

Секція 3

ТЕХНОЛОГІЯ, ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 620. 193. 16

Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Р.С. Сілін, О.С. Ланець*
Хмельницький національний університет
кафедра технології машинобудування
*Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДИ КАВІТАЦІЙНО-МАГНІТНОГО ВПЛИВУ НА ВОДУ ТА ВІБРАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІНИ ЇЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ

О Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Сілін Р.С., Ланець О.С., 2013

Розглянуто визначення енергії заряду великого деформованого пухирця, що виникає під час вібраційної гідрокавітації. Проведено ряд досліджень із визначення зміни властивостей води під одночасною дією магнітного поля та гідрокавітації. Запропоновано конструкції вібраційних установок різного технологічного призначення.

The article regards the definition of the energy charge of a big strained bubble which arises during vibrating hydrocavitation. A series of studies to determine the changes in water properties under the simultaneous effect of both, magnetic field and hydrocavitation, are carried out. The design of vibrating units of various technological purposes is proposed.

Вступ. Використання вібраційних коливань у технологіях зумовлене потребами підвищення інтенсивності, поліпшення якісних показників, а в деяких випадках і можливістю реалізації технологічних процесів. Унікальні можливості вібраційного поля дозволяють не тільки успішно здійснювати оздоблювально-зачисні та зміцнювальні операції, сепарацію, перемішування, вібро-транспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізацію, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь, а і створювати умови для зміни властивостей води для інших процесів у рідинах. Це зумовлює ефективність застосування вібраційних технологічних машин у багатьох галузях промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Вода – хімічна речовина у вигляді прозорої рідини, що не має кольору (у малих об'ємах), запаху і смаку (в стандартних умовах). Хімічна формула H_2O . У твердому стані називається льодом, снігом або інєєм, а в газоподібному – водяною парою. Близько 71 % поверхні Землі покрито водою у вигляді океанів, морів, озер, річок, льоду, це 97,6 % відомих запасів води [1]. Є гарним сильно полярним розчинником. У природних умовах завжди містить розчинені речовини у вигляді солей та газів. Вода має ключове значення у створенні й підтримці

життя на Землі, у хімічній будові живих організмів, у формуванні клімату і погоди. Є найважливішою харчовою речовиною для всіх живих істот на планеті Земля. Сама молекула H_2O електронейтральна, але заряд усередині молекули розподілений нерівномірно: в області атомів водню невеликий позитивний, а в області, де розташований атом кисню, невеликий негативний заряд. Завдяки цьому молекули води можуть взаємодіяти одна з одною з утворенням так званих водневих зв'язків (рис. 1). Атоми водню присдані до атома кисню, утворюють кут $104,45^\circ$, і ця конфігурація строго зберігається (рис. 1). Через велику різницю електричних відмінностей атомів водню і кисню електронні хмари сильно зміщені у бік кисню.

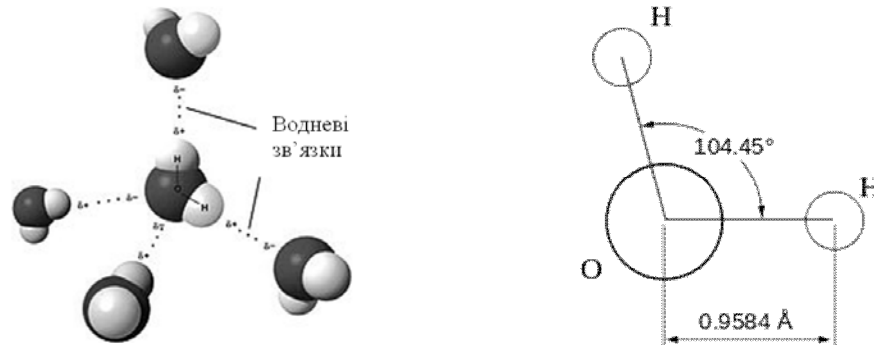


Рис. 1. Водневі зв'язки води та відносне розташування її молекул

З цієї причини молекула води є активним диполем, де киснева сторона негативна, а воднева позитивна. У результаті молекули води притягаються своїми протилежними полюсами, і утворюють полярні зв'язки, на розрив яких потрібно багато енергії [1]. У складі кожної молекули іон водню (протон) не має внутрішніх електронних шарів і має малі розміри, у результаті чого він може проникати в електронну оболонку негативно поляризованого атома кисню сусідньої молекули, утворити водневий зв'язок з іншою молекулою. Кожна молекула зв'язана з чотирма іншими за допомогою водневих зв'язків – два з них утворює атом кисню і два атоми водню (рис. 1). Комбінація цих зв'язків між молекулами води – полярних і водневих визначає дуже високу температуру її кипіння і питому теплоту пароутворення. У результаті цих зв'язків у водному середовищі виникає тиск у 1,5–2,0 тис. МПа, що і пояснює, чому важко стискати воду. Так, у разі збільшення атмосферного тиску на 1 Бар вода стискується на 0,00005 частки її початкового об'єму. Через високу полярність молекул вода є унікальним розчинником інших полярних з'єднань. Отже, кожна молекула води може утворити чотири водневих зв'язки за участю двох незв'язаних електронних пар атома кисню і двох поляризованих атомів водню [1].

