



Сілін Р. І.

Гордєєв А. І.

*Хмельницький
національний
університет*

УДК 621.787

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ВІБРОМАШИН ДЛЯ ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ

В статтє приведєн теоретический анализ использования вибрационных колебаний для создания кавитации в воде. Приведено конструкции вибрационного оборудования, результаты экспериментальных исследований, методику расчета основных конструктивных параметров.

In clause the theoretical analysis of use of vibrating fluctuations for creation cavitations in water is resulted. It is resulted designs of the vibrating equipment, results of experimental researches, a design procedure of the basic design data.

Вода – одне з найбільших багатств у житті людини. Вона широко застосовується в різних галузях життєдіяльності. Вона в повсякденному житті людини використовується для пиття, приготування їжі, задоволення санітарно-гігієнічних потреб. Фахівці в усьому світі прогнозують, що незабаром боротьба точитиметься не за нафту чи газ, а за воду.

У розробку теоретичних основ і технології водопідготовки та очищення стічних вод вагомий внесок зробили вітчизняні вчені Л.А.Кульський, М.О.Шевченко, М.К.Ротмютров, І.М. Гороновський, О.М. Когановський, та багато інших відомих учених. Вагомий теоретичний та експериментальний вклад в процеси зміни властивостей води та її складу за допомогою гідрокавітації внесли І.М. Федоткин, М.С.Гулий.

Провідний російський науковий співробітник С. В. Зенин разом із групою колег знайшов у воді водневі містки–довгожителі, а потім виявив і так звані суперстабільні кластери (скупчення) – структурні елементи води.

Саме з таких елементів, вигадливо зв'язаних один з одним, і складається знайома нам рідина. Кожна молекула води являє собою «диполь». Це значить, що вона складається з позитивного і негативного полюсів, що взаємно притягаються. Завдяки цьому молекули через водневі містки з'єднуються у великі розв'язані структури – кластери рис.1.

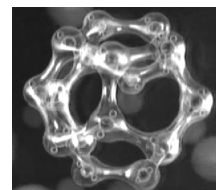
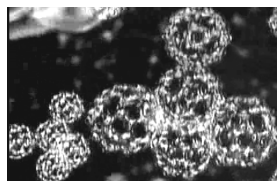


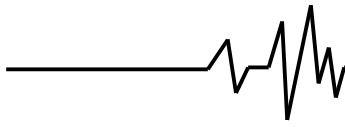
Рис. 1. Моделі кластерних структур

Існує нескінченна розмаїтість кластерів, тому що водневі містки дозволяють молекулам води з'єднуватися всілякими способами.

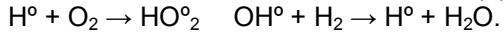
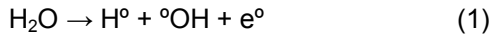
Українські дослідники А.Н. Смірнов, В.Б. Лапшин та ін. при вивченні структури води виявили гігантські гетерофазні кластери води та кооперативний анізотропний рух дисперсних гідрофільних часток з розмірами 0,5-10 мкм, що відновлюється після будь-якого механічного гідродинамічного збурювання розчину в межах однієї хвилини [1].

Для пояснення кооперативності руху гідрофільних часток було висунуте припущення про утворення молекулярними комплексами води фрактальних структур більш високих порядків розмірів, що формують осцилюючі полімерні гігантській гетерофазні кластери води, що і відіграють роль напрямних при русі часток дисперсної фази.

Авторами розглянуто вплив кавітації на зміну властивостей води. Запропоновано модель фізико-хімічних процесів, які



відбуваються у кавітаційному пухирці та прилеглому до нього шарі води. В процесі сплескування пухирця цілком достатньо енергії, яка при цьому виділяється, для іонізації та дисоціації води і газів з високою пружністю пари всередині кавітаційної порожнини. Такі гази, як O_2 і H_2 можуть трансформуватися в радикали:



Для такого газу, як N_2 в звукохімічних реакціях кінцевим результатом є фіксація азоту: $N_2 + O_2 \rightarrow NO_2$ та $N_2 + H_2 \rightarrow NH_3$ (2)

Активні частинки, котрі виникають в системі, після переходу в розчин гідратуються і реагують з розчиненими речовинами. Все це призводить до зміни фізико-хімічних властивостей води: збільшенню рН, зростанню електропровідності води, збільшенню числа вільних іонів та активних радикалів, зміні структури та активації води.

