Варіанти виконання перегородки з каналами.

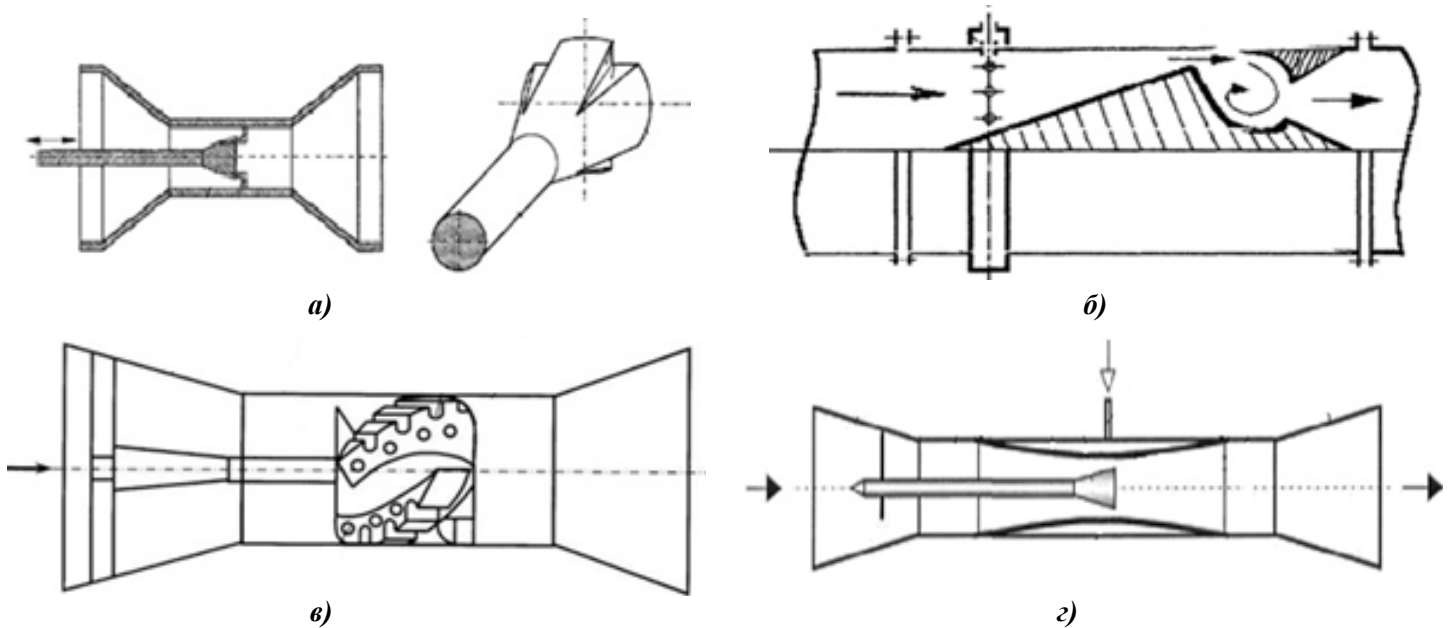


Рис. 5. Варіанти виконання ПКЗ з різними конструктивними особливостями.

шаром еластичного матеріалу. Для підвищення ерозійної активності кавітаційного поля в деякі пристрої встановлені пружно еластичні елементи і з'єднані з робочим контуром за допомогою гнучких трубопроводів [12].

Існує ряд ПКЗ, в яких використовується циліндрична проточна камера. Один з перших змішувачів представляє собою круглу трубу з встановленим в ній коаксіально кавітатором каплевидної, круглої або складної трикутної форми (рис. 5 б), роль конфузора в даній конструкції виконує дросель [7]. В ПКЗ даного типу для інтенсифікації процесу кавітаційної обробки також використовується решітки кавітаторів, розташовані послідовними рядами [4, 11].

Найбільшого розповсюдження отримали кавітатори з плавними обводами, виконані у вигляді стержнів круглого перерізу і еліпсів, а також каплеподібних і шароподібних тіл (рис. 5 г) [13].

В ряді інших конструкцій використовуються погано обтікаючими формами, виконані у вигляді трапецій, клинків, конусів, суперкавітуючих крильчаток, пластин, дисків (рис. 2 б, рис 5 в) [14, 15]. Також існує група апаратів, в яких роль кавітаторів виконує струмінь рідини, яка направлена назустріч потоку, що подається (рис. 3 б).

Висновки

Всі способи гідродинамічної кавітації дозволяють проводити обробку великих обсягів рідинних багатокомпонентних середовищ в потоці і використовуються для інтенсифікації енерговитратних промислових процесів.