Структури води і льоду дуже схожі (рис. 2). У воді, як і у льоді, молекули намагаються розташуватися у визначеному порядку – утворити структуру, однак тепловий рух цьому перешкоджає. За температури переходу в твердий стан тепловий рух молекул більше не перешкоджає утворенню структури, і молекули води упорядковуються, у процесі цього обсяги порожнеч між молекулами збільшуються і загальна щільність води знижується, що і пояснює причину меншої щільності води у фазі льоду. При випаровуванні, навпаки, рвуться всі зв'язки. Розрив зв'язків вимагає багато енергії, тому у води найбільша питома теплоємність серед інших рідин і твердих речовин. Завдяки цій властивості вода нерідко використовується як теплоносій. Однак питома теплоємність води, на відміну від інших речовин, непостійна: в разі нагрівання від 0 до 35 градусів Цельсія її питома теплоємність

знижується, тоді як в інших речовинах вона постійна при зміні температури. Крім великої питомої теплоємності, вода також має великі значення питомої теплоти плавлення (0°C і $333,55$ кДж/кг) і пароутворення (2250 кДж/кг) [1].

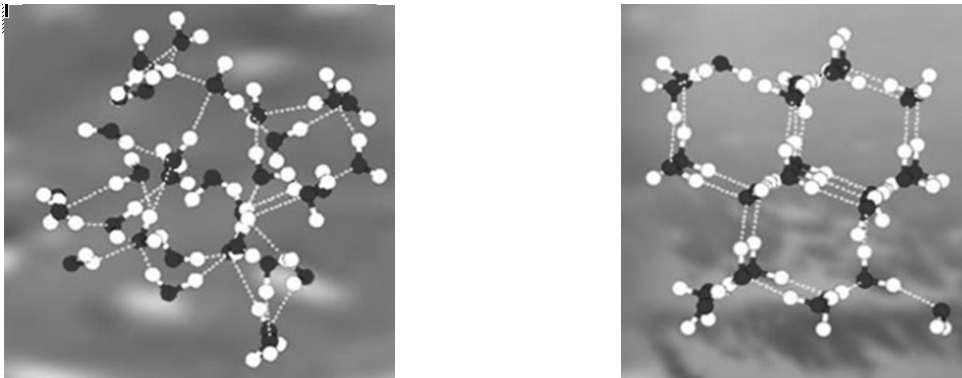


Рис. 2. Побудова молекулярних структур: а – води; б – льоду

Багато властивостей води аномальні, що зумовлено особливостями будівлі молекули води. Так, вода має найбільшу теплоємність серед рідин $4,1868$ кДж/кг, що майже вдвічі перевищує таку рослинних олій, ацетону, фенолу, гліцерину, спирту, парафіну; і вона в десять разів більша, ніж у заліза. У води від 0°C до 37°C теплоємність знижується, а з 37°C і вище – росте. Тобто найлегше вона нагрівається і найшвидше охолоджується при температурі 37°C .

Ця особливість поки не пояснена, як стверджує академік А. М. Черняєв, однак збіг з нормальною температурою здорової людини ($36,6\text{--}37,0^{\circ}\text{C}$) мимоволі наводить на певні міркування. Припустимо, якби вода не володіла цією дивною якістю, що відбулося б зі станом людини, яка складається переважно з води. Тоді б просто настільки високоорганізована система не була захищена від впливу високих температур. Навряд чи цілющі властивості лазні-сауни були б доречні. Вже при 42°C білок необоротно руйнується. Залишається тільки захоплюватися, що вода наділила людину найкращим режимом теплового саморегулювання.

Аномально змінюється і щільність води під час нагрівання – охолодження. У разі зниження температури від 100°C до $3,98^{\circ}\text{C}$ вода безупинно скорочується в об'ємі, її щільність приблизно 1 г/мл. Але після перетинання границі $3,98^{\circ}\text{C}$ настає зворотне явище. При кристалізації щільність різко зменшується і для льоду становить $0,91$ г/мл. Отже, одиниця об'єму води при $3,98^{\circ}\text{C}$ важить більше, ніж при 0°C . Після охолодження нижче за чотири градуси утворюється лід, він спливає, але під ним завжди залишається вода. Створюється певний термос життєзабезпечення. Якби вода не мала такої властивості, усі природні сховища води промерзли б, і все живе зникло б. На структуру води істотно впливає інфразвук. Водяні кластери найлегше змінюють свою структуру на інфразвукових частотах від 1 Гц до 15 Гц [1].

Власні коливання молекул води відбуваються саме в цій області, і їхню структуру легше розгойдати і розгорнути. Такими ж частотами володіють коливання земної кори, викликані рухом Місяця і частково зірок. На Землі у кожній місцевості створюється своя комбінація таких зовнішніх впливів. І вода в кожній такій місцевості набуває первісну оригінальну кластерну структуру. Усі тварини і рослини, що народжені там, теж мають такий первісний запис. Тому їм сприяє не тільки “дим Батьківщини”, але і місцева вода. Водночас, у деяких місцях існують геопатогенні зони, які можуть істотно спотворити структуру води. Певного впливу частоти коливань води зазнає і біополе людини, яке володіє також власною частотою. Отже, будь-який емоційний стан людини теж

записується на воду усередині неї або передається чистій воді в судині, або воді в організмі іншої людини. Особливо шкідливі для структури води негативні емоції – злість, гнів, агресія, нерозумна діяльність. Позитивні емоції виправляють воду [2]. Відстань впливу залежить від біоенергетики самої людини. І, як відомо, чим нижча частота коливань та більша їхня потужність, тим далі вони передаються. Йдеться про механічні коливання інфразвукової частоти у рідині.

