УДК 621.01

Р.І. СІЛІН, А.І. ГОРДЄЄВ*

Хмельницький національний університет,
*Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра технології машинобудування

ВІБРАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КАВІТАЦІЙНО-МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ

© Сілін Р.І., Гордєєв А.І., 2009

Дано аналіз використання вібраційних коливань та кавітації у рідині. Запропоновано технологію та вібраційне обладнання для зміни складу води та її властивостей за одночасної дії гідрокавітації та намагнічування. Наведено конструкцію та принцип роботи кавітаційно-магнітного обладнання. Запропонована загальна методика проектування обладнання та методика розрахунків вібраційного приводу.

The analysis of the use of oscillation vibrations and кавітації is given in a liquid. Technology and oscillation equipment is offered for the change of composition of water and its properties at the simultaneous action of гідрокавітації and magnetizing. A construction and principle of work of кавітаційно is resulted – magnetic equipment. A general design technique equipment and method of calculations of oscillation occasion is offered.

Вступ. Використання вібраційних коливань у технологіях обумовлюється потребами підвищення інтенсивності, поліпшення якісних показників, а в деяких випадках і можливістю реалізації технологічних процесів. Унікальні можливості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не тільки оздоблювально-зачисну та зміцнювальну операції, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібротранспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізацію, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь тощо. Це обумовлює ефективність застосування вібраційних технологічних машин у багатьох галузях промислового виробництва.

Огляд літератури. Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, які виконують суто транспортні функції. Фундаментальні роботи І.І. Блехмана, І.Ф. Гончаревича, Г.Ю. Джанелідзе, В.О. Повідайла, В.М. Потураєва, А.О. Співаковського, В.Н. Франчука, К.В. Фролова, А.Г. Червоненко та інших вчених обгрунтовують теоретичні основи процесу вібраційного переміщення та конструктивні схеми вібраційних транспортних машин. Разом із переміщенням супутня обробка продукції вже здійснюється у вібраційних транспортно-технологічних машинах.

У багатьох галузях промисловості усе ширшого застосування набувають вібраційні технологічні процеси, розроблені під керівництвом Р.Ф. Ганієва, Н.І. Кобаско, у яких використовуються багатофазні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла і полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, мілкодисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищах тощо. Здійснюючи процеси, пов'язані з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів і піноматеріалів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотаційне збагачення), істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам [1, 2], багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці і реалізації принципово нових техноло-

гічних прийомів. Так, виникнення вібраційного переміщення включень у багатофазних середовищах сприяє ефективнішому їхньому очищенню від твердих і газоподібних домішок; організація періодичних режимів руху мілкодисперсних фаз істотно спрощує процеси готування однорідних суспензій і перемішування рідин [2].

Активне і цілеспрямоване використання вібраційних впливів як керуючого фактора є дуже перспективним напрямком у вібраційній технології, пов'язаної з обробкою поверхонь матеріалів у рідкому середовищі, що містить частки твердої й газоподібної фаз. У зв'язку з цим великого значення набувають дослідження можливих форм відносного руху середовища і динамічних характеристик при низькочастотних коливаннях рідкого середовища.

Відомі наукові роботи, в яких розглядаються наведені вище технологічні машини, стосуються здебільшого вузькоспеціалізованого різновиду обладнання. Сьогодні відомі фундаментальні праці, які присвячені теоретичним основам вібраційного руху сипкого або рідинного середовища, розрахунку вібраційних приводів, але відсутні основи проектування та практичного розрахунку вібраційних технологічних машин, де рідина є об'єктом обробки.

Ця наукова робота містить дослідження тенденцій розвитку технологічного вібраційного обладнання як спеціалізованого, так і прохідного типу, у якому рідина виступає як середовище-об'єкт, який піддається керованим вібраційним впливам.

Нині нагромаджено численний експериментальний матеріал про фізико-хімічні властивості чистої води та водних систем, надійно встановлені 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 від неводних розчинників.

Робота Дж. Бернала і Р. Фаулера [3], в якій запропонована тетраедрична модель молекули води з двома позитивними та двома негативними полюсами, фактично започаткувала сучасний етап вивчення структури води і водних розчинів.

Специфічність фізико-хімічних властивостей води значною мірою зумовлена наявністю водневих зв'язків між її молекулами. Незважаючи на велику кількість як теоретичних, так і експериментальних досліджень, фізична природа цих зв'язків остаточно не вияснена [4, 5].

