

Н.О. КОСТЮК, А.І. ГОРДЕЄВ, В.П. НЕЗДОРОВІН

Хмельницький національний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ І ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЕТАПИ ЇЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Запропоновано конструкцію вібраційної машини поршневого типу, яка застосовує низькочастотні вібрації, для формування кавітаційних полів у рідинних субстанціях, що обробляються з метою зміни їх властивостей та знезаражування. В машині використовуються активатор поршневого типу з ексцентриковим приводом. Проведено експериментальні дослідження зміни показників водопровідної води, обробленою кавітацією у вібраційній машині поршневого типу. У результаті проведених досліджень зі знезаражування річкової води встановлено, що після оброблення кавітацією річкової води деякі види колоній бактерій знищуються, а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів, що підтверджує працездатність її для попереднього безреагентного знезаражування. Запропоновані підходи, по проектуванню вібраційної машини поршневого типу, дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин, призначених для впливу на властивості води та її знезаражування.

Ключові слова: знезаражування, властивості води, вібраційні машини, кавітація.

N.O. KOSTIUK, A.I. HORDEEV, V.P. NEZDOROVIN

Khmelnitskyi National University

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF efficiency OF THE VIBRATING MACHINE FOR DISINFECTION AND CHANGE OF WATER PROPERTIES AND STAGES OF ITS DESIGN

The design of a piston-type vibrating machine that uses low-frequency vibrations for the formation of cavitation fields in liquid substances that are processed in order to change their properties and disinfect is proposed. The car uses a piston-type activator with an eccentric drive. The use of such a drive makes it possible to exert a rigid controlled influence on the process of cavitation cavities with the formation of cavitation bubbles by selecting the design parameters of the machine and modes of operation of its drive. Experimental studies of changes in tap water treated by cavitation in a piston-type vibrating machine. Using the original method, the change in the energy state of tap water before and after cavitation was determined. As a result of research on river water disinfection, it was found that after cavitation treatment of river water, some types of bacterial colonies are destroyed, and the number of some bacterial colonies is reduced tenfold, which confirms its efficiency for previous reagent-free disinfection. An example of determining the diameter of the shaft neck under the eccentric and the design parameters of the eccentric with the subsequent selection of the characteristics of the bearing. In order to prevent jamming and rapid wear of the slider-sleeve assembly, the dependences for determining the sleeve length depending on the design choice of the slider diameter are given and the conditions for checking the jamming of the slider-sleeve assembly are determined. Structural diagrams and dependences for determining the calculated parameters of the displacing force and the angle of its action relative to the axis of the slider are given. The proposed approaches to the design of a piston-type vibrating machine allowed to create a generalized methodology for calculating the rational design and technological parameters of vibrating machines designed to influence the properties of water and its disinfection.

Key words: disinfection, water properties, vibrating machines, cavitation.

Вступ

Використання вібраційних коливань у технологіях з використанням рідинного середовища обумовлюється потребами підвищення інтенсивності процесів, поліпшення їх якісних показників, а в деяких випадках і просто можливості їх реалізації. Унікальні властивості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не лише оздоблювально-зачисні операції та зміцнювальні технології, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібраційного транспортування у важких експлуатаційних умовах, гомогенізація, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь тощо. Усе це обумовлює широке і ефективне застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показали дослідження [1, 2] динамічних явищ у багатофазових рідинних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробленні та реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміну властивостей та знезаражування водних потоків.

Одним із явищ, що впливає на дисперсність та хімічний склад рідини, є кавітація. Кавітація – явище розриву рідини під дією розтягуючих напруг, які виникають при появі розрідження в краплині рідини. При розриві краплини рідини утворюються порожнини – кавітаційні бульбашки, заповнені газом чи паром. Отже, розрив рідини обумовлений зміною характеристик швидкостей і тисків. Кавітаційні бульбашки утворюються в тих місцях, де тиск у рідині стає нижчим деякої критичної величини. Якщо тиск знижується внаслідок зростання локальних швидкостей потоку краплинної рідини, то кавітацію називають гідродинамічною, якщо ж зниження тиску викликане проходженням акустичних хвиль, то кавітацію називають акустичною.