Крім інфразвуків і біополів, перебудовувати структуру води можуть хімічні або біологічні (наприклад, віруси) домішки в ній, як первісні в різних місцевостях, так і штучно розчинені або занесені ззовні. Цей механізм також узгоджений із властивостями іонних водневих зв'язків. Молекули в об'ємі води зближаються із протилежними зарядами з зарядами розчиненої речовини або домішок. А протилежні кінці молекул води повторюють структуру обліпленої молекули. До них притягаються наступні молекули води і так ця структура поширюється. Іноді такі перетворення і корисні, наприклад у гомеопатії, де малі кількості хімікатів перебудовують велику кількість води, а її структура лікує без впливу яких-небудь хімічних речовин.

Велике значення має зміна поверхневого натягу води. Водопровідна вода істотно відрізняється від тієї води, що оточує тканини і клітини організму людини. Поверхневий натяг водопровідної води – 73 дини. Гідрокавітація та дія магнітного поля здатні знижувати поверхневий натяг рідини [1] до значень, що майже дорівнюють поверхневому натягові людської крові. Це полегшує транспорт живильних речовин безпосередньо в клітини і сприяє виведенню з організму токсинів. У разі вживання структурованої води збільшується електрична провідність організму, що веде до зменшення витрат енергії на проникнення молекул води крізь мембрану клітини. Організму також постачаються електрони, що необхідні йому для обміну інформацією на клітинному рівні.

Вже накопичено обширний експериментальний матеріал про фізико-хімічні властивості чистої води та водних систем, надійно встановлено деякі деталі будови та властивостей води, однак багато питань поки що залишаються без відповіді. Власне, структура та властивості чистої води визначають комплекс специфічних властивостей її як розчинника і цим відрізняють її від неводних розчинників.

Одним зі способів поліпшення якості води є дія на неї постійним магнітним полем. У природі це відбувається природно під час проходження води через земні породи. У роботах [3, 4] показано, що під впливом магнітного поля відбувається ослаблення або розрив водневих зв'язків між молекулами води, внаслідок чого зростає їх рухливість. Водночас зміну фізико-хімічних властивостей води під впливом магнітного поля пов'язують з наявністю в ній домішок, особливо феромагнітних [5]. Доведено, що омагнічена вода має підвищену проникність крізь клітинні мембрани, бактерицидність, очищає судини від чужорідних білків, знижує кількість холестерину в крові і печінці, підвищує обмін речовин, сприяє м'якому роздробленню каменів у жовчному міхурі й нирках, регулює артеріальний тиск і підвищує тонус організму, а також стимулює імунітет, регенерацію (відновлення кліток), а це особливо важливо за наявності запальних процесів з повільним перебігом, незагойних ран і переломів. Класичне підтвердження ефективності омагніченої води – прискорення росту рослин. Цілющі властивості омагніченої води зберігаються звичайно не більше ніж добу, і це треба враховувати, лікуючись нею.

Одним із потужних впливів на властивості води є кавітація. У рідині вона виникає на одиничному зародку, за час у кілька десятків періодів коливань розвивається в стабільну область, що складається з безлічі кавітаційних пухирців. Процес розвитку кавітаційної області пояснюють так. Під час сплескування кавітаційний пухирець може втрачати стійкість і розпадатися на частини, а тому що тиск і температура в цей момент у пухирці максимальні, то тиск і температура парогазової суміші в “уламках, що утворилися”, теж підвищені. У фазі

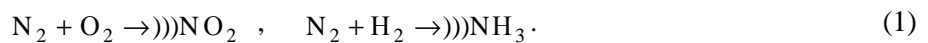
розтягання вони легко розширюються і стають новими зародками кавітації, менш міцними, ніж постійно наявні в рідині. Кавітаційні порожнини, що виникли на цих зародках, породжують нові. Усередині кавітаційної області відбувається безперервний процес розмноження і коагуляції кавітаційних пухирців, причому кавітаційний поріг трохи зменшується, тому що в сталому режимі роль кавітаційних зародків починають виконувати рівноважні пухирці, обсяг і газовий вміст в яких більший, ніж у зародків [6]. Акустична кавітація у рідинах ініціює різні фізико-хімічні явища; сонолюмінесценцію (світіння рідин); хімічні ефекти (звукохімічні реакції); ерозію твердого тіла (руйнування поверхні); диспергування (здрібнювання твердих часток у рідині) і емульгування (змішування і гомогенізація рідин, що не змішуються). Сонолюмінесценція і звукові хімічні реакції є зв'язаними процесами, але в принципі вони можуть здійснюватися незалежно один від іншого [7, 8]. Ультразвукова люмінесценція і світіння, що виникає під час гідродинамічної кавітації, є близькими за природою процесами. Під час експериментального дослідження кавітації в низькочастотних звукових полях виявлено аналогію за фізико-хімічними ефектами між низькочастотною й ультразвуковою кавітацією [9, 8]. Модель фізико-хімічних процесів, що відбуваються в кавітаційному пухирці і прилеглому до нього обсязі рідини, має такий вигляд [8]. У кавітаційну порожнину можуть проникати пари води, розчинені гази, а також речовини з високою пружністю пари і не можуть проникати іони або молекули нелетких розчинених речовин. У процесі сплескування пухирця енергії, що виділяється, досить для порушення, іонізації та дисоціації молекул води, газів і речовин з високою пружністю пари усередині кавітаційної порожнини. На цій стадії кожний з присутніх газів є активним компонентом, беручи участь у передачі енергії порушення, перезарядженні й інших процесах. Дія звукового поля на речовини, що проникають у порожнину, є безпосередньою, прямою, причому дія активних газів O_2 , H_2 і N_2 у кавітаційній порожнині двоїста: по-перше, O_2 і H_2 беруть участь у реакціях трансформування радикалів:



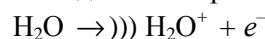
а N_2 – у газових звукохімічних реакціях, кінцевим результатом яких є фіксація азоту:



по-друге, хімічно активні гази, проникаючи в кавітаційну порожнину, беруть участь, так само як і шляхетні гази, у передаванні енергії електронного порушення молекулам води, а також у процесі перезарядження. Тут символом \circ позначена хімічна дія звуку. Під час сплескування кавітаційного пухирця в розчин переходять радикали H° , OH° , іони й електрони малої енергії, що утворилися в газовій фазі при розщепленні молекули H_2O і речовин з високою пружністю пари, продукти їхньої взаємодії і часткових рекомбінацій, а також метастабільної збудженої молекули H_2O . Сумарну схему кавітаційного розщеплення молекули води записують у такому вигляді:



Результати досліджень Тальрозе і Лейдлера, представлених у [15], показали, що нижчий потенціал, за якого утворюються (у невеликій кількості) іони H^- , дорівнює $5,6 \pm 0,5$ В. Основний іон H_2O^+ утворюється при $13,0 \pm 0,2$ В. Кількість іонів H_2^+ , O^- та інших настільки мала, що їхньою присутністю можна знехтувати. Імовірність здійснення реакції

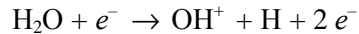


велика, тому що відносна кількість іонів H_2O^+ перевищує суму усіх інших первинних продуктів розщеплення води. Радикал OH утворюється переважно за реакцією



тому що, як видно з інтенсивності смуги H^- у мас-спектрі [18], кількість іонів H^- мала.

Атоми H утворюються з найбільшою імовірністю згідно з реакцією

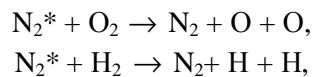


тому що відносна кількість іонів OH^\cdot , яка дорівнює 23,2, значно перевершує кількість іонів O^- і O^\cdot .

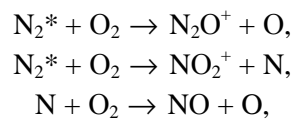
Радикали й іони, як відомо, є цілком стійкими частками, і за відсутності у системі зіткнень з речовинами і радикалами, здатними з ними реагувати, можуть існувати досить довго. Збурені ж молекули є самі по собі нестійкими і вже через 10^{-9} – 10^{-8} с вони спонтанно повертаються у вихідний стан, виділяючи надлишкову енергію або у вигляді кванта випромінювання, або розсіюючи її у вигляді коливальної енергії (тепла). Реакції іонів завершуються доволі швидко, тому на стадії стиску кавітаційного пухирця переважають реакції рекомбінації радикалів H і OH , а в присутності кисню – радикалів HO_2 .



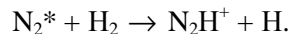
Газофазні реакції за участю азоту при термічному і фотохімічному ініціюванні зумовлені передусім реакціями збурених молекул N_2^* [18], а в разі впливу іонізуючих випромінювань основну роль відіграє первинна іонізація. Тому реакції утворення у кавітаційній порожнині NH_3 у присутності суміші ($\text{N}_2 + \text{H}_2$), а також одержання оксидів азоту за наявності в порожнині ($\text{N}_2 + \text{O}_2$) у принципі можуть здійснюватися за участі як збурених молекул N_2^* , так і іонів N_2^+ , причому ці процеси в кінцевому рахунку зводяться до реакцій атомів азоту N . Атоми водню H практично не реагують з азотом [7, 8]. Тому універсальніший механізм, який описує реакції азоту у кавітаційному пухирці, повинен передбачати, крім реакцій збурених молекул N_2^* [7, 8]:



реакції за участю іонів і атомів азоту, з яких найважливішими є у випадку окиснювання:

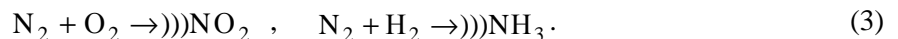


а у випадку відновлення:



Вторинні елементарні процеси, в яких беруть участь радикальні продукти розщеплення H_2O , приводять до утворення NO_2^- та NO_3^- , а також проміжних радикалів NH .

Остаточну сумарну схему кавітаційного розщеплення молекул у воді представляють у такому вигляді:



Активні частки, що виникають в системі після переходу в розчин, сольватуються і реагують з розчиненими речовинами. На цій стадії, коли спостерігаються непрямі дії акустичних коливань, на хід процесу можуть впливати практично тільки хімічно активні гази – O_2 і H_2 . У підсумку вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи розчинених речовин, звук діє на одну речовину – на воду, що приводить до зміни її фізико-хімічних властивостей: збільшення рН, електропровідності води, збільшення кількості вільних іонів і активних радикалів, структуризації й активації молекул.