Сьогодні існує багато моделей структури води: континуальна [6], каркасна О.Я. Самолова [7], кластерна Г. Франка – В. Вена [8, 9], солітонна [10].

Розглянувши існуючі гіпотези про структуру води, можна згадати висловлення Р. Хорна, що жодна з теорій не є цілком задовільною і жодна не позбавлена істини [11].

Постановка проблеми. Нині розроблено багато технологій очищення будь-яких стічних вод промисловості і комунального господарства. На превеликий жаль, більшість із них освоюються надзвичайно повільно або і зовсім не освоюються.

Багато методів очищення насамперед пов'язане з хімічними та біологічними методами очистки. Хімічні методи використовують хлорування як фундаментальну реакцію. Хлорування забезпечує обеззаражування. Але хлориди, розкладаючись в воді, створюють хімічні радикали, які впливають на здоров'я людини.

Механічні та фізичні способи очистки води вільні від цих недоліків, тому механічні способи очистки води є дуже перспективними.

Отже, регенерація промислових та стічних вод є однією з актуальних задач сучасного виробництва.

Виклад матеріалу. Виконано багато досліджень з впливу ультразвукової кавітації на активацію води [12]. Встановлено, що інтенсивність кумулятивної дії на середовище при схлопуванні кавітаційного пухирця залежить від газо-парозового вмісту, властивостей середовища, коефіцієнта кумуляції. При ультразвуковій кавітації кількість кавітаційних пухирців залежить від

кількості ядер кавітації, які практично не піддаються регулюванню. Під час гідродинамічної кавітації пухирці утворюються за рахунок дроблення каверни, а кількість і розміри визначаються режимом ведення кавітації, взаємозв'язком кавітаційних параметрів, що дозволяє здійснювати керування інтенсивністю кумулятивних впливів на технологічні процеси. Вже відзначалось, що залежно від способу збудження, кавітація буває акустичною (або ультразвуковою) і гідродинамічною, механізм впливу яких на оброблюване середовище однаковий [13].

У випромінювачах роторного типу акустичні коливання утворюються за рахунок періодичного перекриття пазів у статорі зубцями ротору, що обертається. Таке обладнання використовують для обробки порівняно в'язких рідин, твердих і волокнистих матеріалів.

В роторно-пульсаційних апаратах (РПА) і роторних апаратах з модуляцією потоку (РАМП) під час обробки поєднуються різні способи впливу на середовище за рахунок конструктивних особливостей пристроїв. РПА складається з двох (або більше) роторів у вигляді коаксіальних циліндрів з щілиноподібними отворами. Під час обертання однієї групи циліндрів відносно іншої, отвори всіх циліндрів періодично не збігаються, перекриваючи потік рідини, яка протікає через пристрій. Внаслідок цього виникає ефективна турбулізація і пульсації потоку середовища, яка супроводжуються кавітаційними ефектами. Але таке обладнання має свої недоліки: неможливість регулювання характеристик кавітаційної зони і, отже, ефективності оброблення, труднощі під час регулювання частоти і амплітуди пульсацій за сталих витрат середовища поступове зниження ефективності обробки при багаторазовому проходженні середовища через пристрій. Це зв'язано з тим, що процес утворення кавітаційних каверн гальмується через сильну дегазацію рідини.

Найбільший технологічний інтерес становлять гідродинамічні (ГД) кавітаційні пристрої, в яких в потоці оброблюваної рідини утворюється місцеве просторове зниження тиску і розвивається гідродинамічна кавітація за рахунок різкої зміни геометрії течії рідини. Енергія для збудження кавітації підводиться безпосередньо технологічним потоком рідини (ГД пристрою статичного типу), або кавітатором, який обертається (ГД пристрої динамічного типу).

Розглянемо кавітаційний вплив на властивості води.

Кавітація, що виникла на одиничному зародку, за час у кілька десятків періодів коливань розвивається в стабільну область, що складається з безлічі кавітаційних пухирців. Процес розвитку кавітаційної області представляється в такий спосіб. При захлопувані 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 кавіаційними зародками починають бути рівноважні пухирці, обсяг і газовміст в яких більші, ніж у зародків [14].

Сьогодні немає задовільної моделі кавітаційної області, що адекватно описує її поводження і поводження приналежного до неї окремого кавітаційного пухирця. Поводження кавітаційної області залежить від багатьох явищ і факторів: розмноження і коагуляція (коалесценція) пухирців; їхня взаємодія; зміна характеру пульсацій пухирця за рахунок ударних хвиль і звукового випромінювання сусідніх пухирців; зміна середніх акустичних властивостей середовища; мікропотоки усередині кавітаційної області і на границі пухирця; розподіл зародків кавітації; газовміст тощо.