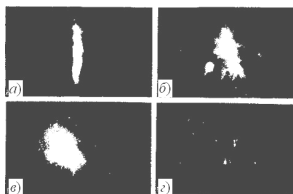


Рис. 2. Кавітаційна область яка виникла над ультразвуковим магнітострикційним випромінювачем при різних статичних тисках: а - 0,9 МПа; б - 0,6 МПа; в - 0,2 МПа; г - 0,1 МПа

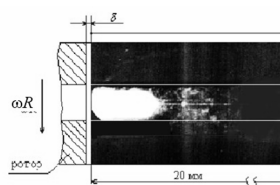


Рис. 3. Кавітаційний кластер, який утворився у каналі статора роторного імпульсно-кавітаційного апарата

До акустичних кавітаційних пристроїв відносяться джерела акустичних коливань переважно ультразвукового спектру частот, тому їх ще називають ультразвуковими (УЗ) пристроями. У пластинчастих УЗ пристроях струмінь середовища, яке оброблюється, витікає з великою швидкістю з щілиноподібного сопла і вдаряє в гострі кромки консольної металевої пластини, встановленої напроти нього. Зриваючись з пластини, струмінь утворює вихорі, які періодично прямують один за одним. Підбираючи швидкість струменя і відстань від сопла до кромки пластини, досягають ефекту, коли частота відриву вихорів відповідає резонансній частоті коливань самої пластини. При таких умовах вона починає випромінювати акустичні коливання в середовище.



Рис. 4. Кавітаційний обертальний кластер, який утворюється при гідрокавітації у вібраційній установці на основі гідропульсатора

На базі аналізу переваг та недоліків різних кавітаційних пристроїв, була поставлена задача провести аналітичний аналіз умов створення кавітації та ряд досліджень по активації води, зміни її властивостей на вібраційному обладнанні створеному на основі гідропульсатора [2] з ціллю визначення оптимальних режимів роботи такого обладнання та взаємозв'язку основних конструктивних параметрів гідропульсатора, а також дослідити вплив на властивості води одночасної дії гідрокавітації та магнітного поля.

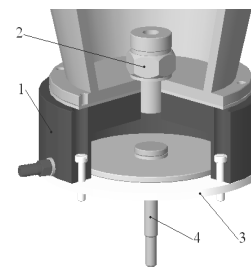
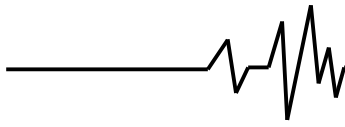


Рис. 5. Конструкція гідропульсатора: 1 – камера; 2 – насадок; 3 – мембрана; 4 – шток

Пульсуючий газорідний потік утворюється у гідропульсаторі (рис. 5), який працює так: при рухові мембрани 3 вниз в камері 1 створюється розрідження і рідина втягується в камеру через насадок 2.

При ході мембрани вгору відбувається стискання рідини і вона під тиском виштовхується через насадок із камери. При протіканні рідини через насадок утворюється кільцева ізольована порожнина, яка руйнується при досягненні певного тиску рідини в пульсаційній камері. При руйнації кільцевої ізольованої порожнини з рідини починає виділятися у вигляді газових пухирців повітря, що розчинене в рідині. Виділення газових пухирців відбувається як при втягуванні, так і при виштовхуванні рідини з пульсаційної камери.



В даний час немає єдиної класифікації й термінології по кавітаційним явищам, що відбуваються в різних гідравлічних пристроях, у тому числі в місцевих опорах [3]. Це пояснюється тим, що дослідники користалися різними методами спостереження кавітації і проводили експерименти в умовах які різко різняться. Тому в роботі [3] зроблена спроба класифікувати різні види кавітації. Невизначеність також була розсіяна, коли був зроблений чіткий поділ явищ газової й парової кавітації, а також виявлені умови існування так званої хибної кавітації. Класифікація цих понять здійснюється шляхом аналізу рівняння одиночного пухирця [3].