Критичне значення тиску, при якому відбувається розрив рідини, залежить від багатьох чинників:

від чистоти рідини, вмісту у ній повітря, стану поверхні, на якій виникає кавітація. Кавітація може виникати в потоці рідини, що має змінний тиск, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми у місцях найбільшого розрідження. Змінне поле тиску створюється різним чином: у результаті зміни швидкості потоку (руху тіла), впливу форми тіла, внаслідок коливального впливу на рідину (ультразвук або вібрації).

Природою кавітації та різними ефектами, що впливають на зношування металів, займались багато дослідників [3, 4]. Проте їх дослідження, в основному, були направлені на пояснення кавітаційного та кавітаційно-ерозійного зношування поверхні металів, а зміни складу середовища, у якому виникала кавітація, були поза увагою досліджень. Якщо на робоче середовище протягом значного періоду часу впливає кавітація, то які фактори впливають на знезаражування і як змінюється властивості робочого середовища?

У зв'язку з виключною складністю процесу кавітації і зв'язаного із ним кавітаційного руйнування поверхонь виробів про можливий механізм процесу дослідники висловлюють різні припущення та існує тенденція пояснювання кавітаційного руйнування дією якогось одного фактора. Усі ці гіпотези можна розділити на окремі групи, які базуються на теорії гідромеханічної дії, електрохімічної теорії кавітаційної ерозії, теорії миттєвих хімічних реакцій та на термодинамічній теорії кавітаційної ерозії. Аналіз робіт із кавітаційного руйнування показує, що більшість авторів як робочу гіпотезу приймають гідродинамічну теорію, розроблену Релеєм, і вважають, що цим визначальним фактором є механічна дія, спричинена руйнуванням бульбашки на поверхні виробу. Проте важлива роль відводиться також і корозійному фактору [5], який у ряді випадків кавітаційного руйнування може бути основним [6].

За останній період з'явився новий напрямок створення вібраційного обладнання для оброблення води кавітаційним процесом, який забезпечує надання воді нових властивостей та її знезаражування. У національному університеті «Львівська політехніка» створені вібраційні електромагнітні кавітатори резонансної дії, робота яких ґрунтується на застосуванні низькочастотних вібрацій для формування кавітаційних полів у значних об'ємах оброблюваних рідинних субстанцій [7, 8]. Однак їм притаманні деякі недоліки – незначний час перебування рідини у стані виникнення кавітаційної зони. Поряд із цим у Хмельницькому національному університеті створено ряд вібраційних машин для кавітаційного оброблення води з метою знезаражування та зміни її властивостей [9], які побудовані на основі використання ексцентрикового віброприводу і забезпечують дискретну обробку рідини багаторазовим впливом кавітаційного процесу.

Актуальність дослідження

Дослідження, що спрямовані на пошуки новітніх конструктивних рішень машин із досконалою динамікою роботи за умови їх придатності для промислового застосування, залишаються, як вагомим науково-технічним завданням, так і суспільною проблемою. Тому дослідження працездатності вібраційних машин для знезаражування та зміни властивостей води, розвиток наукових основ методики проектування та розроблення на основі цього нових конструкцій вібраційних машин і зумовлюють актуальність порушеної проблеми.