Для створення кавітаційної області використовується визначена частина енергії первинного звукового поля. Відношення витраченої енергії до повної енергії первинного поля називається коефіцієнтом кавітаційного використання акустичної енергії [15]:

$$\eta = \frac{E_к}{E}. \qquad (1)$$

Енергія звукового поля, що йде на утворення кавітаційної області, витрачається протягом усієї фази розширення кавітаційного пухирця. Це час трохи менший від періоду первинного звуку T_0. Прийнявши цей час таким, що дорівнює T_0, середня за період потужність, що витрачається на утворення всієї кавітаційної області, дорівнює

$$N_к = \frac{E_к}{T_o} = \eta \frac{E}{T_o} = N\eta \,, \tag{2}$$

де N – потужність первинного звуку, Вт.

Отже, кавітаційна область є своєрідним трансформатором потужності, у якому порівняно енергія, що повільно накопичується, звільняється протягом дуже короткого часу, внаслідок чого миттєва потужність у багато разів перевершує середню, що вводиться випромінювачем у кавітаційну область [16]. На розвиток і інтенсивність кавітації великий вплив роблять зовнішні умови і властивості рідини. При кавітації в дегазованій рідині в кавітаційні пухирці надходить менше від кількості повітря, ніж у відстояної, що призводить до зменшення ефекту, що демпфірує, парогазової суміші в пухирці при його змиканні і зростанні тиску в ударній хвилі. Дегазація рідини приводить до зменшення області кавітації з одночасним збільшенням інтенсивності ударної хвилі, створюваної кавітаційними пухирцями [17]. У разі підвищення температури тиск усередині пухирця, визначений тиском пари і газу, збільшується, і ударна хвиля послабляється, але це також призводить до зростання кавітаційної області. З теоретичних передумов зрозуміло, що збільшення гідростатичного тиску приводить до зменшення часу захлопування пухирця і збільшенню інтенсивності ударних хвиль. Експерименти, виконані з дослідження кавітаційної ерозії, сонолюмінесценції і вимірові амплітуди тиску в момент захлопування кавітаційного пухирця, показують, що збільшення гідростатичного тиску приводить до помітного збільшення цих явищ, а потім деякому зменшенню з вираженим оптимумом. Усі ці залежності одержали численні експериментальні підтвердження в різних дослідженнях [17]. Акустична кавітація в рідинах ініціює різні фізико-хімічні явища; сонолюмінесценцію (світіння рідин); хімічні ефекти (звуко-хімічні 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 генетично зв'язаними процесами, але в принципі вони можуть здійснюватися незалежно один від іншого [15, 18]. Ультразвукова люмінесценція і світіння, що виникає під час гідродинамічної кавітації, є близькими по своїй природі процесами. Під час експериментального дослідження кавітації в низькочастотних звукових полях була виявлена аналогія за фізико-хімічними ефектами між низькочастотною й ультразвуковою кавітацією [12, 18]. Модель фізико-хімічних процесів, що відбуваються в кавітаційному пухирці і прилеглому до нього обсязі рідини, подають у такому вигляді [18]. У кавітаційну порожнину можуть проникати пари води, розчинені гази, а також речовини з високою пружністю пари і не можуть проникати іони або молекули нелетучих розчинених речовин. Під час захлопування пухирця енергії, що виділяється, досить для порушення, іонізації і 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, перезарядженню й іншим процесам. 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 порожнини двоїста: по-перше, O_2 і H_2 беруть участь у реакціях трансформування радикалів:

$$H^o + O_2 \rightarrow HO_2{}^o \,, \qquad OH^o + H_2 \rightarrow H^o + H_2O \,, \tag{3}$$

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

$$N_2 + O_2 \rightarrow)))NO_2 \,, \qquad N_2 + H_2 \rightarrow)))NH_3 \,, \tag{4}$$

по-друге, хімічно активні гази, проникаючи в кавітаційну порожнину, беруть участь, так само як і шляхетні гази, у передачі енергії електронного порушення молекулам води, а також під час

перезарядження. Тут символом))) позначена хімічна дія звуку. При зхлопуванні кавітаційного пухирця в розчин переходять радикали H^0 , OH^0 , 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 молекул води подають у такому вигляді:

$$N_2 + O_2 \rightarrow)))NO_2 \quad , \quad N_2 + H_2 \rightarrow)))NH_3 . \qquad (5)$$