Хибною чи псевдокавітацією називають рівноважну зміну розмірів пухирця без істотного впливу дифузії газу в порожнину.

Газовою кавітацією називають повільний ріст пухирців, що супроводжується дифузією газу в порожнину.

Паровою кавітацією називають процеси, зв'язані з різким ростом і сплескуванням каверни унаслідок втрати стійкості рівноваги зародкового пухирця.

Зародкові пухирці при падінні тиску перетерплюють стійкі зміни розмірів: спочатку хибна, потім газова кавітація. При хибній кавітації газові пухирці великих розмірів можуть значно збільшуватися, навіть при тисках, що перевищують тиск насичених парів P_H . Хибна кавітація не викликає кавітаційної ерозії.

Відповідно автором [3] визначені тиски, при яких виникають газова й парова кавітація:

$$P_{кав.г} = P_H + P_2 - \frac{2\sigma}{R_0} \sqrt{\frac{P_2}{P_0 - P_H + 2\sigma/R_0}};$$

$$P_{кав.п} = P_H - \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{\frac{2\sigma/R_0}{P_0 - P_H + 2\sigma/R_0}}, \quad (3)$$

де $P_{кав.г}$, $P_{кав.п}$ – тиск газової й парової кавітації відповідно;

P_H – тиск насичених парів;

P_2 – тиск газу, що насичує рідину;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу;

R_0 – вихідний радіус пухирця;

P_0 – вихідний зовнішній тиск.

Ці вирази показують, що тиск парової кавітації $P_{кав.п}$ завжди нижче тиску насиченого пару рідини, у той час як тиск газової кавітації

$P_{кав.г}$ перевищує P_H тим у більшому ступені, чим вище тиск газу, що насичує рідину, P_2 і більше розміри зародкових пухирців.

Розміри пухирця збільшуються в міру зменшення тиску. По досягненні деякого критичного розміру для подальшого росту пухирця не потрібно зниження тиску, пухирець спонтанно росте [4].

Теоретичні дослідження [4] про ріст розмірів газового пухирця пояснюють це явище в такий спосіб: однобічною дифузією газу з рідини в коливний пухирець. При стиску відбувається дифузія газу з пухирця в рідину, при розтяганні напрямом дифузії зворотній. Оскільки у тім і іншому випадку дифузія відбувається через різну поверхню, велику у випадку дифузії у пухирець, об'єм повітря, що дифундує в пухирець, більше об'єму, який виходить із пухирця, що приводить до росту пухирця. Результат наближеного рішення нелінійного рівняння дифузії [4] для нерезонансних пухирців показує, що закон росту радіуса пухирця з часом має вигляд:

$$R^2(t) = R_0^2 + \frac{4}{3} \left[\frac{D\beta_\infty}{\rho_2} \left(\frac{P_0'}{P_0} \right)^2 \right] t, \quad (4)$$

де R_0 – початковий радіус пухирця;

D – коефіцієнт дифузії; ρ_2 – щільність газу;

β_∞ – концентрація газу в рідині на відстані від пухирця;

P_0' – амплітуда звукового тиску;

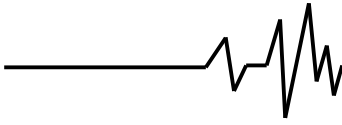
P_0 – гідростатичний тиск у рідині.

Характеристикою процесу однобічної дифузії є час τ , за який радіус пухирця подвоюється:

$$\tau = \frac{9}{4} \frac{R_0 \rho_2}{\beta_\infty D} \left(\frac{P_0}{P_0'} \right)^2. \quad (5)$$

З цього співвідношення випливає важливий висновок про те, що пухирці малого розміру ростуть досить швидко, у той же час подвоєння радіуса великих пухирців вимагає значного часу.