Виклад основного матеріалу

Запропоновано конструкцію вібраційної машини для утворення пульсуючих струменів рідини [10], в якій використовується зворотно-поступальний рух рідини через отвір у поршні із гострими крайками на вході. При цьому на виході з отвору отримують пульсуючий струмінь рідини, а при певних режимах роботи вібраційного приводу утворюється струмінь із включеннями газових пухирців, що виділяються з рідини внаслідок кавітаційних явищ. На стадії прямої дії акустичних коливань на хід процесу знезаражування можуть впливати тільки хімічно активні гази, тобто, O_2 і H_2 . У кінцевому результаті вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи, розчинених у воді речовин, акустичні коливання впливають лише на воду, що призводить до зміни її фізико-хімічних властивостей – збільшення рН, електропровідності, числа вільних іонів і активних радикалів, а також структуризації та активації молекул. Окрім того різко збільшується швидкість реакції збуджених коливаннями молекул води з радикалами водню із виділенням складових OH та H_2 . Ці процеси насичують рідину радикалами $OH^\cdot$, $O^\cdot$, O^+ та активними газами O_2 , H_2 . З іншого боку, зростають електричні нестаціонарні сили взаємодії між сусідніми диполями, які посилюють їх коливання як цілісного об'єкту і збільшують вірогідність руйнування рідкокристалічної структури рідини. Для підвищення ефективності процесу необхідно збільшити однократність вказаних впливів, що обумовлює високий ступінь зворотності реструктуризації та призводить до часткового повернення води до стану попередньої рідкокристалічної структури.

Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні бульбашки під дією знакозмінного тиску. При цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температура і тиск. Окрім того, у моменти утворення і зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина, оброблювана кавітацією, піддається термобаричній і електромагнітній дії. Особливістю кавітаційного методу оброблення води полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їх механічного руйнування ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив підсилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їх мембрани і оболонки.

Механічні та фізичні способи очищення води є перспективними. На даний час розроблено ряд нових вібраційних машин та обладнання, у яких вода піддається багаторазовому зворотньо-поступальному проходженню (циклічній гідрокавітації) через кавітаційний пристрій. Типовим представником цієї групи є конструкція вібраційної машини поршневого типу з ексцентриковим приводом. Застосування такого приводу дає можливість здійснювати жорсткий керований вплив на процес виникнення кавітаційних порожнин з утворенням кавітаційних бульбашок шляхом підбору конструктивних параметрів машини та режимів роботи її приводу [10].

Результати дослідження зміни показників водопровідної води, обробленої кавітацією у вібраційній машині поршневого типу (частота коливань 16 Гц, амплітуда коливань 2 мм) показані на рис. 1. Встановлено, що після оброблення за період 10 хвилин, збільшується концентрація вільних іонів водню у воді та з часом відстою води цей показник збільшується до 8,4 рН. Це призводить до зменшення її кислотності. Зменшується показник окислювально-відновлювального потенціалу ОРР, що говорить про насичення киснем рідинного середовища. Показник ТДС (рівня загальної мінералізації) після оброблення за період 10 хвилин, збільшується, що говорить про утворення нових сполук (окиснення Ca та Mg), які з часом випадають в осад та спостерігається зменшення показника 420 до 330 одиниць, що говорить про поліпшення властивостей води.

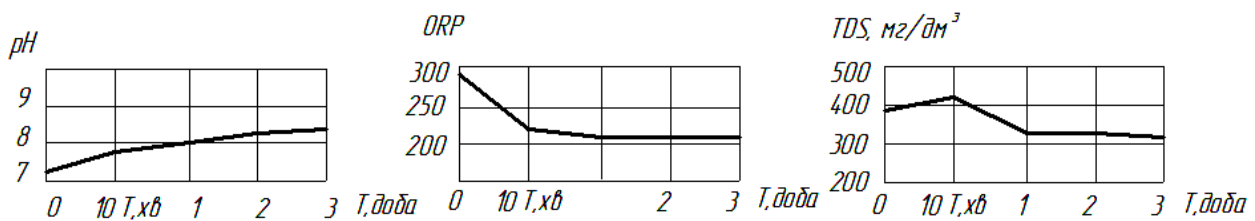


Рис. 1. Зміна показників водопровідної води, обробленої кавітацією за часом: рН – показник жорсткості води (концентрації вільних іонів водню у воді); ОРР – показник окислювально-відновлювального потенціалу; ТДС – показник рівня загальної мінералізації (солемісту)

За допомогою методики [11] визначено енергетичний стан води до впливу кавітації та після неї (10 хвилин). Краплі наносились на скло та висушувались при кімнатній температурі. Потім за допомогою мікроскопу МБС-10 проводилось фотографування їх характерних ділянок. На рис. 2 показано фотографії кристалічного осаду краплі водопровідної води, необробленої кавітацією. Форма кристалів осаду, особливо у крайовій зоні, говорить про певну упорядковану кластерну структуру води, яка при утворенні кристалів мала значний коефіцієнт поверхневого натягу.