Виникаючі в системі активні частки після переходу в розчин сольватуються і реагують з розчиненими речовинами. На цій стадії, коли здійснюються непрямі дії акустичних коливань, на перебіг процесу можуть впливати практично тільки хімічно активні гази – O_2 і H_2. Врешті-решт, 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: збільшенню pH, електропровідності води, збільшенню кількості вільних іонів і активних радикалів, структуризації й активації молекул. Дослідження сонолюмінесценції, звукохімічних реакцій і висунуті численні гіпотези, що пояснюють ці явища, нині дозволяють зробити тільки один висновок: природа первинної активації молекул усередині кавітаційного пухирця є або тепловою, або електричною [15, 18,19].

Багато робіт присвячено вивченню впливу магнітних полів на процеси адсорбції [21, 22], на іонного обміну [23], при корегуванні мінерального складу стічних вод [24], на глибину пом'якшення води [25], на характер перебігу хімічних процесів [26], на біохімічні процеси [27].

Розглянуті гіпотези, цього впливу магнітного поля на водні системи, так чи інакше пов'язують цей вплив із наявністю у воді різного роду домішок. Однак є дані про те, що внаслідок дії магнітного поля відбуваються певні зміни в самій воді. Вплив домішок, очевидно, має допоміжний характер, підсилюючи ефект під час вимірювання тих чи інших фізико-хімічних параметрів водних розчинів.

Наведений огляд експериментальних даних показує можливість застосування магнітного поля для інтенсифікації очистки стічних вод промислових підприємств, що має велике значення для охорони довкілля та екологічної безпеки.

Що ж стосується механізму впливу магнітного поля на зазначені процеси, то при розгляді робіт на цю тему важко знайти якісь закономірності. Автори використовували різні магнітні пристрої, що зумовлювало різний режим магнітної обробки: напруженість магнітного поля, його градієнт, швидкість протікання розчинів тощо. Це ускладнює проведення системного аналізу літературних даних і вимагає накопичення додаткових відомостей з конкретного питання.

Наведений огляд літературних даних стосовно дії магнітного поля на водні системи показує, що такий вплив є багатогранним.

Це – антинакипна дія магнітного поля в системах водопідготовки, вплив попередньої магнітної обробки водних розчинів на процеси сорбції під час фарбування тканин та іонного обміну на мікропористих сорбентах, зміна кінетики хімічних реакцій та, що дуже важливо, біологічна активність магнітного поля, в основі якої лежать біохімічні процеси.

Експериментальні дослідження виконували на установці, показаній на рис 1. Дослідна установка має можливість ступеневої зміни амплітуди коливань та плавної зміни частоти, що дає швидку можливість визначати оптимальні режими роботи обладнання у разі зміни конструктивних параметрів гідропульсатора.

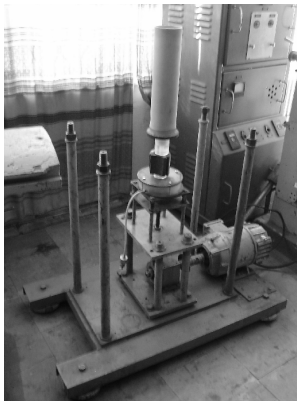

Рис. 1. Загальний вигляд дослідної вібраційної кавітаційно-магнітної установки на основі гідропульсатора

Першим етапом досліджень було вивчення зміни водневого показника (pH) водопровідної води від часу її

обробки в кавітаційному пристрої. Всі досліди виконували при кімнатній температурі. Вимірювання pH здійснювалося за допомогою іономіра ЕВ-74. Точність вимірювань ± 0,05. Виявилося, що із збільшенням часу кавітаційної обробки pH такої води зростає, причому при одночасній дії магнітного поля значно більшою мірою, ніж після звичайної кавітації (рис. 2). До певної міри це можна пояснити тим, що внаслідок магнітної обробки зменшується константанта дисоціації води та зростає потенціал її іонізації [28].