Таким чином, однобічна дифузія приводить до того, що при зміні тиску розподіл пухирців по розмірах швидко змінюється в зоні малих розмірів і залишається майже стабільним в зоні великих розмірів, причому функція розподілу міняється так, що



збільшується число пухирців великих розмірів. Це, природно, знижує міцність рідини на розрив.

Для реалізації задачі одержання газорідного потоку, безпосередньо з рідини, необхідно використовувати гідродинамічну кавітацію в зоні газової кавітації (Рис.4).

Для створення такого процесу необхідно витримати наступні умови: час проходження рідини через зону розрідження повинне бути значним, або здійснити кількарізне проходження через зону зниження тиску того самого обсягу рідини з метою поступового росту газових пухирців із зародків. Перепад тисків у рідині повинний бути в межах достатніх для виділення газової фази. Для здійснення процесу виділення газової фази з рідини запропоновано використовувати явище виникнення кільцевої ізольованої порожнини з її руйнуванням, при витіканні через отвір, що має певну довжину. Порожнина заповнюється газами повітря й парами рідини. При досягненні достатнього перепаду тисків відбувається зрив кільцевої порожнини.

При витіканні рідини через круглий отвір із гострими крайками спостерігається стискання струменя в наслідок опору, вигину окремих струмків рідини на вході в отвір, а також звуження струменя, але після досягнення певного перепаду тиску, йде зрив потоку.

У першому випадку за найменшим перетином струменя відбувається поступове його розширення. Воно досягає внутрішніх стінок отвору, заповнює весь його перетин і витікає без стиску.

Таким чином, струмінь і стінки отвору утворюють кільцеву порожнину, ізольовану від протитиску. Ця порожнина стикається на порівняно великій ділянці зі струменем, але середовище, включене в ній, не бере участь у русі і тому її не можна віднести до струменя. Найбільш стиснутий перетин струменя, таким чином, виявляється ув'язаним у кільцеву ізольовану порожнину, наповнену газами, що виділилися.

У другому випадку за найменшим перетином струмінь більш менш зберігає цей перетин, рухається, не стикаючись із стінками отвору (Рис.6). Між струменем і стінками є кільцева порожнина, поєднана з тиском у вихідному резервуарі. У цьому випадку можна припускати, що найменший перетин струменя оточений середовищем із протитиском [4].



Рис. 6. Зрив газової порожнини та виникнення процесу гідродинамічної кавітації

Така картина витікання рідини впливає з механізму виникнення ізольованої порожнини [4]. Також впливає, що якщо до отвору раптово підвести рідину таким чином, що витікання з отвору буде відбуватися, скажемо, з числом Рейнольдса (Re) від 2000 до 20000, то ізольована порожнина не повинна виникати внаслідок того, що раптове підведення виключає стадію плинності рідини з заповнення нею всього отвору, витікання починається відразу зі стиском струменя.

Для утворення процесу гідродинамічної кавітації, як уже з'ясовано, необхідно, щоб відбувався зрив кільцевої порожнини. Умова зриву кільцевої порожнини дається автором [5] у вигляді:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{зр} \leq 2\psi\varphi\mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}} + \frac{P_{\min}}{P} (1 + 2\psi\varphi\mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}}), \quad (6)$$

де ψ – коефіцієнт зменшення швидкості на периферії струменя біля стінок отвору;

f_c – площа живого перетину струменя в стиснутому перетині;

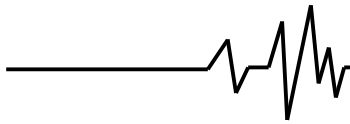
$f_{\Delta F}$ – площа живого перетину струменя в місці досягнення кільцевої ізольованої порожнини стінок отвору;

φ – коефіцієнт швидкості;

μ – коефіцієнт витрати.

Тому що P_{\min} – звичайно, мале в порівнянні з тиском на вході, то їм можна знехтувати, і тоді критерій запишеться у вигляді:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{зр} \leq 2\psi\varphi\mu \frac{f_c}{f_{\Delta F}}. \quad (7)$$



Для циліндричного отвору: $\frac{f_c}{f_{\Delta F}} = \varepsilon = 0,64$.