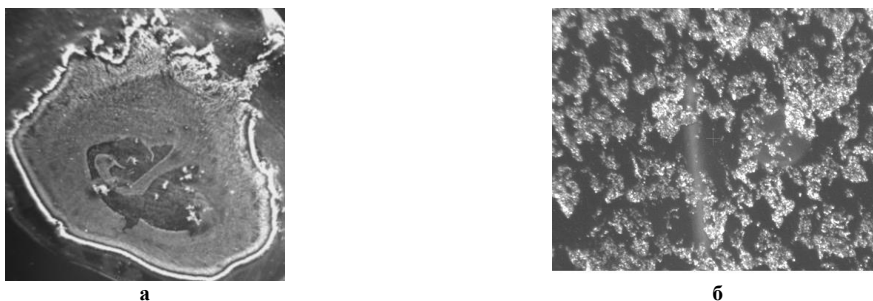


Рис. 2. Фотографія кристалів осаду краплі водопровідної води, необробленої: а – усієї краплі, б – характерної ділянки із збільшенням у 20 разів

На рис.3 показано фотографії структурної будови кристалів на різних ділянках осаду краплі водопровідної води, обробленої протягом 10 хвилин кавітацією. Спостерігається рівномірний розподіл та зрівноважена форма кристалів осаду. Це пояснюється зниженням коефіцієнту поверхневого натягу, розривом водневих зв'язків, структуризацією води. Отримані дані дають можливість стверджувати, що після оброблення води кавітацією проходить зміна властивостей води, поліпшення її придатності до споживання.



Рис. 3. Фотографія структурної будови кристалів на різних ділянках осаду краплі водопровідної води, обробленої кавітацією 10 хвилин: а – збільшення (1 см = 40 мкм); б – збільшення (1 см = 15 мкм)

Для визначення працездатності вібраційної машини по знезаражуванню води проведені дослідження впливу часу гідродинамічної кавітаційної обробки річкової води на зміну її бактеріального складу.

Обробка води кавітацією у вібраційній машині проводилась протягом 10; 20 хвилин та згідно з ГОСТ 18963–73 (Методи санітарно-бактеріологічного аналізу) були проведено нанесення води на споживче середовище. Сутність методу полягає у визначенні загального вмісту мезофільних, мезотрофних аеробів і факультативних анаеробів, здатних зростати на споживчому агарі при температурі $(37 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ протягом (24 ± 2) годин, утворюючи колонії. Після завершення росту колоній, через 24 години, було проведено фотографування контрольного зразка та оброблених гідрокавітацією за певний час (рис. 4).