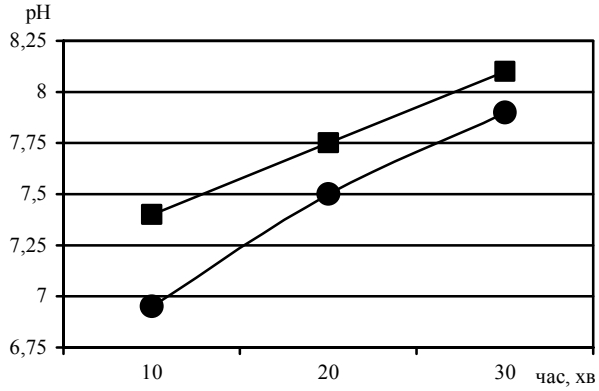

Рис. 2. Залежність pH води від часу кавітації
■ – зміна pH при дії гідрокавітації та омагнічування;
● – те саме при дії самої гідрокавітації

Досліди, виконані на експериментальній установці (рис. 1), показали збільшення pH від 6,75 (для контрольної води) до pH 7,9 (обробленою кавітаційним способом) та до pH 8,15 (за одночасного впливу кавітації та магнітного поля). Дослідження зміни складу та властивостей води показали зниження вмісту кальцію та магнію на 22 %, підвищення окислювальної здатності води на 70 %, зменшення у 2,2 раза біологічної потреби кисню.

Для оцінки характеру впливу кавітаційно-магнітної обробки води було застосовано методику природного сушіння краплі води на прозорому склі. Результати виконаних досліджень показані на рис. 3, 4, 5.

Рис. 3. Кристалічний слід води необробленої

На рис. 3 структура осаду має нерівномірний характер. По краях та в центрі осаду спостерігається висока щільність та кристалічні утворення, що свідчить про незрівноважений енергетичний стан води.

Рис. 4. Кристалічний слід води після обробки кавітацією

На рис. 4 структура осаду рівномірніша, але по краях та у центрі видно незначні кристалічні утворення.

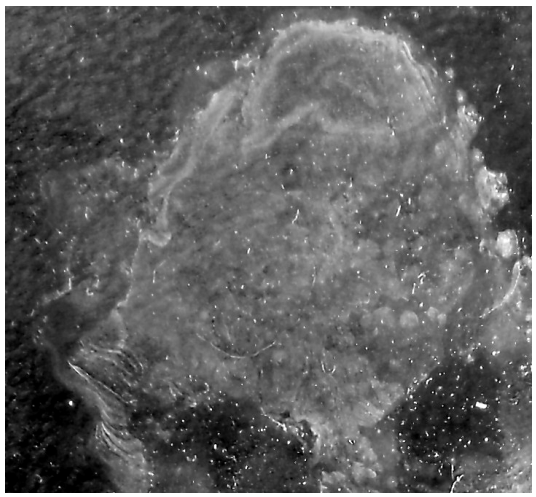

Рис. 5. Кристалічний слід води після одночасної обробки кавітацією та омагнічуванням

На рис. 5 структура осаду більше упорядкована, дрібнокристалічна та більше структурована, спостерігається більше розтікання краплі, що свідчить про зменшення поверхневого натягу води після обробки.

Кавітаційно-магнітний вплив на рідке середовище, за рахунок вищезазначених ефектів, дозволяє досягти істотної інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках. Отже, експериментальні дослідження показали доцільність використання магнітного впливу та гідродинамічної кавітації у вібраційному обладнанні.

Проаналізувавши переваги та недоліки різних кавітаційних пристроїв та магнітного впливу на рідину розроблено конструкції вібраційного обладнання для кавітаційного та магнітного впливу на властивості води [29–33].

Автори запропонували конструкцію вібраційного пристрою з електромагнітним приводом для одночасного впливу кавітації та магнітного поля на властивості води.

Конструкція кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води з електромагнітним приводом показана на рис. 6, *а*. Він складається із основи 1, на який встановлено пластину 2 віброприводу. На пружних підвісках 3 встановлені проміжна плита 4 та реактивна плита 5, на якій встановлено електромагнітні котушки 6. На проміжній плиті 4 встановлено активну плиту 7, які між собою з'єднані плоскою пружною системою. На стійках 8 встановлено диск 9, який із

мембраною 10 та корпусом 11 створює камеру гідропульсатора. Мембрана 10 з'єднана штоком 12 з проміжною плитою 4. У корпусі 11 встановлені постійні магніти 13, які охоплюють канали 14, що з'єднують камеру гідропульсатора та ванну 15, у якій встановлено кран 16 для зливання обробленої води. На рис. 6, *б* показано вигляд А електромагнітного приводу.

Працює устаткування так: воду заливають у ванну 15. Подається перемінний струм на котушки 6. Коливання від електромагнітного приводу передаються через шток 12 мембрані 10. Завдяки коливанням гумової мембрани 10 із дисками рідина отримує багатократний зворотно-поступальний рух через отвори 14. При проходженні рідини через отвори 14 в них періодично утворюється кавітаційні порожнини завдяки гідрокавітації. Блок постійних магнітів 13 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 15.

