

## ВОДА ПІД ВЗАЄМОДІЄЮ РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛІВ: ВЛАСТИВОСТІ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВІБРАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ

Проведено експериментальні дослідження властивостей води за її основними параметрами після впливу різних енергетичних полів та їх взаємодії. Виконаний аналіз енергетичної структури води після її обробки за видом осаду висохлої краплі води. Отримані характеристики зміни властивостей води з часом після впливу на неї вібраційного, кавітаційного і магнітного полів. Створено нові конструкції вібраційних машин для зміни властивостей рідинних середовищ, отриманих на основі води. Визначено оптимальні параметри конструктивних елементів запропонованого обладнання. За умови використання такої води у сільському господарстві забезпечується підвищення схожості сільськогосподарських культур, а вживання такої води і проникнення її в клітинну структуру людського організму у вигляді мономерів прогнозовано може привести до зменшення його енерговитрат.

Ключові слова: властивості води, вібраційні машини, кавітація, магнітне поле

R.I. SILIN, A.I. GORDEEV, E.A. URBANJUK

Khmelnitsky National University

## WATER UNDER THE INTERACTION OF DIFFERENT ENERGETYCZNYCH FIELDS: PROPERTIES, EXPERIMENTAL STUDIES AND VIBRATORY EQUIPMENT

*Abstract – Created design vibrating machines while the effect of cavitation, the magnetic field to change the properties of water and its activation. Experimental studies to confirm operability of equipment. A comparative experimental study of changes of water properties with the measurement of the main parameters of water after exposure to various energy fields and their simultaneous effects. The analysis of the energy structure of water by type of sludge dried drops of water. Created new design vibrating machines to change the properties of the liquid media is water based. The obtained characteristics of changes in properties of water with time after exposure to vibratory cavitation and magnetic fields. The optimal dependence of the structural elements of the proposed equipment. The scientific novelty of the proposed method and designs of vibrating machines to change the structure of water - splitting on nanomolecule with the rupture of hydrogen bonds between molecules, reducing surface tension and activation of the water. The optimal modes of operation of the vibration actuator. Studies have shown a decrease in the hardness of the water, raising the pH, the reduction of surface tension, which leads to lower energy consumption of the human body when its penetration into the cell structure in the form of monomolecular, increasing the germination of crops.*

*Keywords: the properties of water, vibration machines, cavitation, magnetic field*

**Постановка проблеми.** Вода є основою нашого життя, а водоспоживання в індустріальному світі постійно зростає. Уже тепер у південних і східних регіонах України відчувається значний дефіцит прісної води. Тому все актуальнішою стає проблема розумного використання прісної води і, особливо, очищення зростаючих обсягів стічних вод, а також організація замкнених систем водоспоживання в промисловості, сільському і комунальному господарстві. В результаті робіт, що були виконані у напрямку раціонального використання води, були розроблені конструкції споруд і обладнання для очищення стічних вод, освоєні нові високоефективні технологічні процеси [1]. Це дозволило скоротити забір води з природних водойм, зменшити об'єм стічних вод, а також зменшити згубний вплив останніх на навколишнє середовище. Проте, остаточно ця проблема далеко не вирішена.

**Виділення невирішеної проблеми.** Велике розмаїття конструкцій обладнання для очищення відпрацьованих вод у промисловості і комунальному господарстві, на превеликий жаль, освоюються дуже повільно, або і зовсім не освоюються. Тому розробка технологій та обладнання для безреагентного очищення води, позитивних змін її властивостей та активації є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень.** В розробку теоретичних основ і технологій водопідготовки та очищення стічних вод у свій час вагомий внесок внесли Л.А. Кульський, В.М. Гороновський, О.М. Когановський, М.О. Шевченко, М.К. Ротмютров і багато інших відомих вчених. За останні роки вплив ефектів гідрокавітації на зміну властивостей водного середовища вивчали І.С. Афтаназів, Т.М. Вітенько, А.А. Литвиненко, А.В. Некоз, П.М. Немирович, Л.І. Шевчук та інші.

У складі молекули води іон водню (протон) не має внутрішніх електронних шарів, завдяки чому його розміри малі і він може проникати в електронну оболонку негативно поляризованого атома кисню сусідньої молекули, утворюючи з нею водневий зв'язок. З іншого боку молекула води є активним диполем, де негативно заряджена сторона є киснева, а позитивно заряджена - воднева. Протилежні полюси різних молекул води притягуються і утворюють полярні зв'язки, руйнування яких потребує значних затрат енергії [2]. Диполі води також є основною причиною мікрокластерної структури води.

Цю властивість виявила група вчених на чолі із доктором біологічних наук С.В. Зеніним: спочатку у воді були зафіксовані водневі містки-довгожителі, а згодом як структурні елементи води і так звані суперстабільні скупчення, або кластери. Складна організація структури води, що включає в себе супернадмолекулярні комплекси, призводить до того, що властивості водної системи не визначаються простою сумою властивостей окремих її структурних елементів, а виникає нова якість - властивість корпоративності [3].