Кавітаційні апарати представляють собою обладнання нового покоління, що призначені для структурних

перетворень рідини на мікро- і нанорівні з метою зміни її фізико-хімічних властивостей, а також інтенсифікації масообмінних і гідромеханічних процесів. Ці апарати розрізняються за такими характерними ознаками, як тип конструкції всього апарату і його робочих органів, а також способом подачі або видалення газової фази. Їх використання є ефективним при виконанні таких технологічних процесів, як: змішування рідин, які важко змішуються, розчинення твердих речовин в рідинах, отримання стійких багатокомпонентних високодисперсних емульсій без використання стабілізаторів, диспергування суспензій в системах рідина в рідині, прискорення екстракції і дифузії, отримання нано- та мікросуспензій та багатьох інших.

ЛІТЕРАТУРА

1. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов - Вестник ТГТУ, 2008. Т.14, № 4. С. 861 – 869с.
2. Федоткин И.М., Гульий И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теоретические основа производства, расчеты и конструкция кавитационных теплогенераторов) Часть II. Киев: АО «ОКО», 2000. 898 с.
3. Кавитатор: пат. 2516638 Российская Федерация, МПК В05В1/34 (2006.01). № 2012155933/05; заявл. 21.12.2012, опубл. 20.05.2014.
4. Гидродинамический кавитационный реактор: пат. 84256 Российская Федерация, МПК В01F5/00 (2006.01). № 2008109717/22; заявл. 17.03.2008, опубл. 10.07.2009.
5. Кавітаційний змішувач проточного типу: пат.

11842 Україна, МПК(2006) В01F 5/00. № u200506265; заявл. 24.06.2005; опубл. 16.01.2006, бюл. № 1

6. *Тарасенко Т.В, Зайончковський Г.Й.* Очищення елементів гідроапаратури за допомогою кавітаційних технологій. *Technology and production reserves* №2/2(10), 2013. С 7-10

7. *Способ получения наночастиц серебра:* пат. 2448810 Российская Федерация, МПК В22F9/24, В82В3/00. № 2011113035/02; заявл. 05.04.2011; опубл. 27.04.2012.

8. *Кавітаційний змішувач:* пат. 1398 Україна, МПК(2006) В01F 5/00. № 93250341; заявл. 02.02.1993; опубл. 25.03.1994, бюл. № 1.

9. *Матіячук А.М., Матіячук О.В.* Використання ефектів кавітації для оброблення рідких середовищ. *Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2013. Доклад/Технические науки*, Технологии продовольственных товаров. SWorld. 18-29 June 2013

10. *Предварительная дисперсия:* пат. 2007120349 Российская Федерация, МПК В01F3/00. № 2007120349/15; заявл. 31.05.2007; опубл. 10.12.2008

11. *Кавітаційний змішувач:* пат. 108597 Україна, МПК(2016.01) В01F 3/00, В01F 5/00. № u201600326; заявл. 15.01.2016; опубл. 25.07.2016, бюл. № 14

12. *Кавітаційний змішувач:* пат. 41126 Україна, МПК(2009) В01F 5/00. № u200812866; заявл. 04.11.2008; опубл. 12.05.2009, бюл. № 9

13. *Кавітаційний змішувач:* пат. 106510 Україна, МПК(2016.01) В01F 3/00. № u201511177; заявл. 13.11.2015; опубл. 25.04.2016, бюл. № 8

14. *Кавітаційний апарат:* пат. 52910 Україна, МПК(2009) В01F 3/00, D21В 1/00. № u201004377; заявл. 14.04.2010; опубл. 10.09.2010, бюл. № 17

15. *Multi-chamber supercavitation reactor:* pat. US 2007/0189114 A1 USA, Int. Cl. В01F 5/08, В01J 19/26. № 11/679,665, 27.02.2007; Pub, date 16.08.2007

RESEARCH OF THE APPLICATION EFFICIENCY OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS OF FLOW CAVITATION MIXERS

Makarenko A.A.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2019.10>

The material which is accumulated for today about the application of hydrodynamic cavitation in technological processes makes it possible to determine the perspective areas of its use - in the processes of mass transfer, mixing, dissolution, dispersion and emulsification in the processing of liquid heterogeneous systems and the creation of modern energy-saving technologies.

The purpose of this article is to study the effectiveness of the use of different designs of flow cavitation mixers for the treatment of liquid heterogeneous disperse systems and to identify the main industries for their use.

Cavitation apparatus can be effectively used in performing such technological processes as mixing difficult to mix liquids, dissolving solids in liquids, obtaining stable, multicomponent high dispersion emulsions without using of stabilizers, dispersing suspensions in liquid-liquid systems, accelerating extraction and diffusion, and many others. Hydrodynamic cavitation can be used in technologies to produce lubricants, fuel materials, varnishes and paints, building materials, detergents, etc.