Вібраційний привод працює так. Дві суміжні плити, а саме проміжна 4 та реактивна 5, і які з'єднані через віброізолятори до нерухомої основи 1, рухаються синфазно (як одне ціле з однаковими амплітудами коливань) завдяки прикладеному між ними періодично змінному збуджуючому зусиллю, що розвивається електромагнітними віброзбудниками 6. Активна плита 7, кінематично збуджується від проміжної плити 4 через пружну систему з сумарною жорсткістю на згин, та рухається в протифазі до двох суміжних плит.

Отже, завдяки синфазному руху проміжної та реактивної плити протифазному руху активної плити повітряний проміжок стає мінімальним і постійним та при значному тяговому зусиллі отримаємо незначні енерговитрати. Необхідно відзначити, що саме проміжна та активна плити, утворюють двомасову систему з певним резонансним налагодженням, і задають робочу частоту коливань механічної системи вібраційного приводу.

Запропонована загальна методика проектування вібраційного обладнання для впливу на склад та знезараження води

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

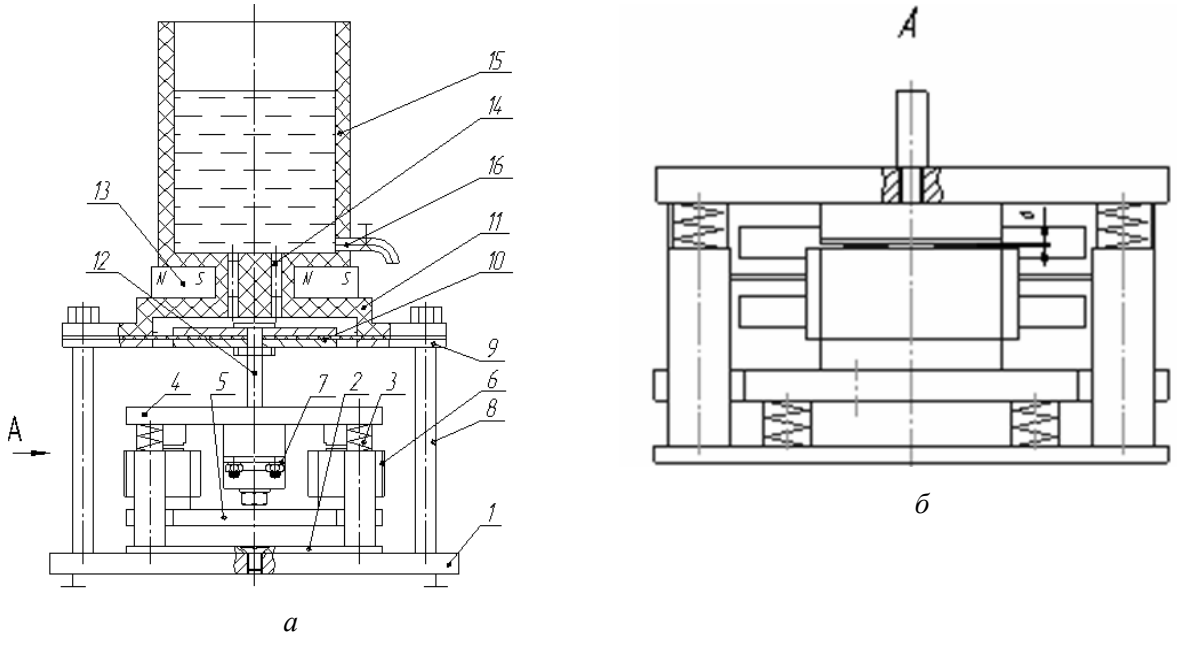

Рис. 10. Конструкція кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води з електромагнітним приводом

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

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_г}{450 \cdot \psi \cdot \omega}}, \quad (6)$$

де $V_г$ – годинний об'єм виштовхуваної рідини; ψ – співвідношення ходу мембрани до діаметра пульсаційної камери, $\psi = \frac{2A}{D} = 0{,}02...0{,}033$; A – амплітуда коливань; максимальне значення 0,25 мм; ω – кутова швидкість; для отримання синфазного руху коливальних масс електромагнітного приводу кутова швидкість вибирається 628 рад/с.