Дослідження сонолюмінесценції, звукохімічних реакцій і висунуті численні гіпотези, що пояснюють ці явища, нині дають змогу зробити тільки один висновок: природа первинної активації молекул усередині кавітаційного пухирця є або тепловою, або електричною [7].

У наш час існують дві основні групи теорій, висунутих для пояснення енергоємних хімічних і фізико-хімічних ефектів, викликаних кавітацією у воді: теплові й електричні.

Теплові теорії пов'язують ці ефекти з виникненням високої температури всередині кавітаційного пухирця у процесі його адіабатичного стиснення з безперервним зростанням швидкості, а електричні теорії – з розрядом всередині кавітаційного пухирця унаслідок накопичення на його стінках електричних зарядів. У зв'язку з отриманими останніми роками даними про те, що парогазова суміш у кавітаційному пухирці не є розпеченим тілом, яке світиться, а світло є люмінесцентним, нерівноважним [7, 8], виник інтерес до електричних явищ, пов'язаних з кавітацією. Електричні теорії кавітації виникли значно раніше від теплових, однак наявні донедавна електричні теорії не можна вважати задовільними. Електрична теорія, розроблена в останні роки [7], може виявитися альтернативою теплової теорії та її модифікацій. Для розроблення електричної теорії, природно, використовували багато результатів, отриманих у класичних роботах із динаміки кавітаційного пухирця. Електричні явища, що супроводжують пульсацію, розщеплення і коалесценцію пухирців, належать до найменш досліджених проблем кавітації.

Постановка задач. Згідно з електричною теорією проаналізувати кількісну зміну енергії заряду кавітаційних пухирців, що виникають у камері пульсацій вібраційного обладнання. Визначити експериментально вплив на властивості води одночасної дії магнітного поля та гідрокавітації, отриманої у пульсаційних вібраційних установках, та створити нові конструкції вібраційних машин на основі цих ефектів, що є актуальним завданням машинобудівного комплексу.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо та проаналізуємо результати експериментальних досліджень гідрокавітаційного процесу в камері пульсацій вібраційного обладнання. Автор [8] припускає, що пухирці одержують додаткову енергію, відриваючись від великого деформованого пухирця (ВДП) або від вільної поверхні рідини. Можливо, при цьому здійснюється розщеплення і локальна електризація пухирців. У [8] показано, що в низькочастотних акустичних полях на частотах від 7 Гц до 200 Гц виникають окиснювально-відновні реакції, зумовлені утворенням радикальних продуктів розщеплення H_2O (реакції I типу, що раніше виявлені й досліджені в ультразвукових полях).

Дослідження проводились на експериментальній установці [10], у якій є можливість змінювати частоту коливань рідини в межах від 4 Гц до 25 Гц та амплітуди від 1 мм до 3 мм. Виникнення гідрокавітації з утворенням ВДП досягнуто за таких параметрів коливань приводу: частоти 14 Гц та амплітуди 2 мм.

Експериментально (за допомогою швидкісного відеознімання) досліджено, що в процесі коливального циклу в камері пульсацій вібраційного обладнання [10] у разі зниження тиску спостерігається злиття мілких кавітаційних пухирців до великого деформованого пухирця (рис. 7, 8) та його руйнування до мілких пухирців за збільшення тиску (рис. 9).



Рис. 3. Злиття мілких пухирців до ВДП



Рис. 4. Зростання розмірів ВДП



Рис. 5. Руйнування ВДП до мілких пухирців

Розглянемо визначення енергії заряду ВДП, якщо n малих пухирців радіусом r кожен заряджено до потенціалу φ , з'єднуються у ВДП.

Під час розв'язування нехтуємо енергією взаємодії пухирців між собою. Сумарна енергія визначається сумою енергій окремих пухирців:

$$\sum E_{\text{пх}} = n \frac{Cj^2}{2} = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot j^2, \quad (4)$$

де C – ємкість пухирця. $C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r$; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; ε – діелектрична проникність середовища; r – радіус пухирця; j – потенціал пухирця.

У разі зливання пухирців у ВДП його заряд дорівнює сумі зарядів усіх пухирців

$$Q = n \cdot q = n \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot j, \quad (5)$$

а енергія ВДП визначається так

$$E_{\text{ВДП}} = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{Q^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R}, \quad (6)$$

де $R = r \cdot \sqrt[3]{n}$ – радіус великого пухирця.

Тоді маємо:
$$E_{\text{ВДП}} = \frac{16 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot r^2 \cdot j^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \sqrt[3]{n}} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot j^2 \cdot n^{5/3}. \quad (7)$$

Взявши відношення $\frac{E_{\text{ВДП}}}{\sum E_{\text{пх}}} = \frac{n^{5/3}}{n} = n^{2/3}$, отримаємо висновок, що енергія заряду ВДП

збільшується в $n^{2/3}$ раз. Графік (рис. 6) демонструє кількісну зміну енергії заряду ВДП від кількості мілких пухирців, що об'єдналися. Тобто чим більше мілких пухирців об'єднується у ВДП, тим більшою стає енергія його заряду.