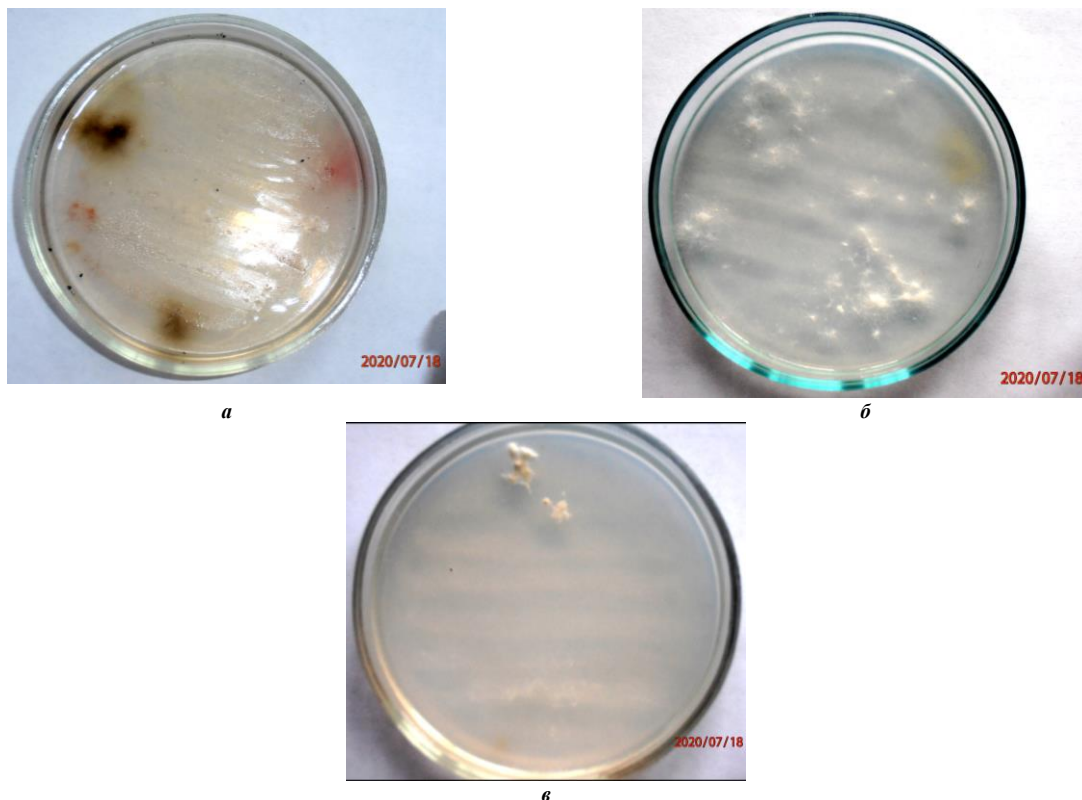


Рис. 4. Фотографії зразків після росту колоній: а – зразок з нанесеною річковою водою не обробленою кавітацією; б – зразок з нанесеною річковою водою обробленою кавітацією 10 хвилин; в – зразок з нанесеною річковою водою обробленою кавітацією 20 хвилин

У результаті проведених досліджень встановлено, що після оброблення кавітацією річкової води деякі види колоній бактерій знищуються (рис. 4, б) (виглядають червоним та коричневим кольором на рис. 4, а), а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів після оброблення 20 хвилин кавітацією (група колоній світлого кольору, рис. 4, в).

Підсумовуючи вищесказане, можна стверджувати, що застосування вібраційної машини поршневого типу з ексцентриковим приводом призводить до зміни певних властивостей води та підтверджує працездатність її для попереднього безреагентного знезаражування водного середовища.

При проектуванні вібраційних машин з ексцентриковим приводом необхідно проводити конструктивні розрахунки окремих вузлів та дотримуватись певних взаємозв'язків параметрів конструкції робочого органу та режимів роботи вібраційного приводу машини. Ексцентриковий привод найбільш раціонально використовувати в низькочастотних вібраційних машинах, а також в установках із фіксованою амплітудою коливань. Цей тип приводу здатний створювати великі збуджуючі зусилля при невисоких частотах коливань.

Після визначення співвідношення геометричних параметрів співвідношення діаметру отвору у поршні до діаметра камери пульсації – від 0,06 до 0,1 м та сили гідродинамічного тиску на поршень [12], вибору амплітуди (від 2 до 2,5 мм) та частоти коливань (від 16 до 20 Гц) розраховується діаметр шийки вала під ексцентрик.

В місці посадки ексцентрика на вал діє сила F :

$$F = F_{in} + F_{din}, \quad (1)$$

де $F_{in} = m \cdot A \cdot \nu$ – сила інерції, яка утворюється коливальним рухом;

A – амплітуда коливань;

ν – частота коливань;

m – маса рухомих частин устаткування;

$F_{\text{дин}} = P_{\text{max}} \cdot S$ – динамічна сила, що виникає внаслідок виникнення тиску P_{max} в камері пульсації, який діє на площу поршня S .