Діаметр насадків, їх форма, кількість та розташування вибирається залежно від об'ємів рідини, яка оброблюється, та продуктивності процесу. Виконані дослідження [333] показали, що діаметр насадків для обладнання впливу на склад води при значних амплітудах та низьких частотах перебуває в межах:

$$d_н = 8...12 \text{ мм}. \quad (7)$$

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

$$d_н = \sqrt{\frac{D^2{}_к \cdot 2A_{пр}}{A_{стр}}},$$

де $A_{пр}$ – амплідуда коливань приводу; $A_{стр}$ – амплітуда коливань струменя $A_{стр}$ = 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:

$$L_н = (4...5)d_н. \quad (8)$$

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

$$D_к = (11...12)d_н \quad (9)$$

Для отримання синфазного руху коливальних мас приводу значення частоти коливань приводу та амплітуду коливань приводу приймаємо відповідно 100 Гц та 0,25 мм.

Максимальну силу гідродинамічного тиску у камері гідропульсатора приймаємо P = 0,12…0,14 МПа (експериментальні дані).

Визначаємо тягове зусилля.

$$F_{тяг} = F_{ст} + F_{дін}, \quad (10)$$

де $F_{ст} = \frac{\pi \cdot D_к^2}{4} P$, $F_{дін} = 0{,}5F_{ст}$.

Під час використання насадків із більше ніж одним отвором дійсне значення сили гідродинамічного тиску менше за розрахункове в 1,4 раза, цей коефіцієнт потрібно враховувати при виборі сили гідродинамічного тиску.

Співвідношення діаметра насадка до діаметра ємності лежить у межах:

$$D_є / d_н = \text{від } 10 \text{ до } 20, \quad (11)$$

де $d_н$ – діаметр насадка; $D_є$ – діаметр ємності.

Визначаємо діаметр ємності: $D_є = d_н(10...20)$.

Висота ємності приймається: $H_е = (\text{від } 15 \text{ до } 30)d_н$.

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

Маса проміжної плити приймається із урахуванням маси штока та маси дисків рухомої мембрани.

$$M_2 = M_{шт.} + M_{диск}. \tag{12}$$

Після визначення основних параметрів обладнання виконують розрахунок вібраційного приводу. Для забезпечення стабільності роботи приводу необхідно, щоб власна частота коливань була би більшою, ніж вимушуча в 3…4 рази. Розраховується перша власна частота за допомогою аналітичних виразів Релея-Рітца. Встановлюється значення активної та проміжної коливальних масс. Розраховується значення реактивної коливальної маси. Розраховується пружна система, застосовуючи метод кінцевих елементів [34]. Моделюється робота вібраційного приводу в програмному продукті MathCAD та перевіряється робота тримассової динамічної моделі на перехідних режимах.

Подальшим етапом роботи буде встановлення основних взаємозв'язків між конструктивними характеристиками та параметрами режимів роботи приводу обладнання для розробки вібраційного обладнання прохідного типу для здійснення технології кавітаційно-магнітної обробки значних за об'ємами водних потоків з метою зміни їх властивостей.

1. Ганиев Р.Ф., Кулик В.В., Малышев П.А., Цапенко А.С. Исследование движения мелкодисперсных включений в колеблющемся сосуде с жидкостью, содержащей сжимаемую сферу // Прикл. Мех. – 1979. – № 7. 2. Ганиев Р.Ф., Пучка Г.Н. Про явища локалізації і поступального переміщення газових пухирців у коливальній рідині / ДАН УССР. – 1978. – № 6. – С. 509–511. 3. Bernal J.D., R.H. Fowler Структура воды и ионных растворов // Успехи физ. наук. – 1934. – Т. 14, № 5. – С. 586–644. 4. Бродский А.И. Роль водородных связей в процессах протонов / Водородная связь. – М.: Наука, 1964. – С. 115–125. 5. Коулсон Ч. Валентность / Пер. с англ. – М: Мир, 1965. – 409 с. 6. Pople I.A. Molecular association in liquid. II A theory of the structure of water / Proc. Roy. Soc. – 1951. – Vol. A250, N 1 081. – P. 163–178. 7. Самойлов О.Я. Координационное число в структуре некоторых жидкостей /\ Журн. физ. химии. – 1946. – Т. 20, № 12. – С. 1411–1414. 8. Frank H.S., W.Y.III.Wen. Ion solvent interaction. Structural aspects of Ion-solvent interaction in aqueous solution: a suggested picture of water structure / Disc. Faraday Soc. – 1957. – N 24. – P. 133–140. 9. Маленков Г.Г. Структура кластеров, содержащих молекулы воды / Вода в дисперсных системах. – М.: Химия, 1989. – С. 132–147. 10. Давидов А.С. Влияние электрон-фононного взаимодействия на движение электрона в одномерной молекулярной системе / ТМФ. – 1979. – Т. 40, № 3. – С. 408–421. 11. Хорн Р. Морская химия, Пер с англ. – М.: Мир, 1972. – С. 33. 12. Федоткин И.М., Гулый С.И. Кавитация. Кавитационные енергетические аппараты и установки. – К.: Арктур-А, 1998. – 130 с. 13. Резник Н.Е. Гидродинамическая кавитация и использование ее разрушающего действия / Тр. ин-та / Всесоюзн. ин-т сельск.- хоз. машиностр. им. В.П. Горячкина. – 1969. – Вып. 59. – С. 144–160. 14. Розенберг Л.Д. Кавитационная область // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – Ч. 6. – С. 221–266. 15. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция. – М.: Химия, 1986. – 288 с. 16. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 192 с. 17. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – Ч. 5. – С. 168–220. 18. Маргулис М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях): Учеб. пособие для хим. и хим.-технол. Спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 272 с. 19. Немчин А.Ф. Новые технологические эффекты тепломассопереноса при использовании кавитации // Пром. теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 39–47. 20. Агранат А., Дубровин М.Н., Хавский Н.Н. и др Основы физики и техники ультразвука: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с. 21. Наберухин Ю.И., Рогов В.А. Строение водных растворов неэлектролитов // Успехи химии. – 1971. – Т. 40, № 3. – С. 369–384.