Для циліндричного отвору прийемо коефіцієнт $\psi = 0,6$ і при $Re > 100000$ проведемо розрахунок значення критерію руйнування кільцевої ізолюваної порожнини для діаметра $d = 0,01$ м. $\mu = \varphi\varepsilon = 0,97 \cdot 0,64 = 0,62$.

Тоді: $\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{зр} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,98 \cdot 0,62 \cdot 0,64 = 0,38$.

Виходячи з розрахунків, одержимо, що зрив кільцевої порожнини наступить за умови:

$$P_{2зриву} = 0,38P_1. \quad (8)$$

З проведених розрахунків випливає, щоб відбувалося газової кавітації та виділення газу в струмінь рідини з ізолюваної порожнини, необхідне дотримання умови (8).

Для здійснення пульсації потоку й одночасного виділення газових пухирців у рідину запропонована вібраційна схема зворотно-поступального руху рідини через насадок (рис.7.) [6]. Тому газ, який утворюється в кільцевих порожнинах, що з'являються поперемінно, то на початку, то в кінці насадка, попадає в рідину у виді пухирців. Виникає двофазний газорідинний потік.

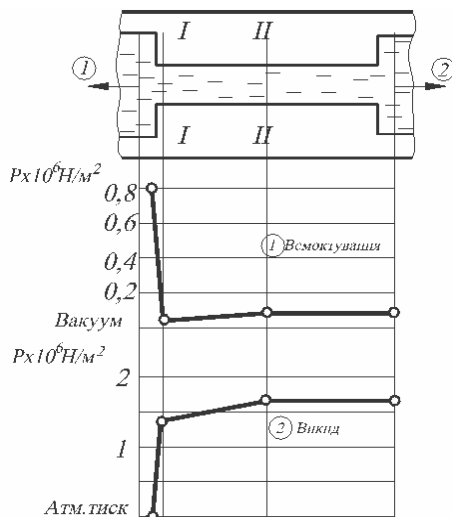


Рис. 7. Залежність тиску по січеннях насадка при зворотно-поступальному русі рідини

На рис.8 (Патент України на винахід. № 48400 А) та рис.9 показані конструкції вібротомарин для зміни властивостей та складу води.

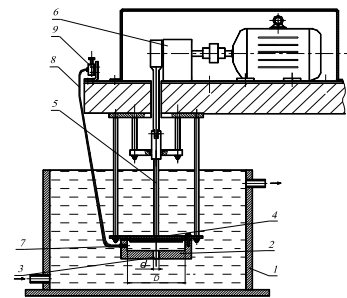


Рис. 8. Конструктивна схема кавітаційного пристрою для обробки води: 1 – ємкість; 2 – корпус; 3 – отвір; 4 – мембрана; 5 – шток; 6 – ексцентриковий вібратор; 7 – штуцер; 8 – шланг; 9 – повітряний дросель

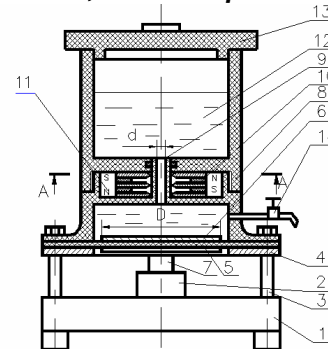


Рис. 9. Конструктивна схема кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води: 1 – основа; 2 – вібропривід; 3 – стійки; 4 – пластина; 5 – мембрана; 6 – диски; 7 – шток; 8 – ванна; 9 – отвір; 10 – загострені пластини; 11 – магніти; 12 – вода; 13 – кришка; 14 – кран

Було проведено експериментальні дослідження працездатності запропонованого обладнання. При визначених оптимальних параметрах коливального процесу, амплітуді $A = 3$ мм; $f = 8$ Гц; співвідношенні діаметра камери гідропульсатора до діаметра насадка $D/d = 12$, вода оброблялась у кавітаційному режимі протягом 10,20,30 хвилин. Відібрані проби води перевірялись на величину рН.