Проводиться розрахунок розміру вала за моментом, який виникає під ексцентриком:

$$M_{32} = F \cdot L, \quad (2)$$

де L – довжина консолі вала під ексцентриком.

Діаметр вала під ексцентриком визначаємо за формулою:

$$d_e = 3 \sqrt[3]{\frac{M_{32}}{0,1 \cdot [\sigma_{32}]}} \quad (3)$$

де $[\sigma_{32}] = 45$ МПа для Сталі 45.

Після розрахунку розмірів вала підбираються конструктивні параметри ексцентрика. Найменший розмір стінки ексцентрика, з точки зору технологічності виготовлення, приймається товщиною один мм. Тоді внутрішній діаметр підшипника можна визначити за залежністю:

$$d_{\text{вн}}^{\text{підш}} = d_{\text{кул}}^{\text{зов}} \geq d_{\text{вала}} + e + 1 \text{ мм}, \quad (4)$$

де $d_{\text{вн}}^{\text{підш}}$ – внутрішній діаметр підшипника;

$d_{\text{кул}}^{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр ексцентрика;

$d_{\text{вала}}$ – діаметр вала під ексцентриком;

e – величина ексцентриситету.

Для поршня діаметром від 100 до 120 мм рекомендується вибирати діаметр повзуна від 10 до 12 мм. Вузол повзун-втулка необхідно змащувати консистентним мастилом. Вісь, яка з'єднує повзун з шатуном, виготовляється індивідуально точінням у розмір, який отримують після одночасного розвірчування отворів у зборі повзуна з шатуном. Це робиться для зменшення втрат амплітуди коливань повзуна та шумових характеристик вузла.

Наступний етап розрахунку, з метою запобігання заклинювання та швидкого зношування вузла повзун-втулка, проводиться визначення довжини втулки l в залежності від конструктивного вибору діаметра повзуна d та для перевірки умов заклинювання вузла рекомендується користуватись приведеними нижче умовами (6) [13]. Для визначення кута μ наведемо приклад його розрахунку застосувавши розрахункову схему, представлену на рис. 5.

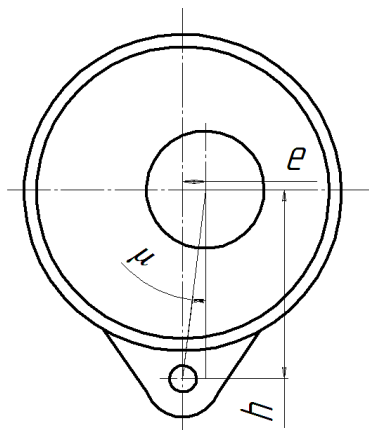


Рис. 5. Схема розташування конструктивних параметрів для визначення кута μ

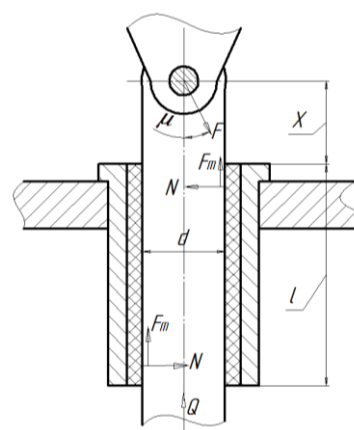


Рис. 6. Схема сил для визначення довжини втулки повзуна залежно від діаметра та кута μ

$$\text{tg} \mu = \frac{e}{h},$$

де e – величина ексцентриситету (від 2 до 2,5 мм);

h – величина відстані від осі валу до осі отвору повзуна.