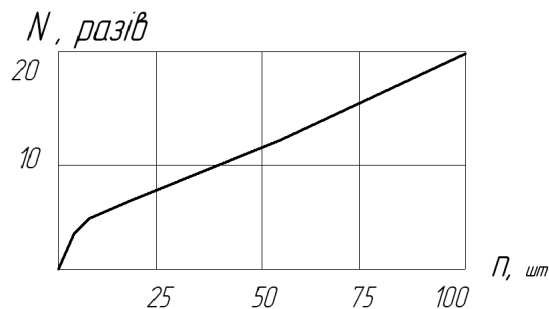


Рис. 6. Кількісна зміна енергії заряду ВДП від кількості мілких пухирців

У процесі руйнування ВДП до мілких пухирців відбувається іонізація газу в пухирцях, а надлишкова енергія зарядів переходить у теплову. Отримані результати дозволяють з упевненістю вказати на перебіг за низьких частот різноманітних окиснювально-відновних реакцій. Структура та параметри низькочастотного акустичного поля впливають на швидкість окиснювально-відновних реакцій, газофазових процесів у кавітаційному пухирці та ланцюгових реакцій.

Для підтвердження запропонованих положень проведено експериментальні дослідження із визначення властивостей, структури води в процесі обробки у камері пульсацій вібраційного обладнання. Деякі результати досліджень наведено нижче. Отримано підтвердження утворення NH_3

в кавітаційній порожнини та зростання його кількості з часом оброблення за низькочастотних коливань (див. рис. 7).

Проведено прямі термостатичні вимірювання нагрівання дистильованої води, з точністю до 0,1°C. З'ясовано, що дистильована вода, оброблена гідрокавітацією, на відміну від звичайної, не має строго певної температури кипіння. Відхилення від прямої лінії починаються вище за 90 °С (рис. 8, крива 2). Це свідчить про нерівноцінність водневих зв'язків між молекулами води після гідрокавітаційної обробки.

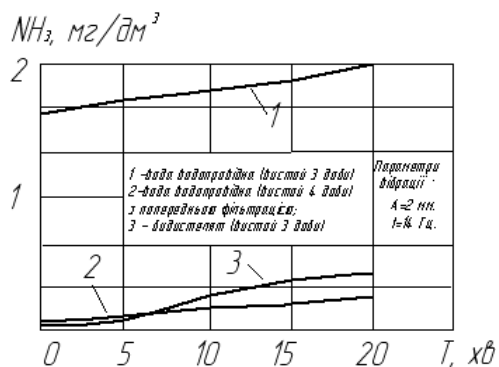


Рис. 7. Зміна вмісту NH_3 у воді після гідрокавітаційної обробки за часом

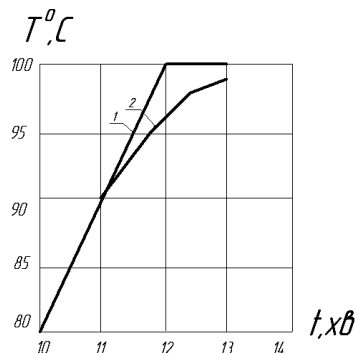


Рис. 8. Нагрівання дистильованої води (1) та дистильованої води після гідрокавітаційної обробки (2)

Після цього проведено дослідження кінетики хімічних реакцій в середовищі води після 30-хвилинної обробки в кавітаційному пристрої.

Як модельну реакцію було вибрано окиснення метанолу перманганатом калію в кислому середовищі. За концентрації CH_3OH 0,5 М і $KMnO_4$ $4 \cdot 10^{-3}$ М така реакція проходить із помірною швидкістю, яка дозволяє надійно стежити 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 2 М сульфатної кислоти і звичайною водою (контрольний дослід), або водою після гідрокавітації доводили реакційну суміш до мітки. Після внесення 0,2 мл перманганату калію та інтенсивного перемішування розчин фотометрували.

Результати дослідів показали (рис. 9), що в середовищі води після її одночасного оброблення кавітацією та постійним магнітним полем швидкість реакції значно зростає.

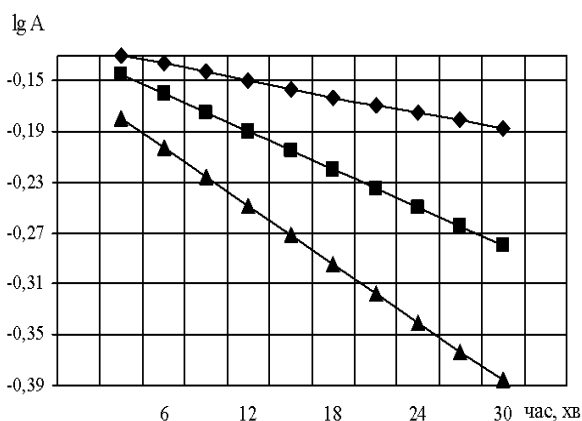


Рис. 9. Залежність логарифма оптичної щільності реакційної суміші $CH_3OH - KMnO_4$ від часу реакції: " – контроль; ■ – гідрокавітація; ▲ – гідрокавітація та омагнічування