Виявилось, що із збільшенням часу кавітаційної обробки рН такої води зростає, причому при одночасній дії магнітного поля в значно більшій мірі, ніж після звичайної кавітації (рис.10). До певної міри це можна пояснити тим, що внаслідок магнітної обробки зменшується константа дисоціації води та зростає потенціал її іонізації [7].

Досліди, проведені на експериментальній установці показали збільшення рН від 6,75 (для контрольної води) до рН 7,9 (обробленою кавітаційним способом) та до рН 8,15 (при одночасному впливу кавітації та магнітного поля).

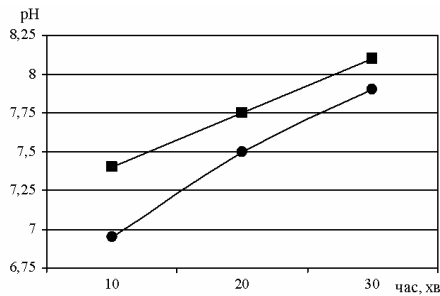


Рис. 10. Залежність pH води від часу кавітації: ■ – зміна pH при дії гідрокавітації та омагнічування; ● – те ж при дії самої гідрокавітації

В подальшому було проведено дослідження кінетики хімічних реакцій в середовищі води після 30-ти хвилинної обробки в кавітаційному пристрої [8].

Як модельну реакцію було вибрано окиснення метанолу перманганатом калію в кислому середовищі. При концентрації CH_3OH 0,5M і KMnO_4 $4 \cdot 10^{-3}\text{M}$ така реакція проходить із поміркованою швидкістю, яка дозволяє надійно слідкувати за її перебігом. Завдяки забарвленню перманганат-іона контроль за ходом реакції здійснювали фотометричним методом (фотоелектроколориметр КФК-2). Для цього в мірну колбу на 50 мл вносили 1 мл метанолу, 2 мл 2M сульфатної кислоти і звичайну воду (контрольний дослід), або воду після кавітації та доводили реакційну суміш до мітки. Після внесення 0,2 мл перманганату калію та інтенсивного перемішування розчин фотометрували.

Результати дослідів показали (рис.11), що в середовищі води після кавітації швидкість реакції значно зростає.

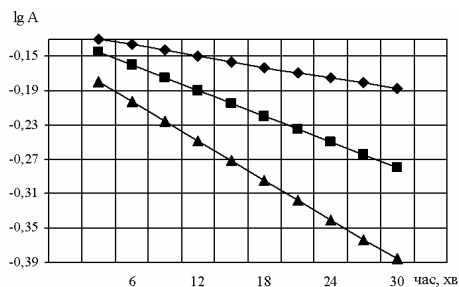


Рис. 11. Залежність логарифму оптичної щільності реакційної суміші CH_3OH – KMnO_4 від часу реакції: ◆ – контроль; ■ – гідрокавітація та омагнічування; ▲ – гідрокавітація

Відношення ефективної константи швидкості реакції у воді після кавітації (k') до такої ж у звичайній воді (k) становить: $k'/k = 3,5$. Трохи менше це співвідношення для ефективної константи швидкості реакції в середовищі води після кавітації з поєднанням дії магнітного поля (k''): $k''/k = 2,5$. Така зміна кінетики реакції свідчить про різке зростання "структурної температури" розчину, тобто, термодинамічні характеристики системи відповідають параметрам розчину при підвищенні фізичної температури. Утворення нових структурних одиниць під час кавітації порушує сітку водневих зв'язків між молекулами води, що веде до підвищення структурної температури розчину, а отже і до зміни його фізико-хімічних властивостей.

Для оцінки характеру впливу кавітаційно-магнітної обробки на структуру ізацію води було застосовано методику природного сушіння краплі води на прозорому склі. Результати проведених досліджень показані на рис.12, рис.13, рис.14 [9].