В поступальній парі результуюча сила тертя F_m залежить не лише від матеріалів поверхонь, що труться, які враховуються коефіцієнтом тертя f , але й від точки прикладання та спрямовування сили і розмірів повзуна. При дії на повзун сили опору Q сила F , яка зсуває та складає з віссю повзуна кут μ (див. рис. 6), визначається за формулою [13]:

$$F = \frac{Q}{\cos \mu - f \cdot \sin \mu \left(1 + \frac{2x - f \cdot d}{l}\right)}, \quad (5)$$

і буде тим менше, чим більше довжина l втулки, і чим менше розмір d та відстань x . Якщо будуть виконуватися умови:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{1}{f \left(1 + \frac{2x - f \cdot d}{l}\right)} \quad \text{або} \quad x \geq \frac{1}{2} \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg} \mu} - 1 + \frac{f \cdot d}{l}, \quad (6)$$

то повзун заклинить, і його рух стане неможливим.

Після визначення розмірів повзуна: діаметра та довжини перевіряємо пару повзун – напрямна втулка на стійкість проти зношування за формулою:

$$P = \frac{F_{\max}}{d \cdot l} \leq [P], \quad (7)$$

де $F_{\max}$ – максимальна сила, що зсуває, Н;

d – діаметр повзуна, мм;

l – довжина втулки, мм;

$[P]$ – допустиме значення тиску для втулки з фторопласту, (від 2,5 до 25 МПа).

Ущільнення поршня з камерою пульсації здійснюється за допомогою гумових кілець V – подібного січення, для цього поршень робиться збірним. Для гасіння паразитних коливань необхідно застосовувати масивну основу машини та встановлювати її на вібраційні опори. Ексцентриковий привод з повзуном необхідно закривати кожухом.

Висновки

У результаті експериментальних досліджень зміни показників водопровідної води, обробленої кавітацією у вібраційній машині поршневого типу, встановлено, що після оброблення за період 10 хвилин, збільшується концентрації вільних іонів водню у воді, відповідно показник рН збільшується до 8,4 рН, зменшується показник ОРР, що говорить про насичення киснем рідинного середовища, зменшення показника TDS 420 до 330 одиниць говорить про зменшення солевого складу, а в цілому про поліпшення властивостей води.

У результаті проведених досліджень по знезаражуванню річкової води встановлено, що після оброблення кавітацією 20 хвилин річкової води, деякі види колоній бактерій знищуються, а кількість деяких колоній бактерій зменшується у десятки разів.

Застосування вібраційної машини поршневого типу призводить до зміни певних властивостей води та підтверджує її працездатність з метою попереднього безреагентного знезаражування.

Запропоновані підходи по проектуванню вібраційної машини поршневого типу дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин, призначених для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані при розробленні технологій та конструкцій вібраційних машин для очищення стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

Література

1. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока // Вісник ТУП. – № 3. – 2002. – С. 253–257.
2. Сілін Р.І. Науково-технічні основи розроблення вібромашин для впливу на властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4(56) – С. 141–148.
3. Рождественский В.В. Кавитация / В.В. Рождественский. – Ленинград : Судостроение, 1977. – 240 с.
4. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит. – М. : Мир, 1974. – 687 с.
5. О соотношении коррозионного и эрозионного факторов в кавитационном разрушении металлов / Ю.А. Карасюк, В.И. Кочеров, В.В. Бенино и др. // Физ.-хим. механика материалов. – 1976. – № 5. – С. 14–16.
6. Тимербулатов М.Г. Влияние коррозии на кавитационную стойкость металлов / М.Г. Тимербулатов // Защита металлов. – 1972. – Т. 8, № 5. – С. 583–587.
7. Шевчук Л.І. Вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії / Л.І. Шевчук, А.І. Афтаназів, О.І. Строган // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : Український міжвід. наук.-техн. зб. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2011. – Вип. № 45. – С. 374–380.
8. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2013. – 173 с.
9. 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.

10. Пат. на корисну модель №126495 України. МПК (2006) C02F 1/00. Вібраційна машина для знезаражування водних середовищ / А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. – № u 2018 10090 ; заяв. 02.01.2018 ; опубл. 25.08.2018, Бюл. № 12. 6 с.