22. Лященко А.К. Модели структуры водных растворов электролитов по данным плотности / Физическая химия растворов. – М.: Наука, 1972. – С. 5–12. 23. Костилєв П.В., Короленко, Г.С. Сарібеков. Інтенсифікація очищення волокна з вовни // Вісн. Технологічного ун-ту Поділля. –2000. – № 1. – С. 41–43. 24. Агафонова Г.С., Бергер.Г.С. Влияние магнитной обработки на флокуляцию при флотации / Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – М.: Цветметинформация, 1971. – С. 126–132. 25. Крылов О.Т, Классен В.И., Зерницкий В.Г., Ларин Л.А. Применение магнитной обработки воды и водных растворов для интенсификации сорбционно-десорбционных процессов / Магнитная обработка водных систем. – М.: НИИТЭХИМ, 1981. – С. 65. 26. Бучаченко А.Л. Магнитные эффекты в химических реакциях // Успехи химии. – 1976. – Т. 45, № 5. – С. 761–792. 27. Баран Б.А., Березюк О.Я. Дія штучних магнітних полів на біохімічні процеси // Наук. вісн. Ужгородського університету. Сер. Хімія. – 2002. – Вип. 8. – С. 43–46. 28. Baran B., Berezyuk O. The Influence of Magnetic Field on Overvoltage of Water Decomposition // Chemine technologija. – 2003. – № 2(28). – P. 51–55. 29. Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Третько В.В., Сорока І.І. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води // Вісн. ТУП. – 2002. – № 3. – С. 253–257. 30. Пат. України. № 484000 А. Пристрой для очистки стічної води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.І. Павлик. Від 15.08.2002, опубл. в Бюл. № 8. 2002. 31. Сілін Р.І., Гордєєв А.І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води // Тез. доп. 7-го Міжнар. симпозіуму Українських інженерів механіків у Львові, 18–20 травня 2005 р. – Львів, 2005. – С. 92. 32. Деклараційний патент на корисну модель. № 10347. Устаткування для обробки води / Р.І.Сілін, А.І. Гордєєв, І.І. Сорока, В.В. Третько. – Опубл. 15.11.2005. Бюл. № 11. 33. Гордєєв А.І, Баран Б.А., Бережнюк А.К,. Сорока І.І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води // Materiali III miedzynarodowej naucowi-practicznej konferencji "WIADOMOSCI NAUKOWEJ MYSLI – 2007" 01–15 listoda 2007 roku. Tym 12 Technicsne nauki. Budownictwo I architecktura Fizyczna kultura I sport/ Przemysl. Nauka I studia. – 2007. – C. 26–28. 34. Гаврильченко О.В., Ланець О.С., Гурський В.М., Шпак Я.В. Методика розрахунку вертикальної пружної системи вібраційної машини об'ємної обробки з електромагнітним приводом та синфазним рухом коливальних мас // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Укр. міжвідомч. наук.-техн. збірник. – Вип. 40. – С. 56–60.