Рис. 12. Кристалічний слід води не обробленої

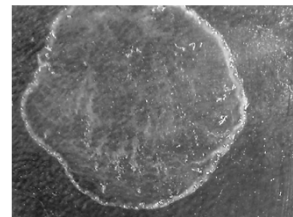


Рис. 13. Кристалічний слід води після обробки кавітацією

На рис.12 структура осаду має нерівномірний характер. По краях та в центрі осаду спостерігається висока щільність та кристалічні утворення, що свідчить про не зрівноважений енергетичний стан води.

На рис.13 структура осаду більш рівномірна, але по краях та у центрі видно незначні кристалічні утворення.

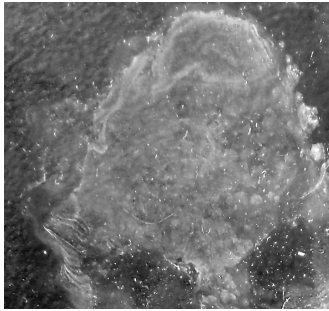
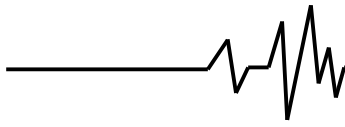


Рис. 14. Кристалічний слід води після одночасної обробки кавітацією та омагнічуванням

На рис.14 структура осаду більш упорядкована, дрібнокристалічна та більш структурована, спостерігається більше розтікання краплі, що свідчить про значне зменшення поверхневого натягу води після обробки.

Дослідження кристалічних осадів води показали значний вплив гідрокавітаційної та кавітаційно-магнітної обробки на зміну властивостей води та її структуризації.

Було запропоновано технічні основи розроблення вібраційних машин для зміни властивостей води.

Для проектування вібраційних машин впливу на властивості рідини необхідно попередньо мати годинну продуктивність обладнання, хімічний склад рідини.

З годинного об'єму рідини яка виштовхується та попередньо прийнятої кутової швидкості можна визначити орієнтовний діаметр пульсаційної камери D за формулою:

$$D = 3 \sqrt[3]{\frac{V_2}{450 \cdot \psi \cdot \omega}}, \quad (9)$$

де V_2 – годинний об'єм рідини яка виштовхується;

ψ – співвідношення ходу мембрани до діаметра пульсаційної камери,

$$\psi = \frac{2A}{D} = 0,02 \dots 0,033;$$

A – амплітуда коливань; максимальне значення 0,25 мм;

ω – кутова швидкість; для отримання синфазного руху коливальних мас електромагнітного приводу кутова швидкість вибирається 628 рад/с.

Діаметр насадків, їх форма, кількість та розташування вибирається в залежності від об'ємів рідини, яка оброблюється, та

продуктивності процесу. Проведені дослідження показали, що діаметр насадків для обладнання впливу на склад води при значних амплітудах та низьких частотах знаходиться в межах:

$$d_n = 8 \dots 12 \text{ мм.} \quad (10)$$

Для малих амплітуд (до 0,4 мм) та частот 50-100 Гц діаметр насадка можливо визначити за залежністю:

$$d_n = \sqrt{\frac{D_k^2 \cdot 2A_{np}}{A_{cmp}}}, \quad (11)$$

де A_{np} – амплітуда коливань приводу; A_{cmp} – амплітуда коливань струменя $A_{cmp} = 100-150$ мм.

Форма внутрішньої поверхні осьосиметричного насадка приймається з гострими крайками на вході та виході для забезпечення кавітаційного процесу. Довжина насадка вибирається із залежності:

$$L_n = (4 \dots 5)d_n. \quad (12)$$

Встановивши діаметр насадка, підбирається декілька значень діаметра пульсаційної камери в межах:

$$D_k = (11 \dots 12)d_n \quad (13)$$

Максимальний гідродинамічний тиск у камері гідропульсатора P розраховується за методикою [10] та перевіряємо виконання умови (8). Якщо отримано менші значення співвідношення (8), необхідно збільшити амплітуду коливань до отримання певного значення максимального гідродинамічного тиску.