Different designs of cavitation devices allow to obtain different forms of cavitation, different ways of obtaining it or their combination, depending on the purpose and field of use. Apparatus whose action is based on the use of hydrodynamic cavitation represent an effective equipment that accelerates technological processes in liquid media while significantly reducing the specific energy consumption.

The structures of hydrodynamic cavitation devices provide multiple rearrangements of the velocity field and change the direction of fluid flow and mix components. The main feature of the devices is small dimensions with high performance. Distinctive features of this type of equipment are ensuring the continuity of the chemical-technological process and its high intensification, the possibility of realizing large quantities of deformations and strain of displacement, intensive hydrodynamic and cavitation effects, which results in high-quality mixing of components, intensification of diffusion processes, simplicity and reliability of hardware design. The economic efficiency of the application of hydrodynamic cavitation apparatus is

determined by the low metal capacity of the equipment, low maintenance and operation costs compared with capacitive mixing equipment.

References 15, tables 5.

Key words: hydrodynamic cavitation, intensification of heat and mass transfer, Venturi nozzle, flow cavitation mixer, confuser, diffuser.

1. *Promtov M.A.* [Prospects of application of cavitation technologies for intensification of chemical-technological processes] *Vestnik TSTU* [Transactions of the TSTU], 2008. V.14, No. 4. P. 861–869 (Rus)

2. *Fedotkin I.M., Gulyy I.S.* [Cavitation, cavitation technology and technology, their use in industry (theoretical basis of production, calculations and design of cavitation heat generators) Part II.] Kiev: JSC "OKO", 2000. 898 p. (Rus)

3. *Cavitator*: Pat. 2516638 Russian Federation, IPC B05B1/34 (2006.01). No. 2012155933/05; Dec 21, 2012, Publ. 20/05/2014 (Rus)

4. *Hydrodynamic cavitation reactor*: Pat. 84256 Russian Federation, IPC B01F5/00 (2006.01). No. 2008109717/22; March 17, 2008, publ. July 10, 2009 (Rus)

5. *Cavitation mixer of flowing type*: pat. 11842 Ukraine, IPC (2006) B01F 5/00. No. u200506265; 24.06.2005; publ. Jan 16, 2006, bul. No.1 (Ukr)

6. *Tarassenko T.V., Zayonchkovsky G.Y.* [Purification of elements of gidroaparatury for additional technology]. *Technology and production reserves* No 2/2 (10), 2013. P. 7-10 (Ukr)

7. *Method for obtaining silver nanoparticles*: Pat. 2448810 Russian Federation, IPC B22F9/24, B82B3/00. No. 2011113035/02; May 04, 2011; publ. April 27, 2012 (Rus)

8. *Cavitation mixer*: pat. 1398 Ukraine, IPC (2006) B01F 5/00. No. 93250341: Febr. 02, 1993; publ. March 25, 1994, No. 1 (Ukr)

9. *Matiyschuk A.M., Matyaschuk O.V.* [Use of cavitation effects to treat liquid media]. *Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education* 2013. Report. Technical sciences, Technologies of food products. SWorld 18-29 June 2013 (Ukr)

10. *Preliminary dispersion*: Pat. 2007120349 Russian Federation, IPC B01F3/00. No. 2007120349/15; May 31, 2007; publ. December 10, 2008 (Rus)

11. *Cavitation mixer*: pat. 108597 Ukraine, IPC (2016.01) B01F 3/00, B01F 5/00. No. u201600326. January 15, 2016; publ. 07/25/2015, No. 14 (Ukr)

12. *Cavitation mixer*: pat. 41126 Ukraine, IPC (2009) B01F 5/00. No. u200812866; November 04, 2008; publ. May 12, 2009, No. 9 (Ukr)

13. *Cavitation Mixer*: Pat. 106510 Ukraine, IPC (2016.01) B01F 3/00. No. u201511177; November 13, 2015; publ. April 25, 2014, No. 8 (Ukr)

14. *Cavitation Apparatus*: Pat. 52910 Ukraine, IPC (2009) B01F 3/00, D21B 1/00. No. u201004377; April 14, 2010; publ. October 09, 2010, No. 17 (Ukr)

15. *Multi-chamber supercavitation reactor*: Pat. US 2007/0189114 A1 USA, Int. Cl B01F 5/08, B01J 19/26. No. 11 / 679,665, February 27, 2007; Pub, date 16.08.2007

Отримано 25.10.2018

Received 25.10.2018