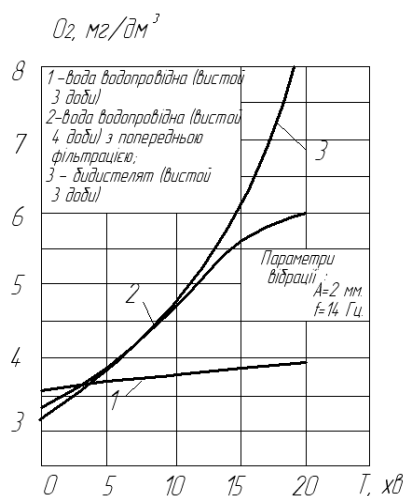


Рис. 10. Залежність окиснюваності води від часу обробки гідрокавітацією

Окиснюваність характеризує загальний вміст у воді органічних речовин та виражається кількістю кисню, яка витрачається на їх окиснення. Тут зазначимо, що зі зростанням окиснюваності збільшується кількість кисню, необхідного для окиснення шкідливих домішок у цьому об'ємі води. Використано перманганатний метод визначення окиснюваності. Отримані результати (рис. 10) вказують на істотний вплив кавітаційних процесів на склад води. З графіка рис. 10 бачимо зростання окиснюваності для різних джерел води зі збільшенням часу гідрокавітаційної обробки у вібраційному обладнанні.

На основі проведених досліджень запропоновано конструктивні схеми установок кавітаційно-магнітного впливу на структуру води, а також її розігрівання.

В основу створення мобільної малогабаритної установки [11] із високою кратністю перемішування всього об'єму рідини, омагнічування та нагріву покладено застосування вихрового нагрівача рідини (ВНР) з регулюванням інтенсивності кавітаційного процесу.

Кавітаційно-магнітна теплогенерувальна установка складається з бака, в який встановлено електромагнітний насос, що подає рідину у ВНР, з якого вода потрапляє у блок омагнічування, зі зворотним рухом рідини, а потім потрапляє знову у бак. Так здійснюється багатократна обробка магнітним полем та розігрів води за допомогою обертального руху рідини та гідрокавітації. Вода після омагнічування та кавітації стає структурованою. Застосування такої води для поливання сільськогосподарських культур підвищує пророщуваність та врожаї.

Конструкція кавітаційно-магнітної теплогенерувальної установки показана на рис. 11: вона складається із бака 1, який встановлено в корпус 2. В бак занурено електромагнітний насос 3, який може подавати воду через розподільник 4 у зливний шланг 5 або у вихровий нагрівач рідини 6. Вода після закручування попадає в дросель 7, величина інтенсивності кавітаційного процесу регулюється гвинтом 8. Вихідний шланг, з метою відбору підігрітої води, має розгалуження, створене шлангом 9 та регулятором 10 і з'єднане з вхідною частиною ВНР. Вихідний шланг з'єднано з вузлом омагнічування 11, з якого оброблена вода 12 зливається через шланг 13 у бак 1.

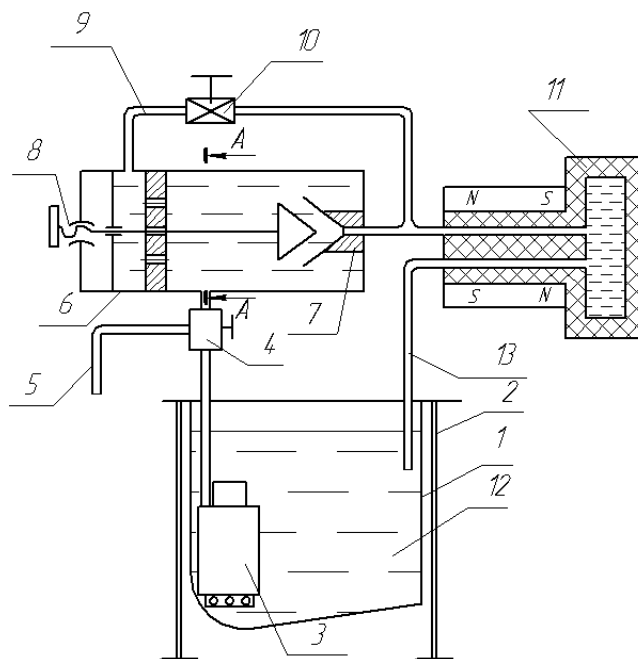


Рис. 11. Конструкція кавітаційно-магнітної теплогенерувальної установки

Працює устаткування так: вода 12 заливається у бак 1. Вмикається вібраційний електронасос 3 і вода подається через розподільник 4 у вихровий нагрівач рідини 6 та проходить крізь дросель 7, вузол омагнічування 11 та по трубі 12 зливається у бак 1. Підігріта вода частково проходить по шлангу 9 крізь регулятор 10 у вхідну частину ВНР та крізь отвори знову втягується у вихровий потік, де знову розігрівається та проходить крізь блок омагнічування. Цикл руху рідини повторюється. Після певного часу обробки, перемкнувши розподільник 4, воду 13 з бака 1 викачують у відра для поливу.

Запропонована конструкція теплогенерувальної установки для кавітаційно-магнітної обробки дає можливість прискорено підігрівати та багатократно обробляти магнітним полем невеликий об'єм води на приватних земельних ділянках та мілких фермах.