Визначається тягове зусилля приводу:

$$F_{тяг} = F_{cm} + F_{дін}, \quad (14)$$

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} P$$

де

$$F_{дін} = 0,5 F_{cm}.$$

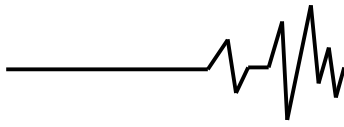
Вибирається тип віброприводу: рекомендовано ексцентриковий або електромагнітний.

При використанні насадків із двома отворами дійсне значення гідродинамічного тиску стає менше за розраховане в 1,4 рази, тому необхідно збільшити амплітуду і виконати перевірку умови (8). Співвідношення діаметра насадка до діаметра ємності лежить у межах:

$$D_e / d_n = \text{від } 10 \text{ до } 20, \quad (15)$$

де d_n – діаметр насадка;

D_e – діаметр ємності.



Висота ємності приймається:

$$H_e = (\text{від } 15 \text{ до } 30)d_H \quad (16)$$

Діаметр дисків рухомої мембрани береться меншим від 5 мм до 10 мм внутрішнього діаметра пульсаційної камери D_k .

Кавітаційно-магнітний вплив на рідке середовище, за рахунок вище вказаних ефектів, дозволяє досягнути суттєвої інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках. Проведені дослідження на модельній установці показали зниження вмісту солей кальцію та магнію на 22 %, зменшення біологічної потреби кисню у 2,2 рази, що підвищує швидкість бродіння біологічних часток [11].

Аналіз води, обробленої протягом 20 хвилин на запропонованому пристрої, показав зростання окиснюваності води до 180 % [12].

Таким чином, експериментальні дослідження показали доцільність використання магнітного впливу та гідродинамічної кавітації у вібраційному обладнанні з метою впливу на властивості води внаслідок послаблення енергії водневих зв'язків між молекулами води, зменшення поверхневого натягу, збільшення швидкості хімічних реакцій.

Література

1. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, А.В. Балышев и др. // Химия и технология воды. – 2005 – Т.27, №2. – С. 111–137.

2. Сілін Р.І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв – Монографія. Хмельницький: ХНУ, 2007 – 386 с.

3. Арзуманов Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 304 с., ил.

4. Зарембо Л.К. Введение в нелинейную акустику /Л.К. Зарембо, В.А. Красильников. – М.: Наука, 1966. – 519 с.

5. Сиов Б.Н. Истечение жидкости через насадки. – М.: Машиностроение, 1968. – 139 с.

6. Аналіз динамічних процесів у вібраційних гідропульсаторах /Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Ю.В. Савицький, В.В. Третько. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000.–№3.– С. 44–46.

7. Baran B. The Influence of Magnetic Field on Overvoltage of Water Decomposition / B. Baran, O. Berezyuk // Chemine technologija. – 2003. – №2(28). – P. 51–55.

8. Сілін Р.І. Кавітаційно – магнітна обробка води та вібраційне обладнання на основі гідропульсатора / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Сб.тр.ІІ між.н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании», сентябрь 2008, г. Нетанія, Ізраїль. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – С.46 – 49.

9. Дослідження кавітаційно-магнітного впливу на структуру води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, Є.А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko - prakticka konference «Tfektivni nastroje modernich - 2008». - Dil 17. Technicke vedy: Praha. Publishing House «Education and Science»-2007, С. 28-32.

10. Сілін Р.І. Применение гидропульсатора как модуля при проектировании вибрационных машин /Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. // Materialy 3 Miedzynarodowej konferencji Naukowo-Technicznej-MTK 2002. MECHANIKA Z.59 Modulowe technologie i konstrukcie w budowie maszyn. Rzeszow. – 2002, С. 29–33 .

11. Вивчення механізму вібраційної гідрокавітації та її вплив на склад води / А.І. Гордєєв, І.І. Сорока, В.В. Третько, О.О. Нікітін. // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2003. – № 4, Ч.2. – С. 269–273.

12. Сілін Р.І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. // Машинознавство. – 2005. – №4. – С. 32– 36.