11. Пат. на корисну модель №128630 України. МПК G01N 21/79 (2006), G01N 21/3577 (2014). Спосіб кристалооптичного аналізу структурної будови води та ступеню її активації і забруднення біологічними рештками / А.І. Ганзюк, В.П. Олександренко, А.І. Гордєєв, Н.О. Костюк. – № u201804393 ; заяв. 20.04.2018 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18. 10 с.

12. Костюк Н.О. Визначення частотних параметрів роботи приводу вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води / Н.О. Костюк, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв // Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Динаміка на сучасній науці». – София : «Бял ГРАД-БГ ОДД», 2020. – Vol. 4. – С. 88–92.

13. Кожевников С. Н. Механизмы : справочник / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин ; под ред. С. Н. Кожевникова. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.

References

1. Silin R.I., Hordeev A.I., Tretyko V.V., Soroka I.I. Cavitation treatment and its effect on water storage. Herald of Technological University of Podillya. № 3. 2002, pp. 253-257.
2. Silin R.I., Hordeev A.I. Scientific-technical bases of development of vibrating machines for influence on water properties of vibration in technology and technologies. 2009. № 4 (56), pp. 141-148.
3. Rozhdestvensky V.V. Cavitation. Leningrad: Shipbuilding, 1977, 240 p.
4. Knapp R., Daley J., Hammith F. Cavitation. Per. from english. M.: Mir, 1974, 687 p.
5. Karasyuk Yu.A., Kocherov V.I., Benino V.V. The correlation of corrosion and erosion factors in cavitation fracture of metals. Physical chemistry Mechanics of Materials, 1976, № 5, pp. 14-16.
6. Tymerbulatov M.G. Influence of corrosion on cavitation resistance of metals. Scale of metals. 1972. T.8, № 5, pp. 583-587.
7. Shevchuk L.I., Aftanazov I.S., Strogan O.I. Vibrational electromagnetic cavitator of resonant action // Automation of production processes in mechanical engineering and instrumentation. Ukrainian intermediate. Sci.-Tech. save National University Lviv Polytechnic University. 2011. № 4. pp. 374-380.
8. Shevchuk L.I., Aftanazov I.S., Strogan O.I., Starchevsky V.L. Low-frequency vibration resonator cavitators: monograph. Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic. 2013, 173 p.
9. Silin R.I., Baran B.A., Hordeev A.I. Properties of water and modern ways of its purification: monograph. Khmelnytskyi: KhNU, 2009. 254 p.
10. Patent to the utility model № 126495 of Ukraine. IPC (2006) C02F 1/00. Vibration machine for decontamination of aqueous media / A.I. Hordeev, N.O. Kostyuk; № 2018 10090; statements. 01.02.2018; has published Aug 25, 2018, Bul. № 12, 6 p.
11. Pat. on the utility model №128630 of Ukraine. IPC G01N 21/79 (2006), G01N 21/3577 (2014). The method of crystal-optical analysis of the structural structure of water and the degree of its activation and pollution by biological residues / A.L. Hanzjuk, B.P. Oleksandrenko, A.I. Hordeev, N.O. Kostyuk; № u201804393; application. 04/20/2018; publ. 25/09/2018, Bull. № 18, 10 p.
12. Kostyuk N.O., Hordeev A.I., Hordeev O.A. Determination of frequency parameters of the drive of the vibrating machine for disinfection and change of properties of water / Proceedings of the XVI international scientific-practical conference "Dynamics of modern science". Vol. 4 Sofia, Biyal GRAD-BG ODD, 2020, pp. 88-92.
13. Kozhevnikov S.N., Esipenko J.I., Raskin J.M. Mechanisms: reference book; under ed. S.N. Kozhevnikov. Ed. 4th, reworked. and ext. M.: Mechanical engineering, 1976, 784 p.

Рецензія/Peer review : 16.09.2020 p.

Надрукована/Printed : 06.11.2020 p.