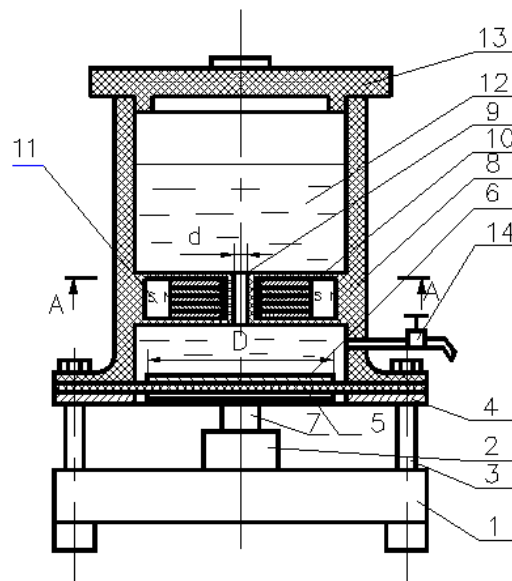


Рис. 12. Конструкція вібраційної кавітаційно-магнітної установки

Запропонована конструкція вібраційної установки для одночасного впливу кавітації та магнітного поля на властивості води [12].

Конструкція кавітаційно-магнітної установки для обробки води показана на рис. 12: вона складається із основи 1, на який встановлено вібропривід 2 та на шпильках 3 плита 4. На плиті 4 встановлено гумову мембрану 5, яка затиснута дисками 6 та з'єднана штоком 7 з віброприводом 2. Зверху на мембрану встановлена ванна 8, яка розділена на дві частини отвором 9, який охоплено загостреними сегментними осердями 10 та постійними магнітами 11. Нижня частина ванни 8 утворює гідропульсатор, а у верхню частину заливається вода 12 та закривається кришкою 13. Для зливу обробленої води у нижній частині ванни 8 встановлено зливний кран 14.

Працює устаткування так: вода 12 заливається у ванну 8, після чого ванну 8 закривають кришкою 13. Вмикають вібропривід 2. Завдяки коливанням гумової мембрани 5 із дисками 6 рідина 12 багатократно зворотно-поступально рухається через отвір 9. Під час проходження рідини через отвір 9 у ньому періодично утворюються кавітаційні порожнини. Блок постійних магнітів 11 створює неоднорідний магнітний потік з великим градієнтом напруженості. Ці два фактори енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості. Після певного терміну багатократної обробки вода зливається через кран 14.

Висновки. Дослідження зміни властивостей води підтвердили існування звукохімічних реакцій при інфразвукових коливаннях та показали збільшення швидкості хімічних реакцій, зменшення енерговитрат під час кип'ятіння води, підвищення окиснювальної здатності води з різних джерел. Запропоновано конструкції пристроїв для кавітаційно-магнітної обробки води, які дають можливість прискорено та багатократно обробляти невеликі об'єми води з незначними енерговитратами.

Кавітаційно-магнітний вплив на рідке середовище, за рахунок вищевказаних ефектів, дає змогу досягти певної зміни властивостей води, суттєвої інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках. Отже, експериментальні дослідження показали доцільність використання магнітного впливу та гідродинамічної кавітації у вібраційному обладнанні.

1. Ларионов. А. К. *Занимательная гидрогеология* / А. К. Ларионов. – М.: Недра, 1979. – 157 с.
2. Сілін Р. І. *Властивості води та сучасні способи її очищення : монографія* / Р. І. Сілін, Б. А. Баран, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 254 с. : іл.
3. Баран Б. А. *Вплив магнітного поля на фармакодинаміку деяких сполук* / Б. А. Баран // *Науковий вісник Ужгородського ун-ту.* – 1999. – вип.4. – С. 154–156.
4. Баран Б. А. *Влияние магнитного поля на кинетику химических реакций* / Б. А. Баран // *Укр. хим. журнал.* – 1998. – Т.64, № 4. – С. 26–29.
5. Миненко В. И. *Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике* / В. И. Миненко. – Х.: Изд-во при Харьков. гос. ун-те, 1981. – 96 с.
6. Розенберг Л. Д. *Кавитационная область // Мощные ультразвуковые поля / под ред. Л. Д. Розенберга.* – М.: Наука, 1968. – Ч. 6. – С. 221–266.
7. Маргулис М. А. *Звукохимические реакции и сонолюминесценция* / М. А. Маргулис. – М.: Химия, 1986. – 288 с.
8. Маргулис М. А. *Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях)* / М. А. Маргулис: учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 272 с.
9. Федоткин И.М. *Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки* / И. М. Федоткин, С .И. Гулый. – К.: Арктур-А, 1998. – 130 с.
10. Силин Р. И. *Применение гидропульсатора как модуля при проектировании вибрационных машин* / Р. И. Силин, А. И. Гордеев // *МЕХАНІКА Z. 59. Modulowe technologie i konstrukcie w budowie maszyn : materialy 3. Międzynarodowej konferencji „Naukowo-Technicznej-MTK 2002”.* – Rzeszow, 2002. – С. 29–33.
11. Патент на корисну модель 54074 України, МПК C02F 1/48. *Кавітаційно-магнітна теплогенеруюча установка* / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Р .С. Сілін, О. А. Гордєєв (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – u201005165; Заяв. 28.04.2010; Опубл. 24.10.2010, Бюл. №20. – 4 с.
12. Пат. на корисну модель 37257 України, МПК C 02 F 1/48. *Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води* / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Б. А. Баран, Є. А. Урбанюк (Україна) ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – № 200806742; заявл. 16.05.2008 ; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22. – 4 с.