Одним з потужних впливів на властивості води є кавітація. Найбільший технологічний інтерес привертають гідродинамічні кавітаційні пристрої, у яких в потоці оброблюваної рідини утворюється місцеве зниження тиску і за рахунок різкої зміни геометрії течії рідини розвивається гідродинамічна кавітація. Енергія для виникнення кавітації підводиться безпосередньо технологічним потоком рідини (гідродинамічні пристрої статичного типу), або обертовими кавітаторами (гідродинамічні пристрої динамічного типу). В рідині кавітація виникає як одиничний зародок. Далі мікропухирці розвиваються у стабільну область, яка складається із безлічі кавітаційних бульбашок. При сплескуванні кавітаційна бульбашка може втрачати стійкість і розпадатися на частини, а при тому, що тиск і температура в цей момент в бульбашці максимальні, то тиск і температура парогазової суміші в "уламках, що утворилися" теж підвищені. У фазі розтягування вони легко розширюються і стають новими зародками кавітації, хоча і менш стійкими, ніж ті, що постійно наявні у рідині. Кавітаційні порожнини, які виникли у цих зародках, породжують нові. Всередині кавітаційної області йде безперервний процес розмноження і коагуляції кавітаційних бульбашок, причому, кавітаційний поріг дещо зменшується, так як в усталеному режимі роль кавітаційних зародків починають виконувати бульбашки, які утворилися при сплескуванні, обсяг і газоміст у яких більший, ніж у зародків [2].

Використання вібраційних коливань в технологічному обладнанні з активним рідинним середовищем обумовлене їх високими якісними характеристиками, а, в окремих випадках, вібраційні коливання є єдиною можливістю реалізації технологічних процесів очищення води чи водопідготовки. Тому створення ефективних машин, які б дозволяли прискорити процес отримання активованої води, є важливим завданням. Такі спроби запропоновані в даній статті далі.

Вода є надважливою складовою життєвого циклу. Вона відіграє роль не лише хімічного розчинника, але є охоронцем та носієм інформації, що несе коди життєвих процесів. По мірі розвитку науки відкриваються нові аспекти впливу якості води на людину і техніку: через засоби впливу на властивості води, тобто, тимчасового набуття водою нових особливих якостей, які можуть зберігатися протягом певного часу, нові фізичні явища і способи активації води та водних систем на нанорівні.

Одним із способів покращення якості води є вплив на неї постійним магнітним полем. У природі це відбувається природним шляхом при проходженні води через земні породи. В роботі [4] показано, що під впливом магнітного поля відбувається ослаблення або розрив водневих зв'язків між молекулами води, внаслідок чого зростає їх рухливість. У той же час зміну фізико-хімічних властивостей води під впливом магнітного поля пов'язують із наявністю в ній домішок, особливо, феромагнітних [5].

Доведено, що намагнічена вода має підвищену проникливість крізь клітинні мембрани, очищує судини людського організму від чужорідних білків, знижує рівень холестерину в крові і печінці, покращує обмін речовин, сприяє м'якому роздробленню каменів у жовчному міхурі та нирках. Окрім того, вона нормалізує артеріальний тиск, підвищує тонус організму, а також стимулює імунітет і регенерацію клітин, що особливо важливо за наявності слабо виражених запальних процесів, ран, що не загоюються, і переломів. Цілющі властивості намагніченої води зберігаються, зазвичай, протягом короткого періоду, що слід враховувати при лікуванні нею. Класичне підтвердження ефективності намагніченої води – це прискорення росту рослин.

Водопровідна вода, яку ми вживаємо, істотно відрізняється від тієї, що оточує тканини і клітини організму людини. Основним із вивчених характеристик води різної якості є відмінність її поверхневого натягу. Гідрокавітація та дія магнітного поля здатні знижувати коефіцієнт поверхневого натягу рідини [2] до значень, майже рівних коефіцієнту поверхневого натягу людської крові. Це полегшує транспорт поживних речовин безпосередньо в клітини і сприяє виведенню з організму токсинів. При вживанні структурованої води збільшується електрична провідність організму, що веде до зменшення витрат енергії на проникнення молекул води через мембрани клітин, а також відбувається збагачення організму електронами, які необхідні для обміну інформацією на клітинному рівні. Багато авторів відзначають, що внаслідок активації водних систем змінюється їх поверхневий натяг, в'язкість та електропровідність, а також розчинність в них газів, ширина ліній ядерного резонансу, швидкості і характер випадіння осаду з розчинів окремих солей, а також підвищується біологічна активність водних розчинів [5].

**Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми.** Створення класу малогабаритних вібраційних машин для індивідуального використання, у яких для зміни властивостей води використовується гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля є актуальною задачею.

**Виклад основного матеріалу.** Авторами проведено ряд досліджень властивостей води, яка підлягала обробці гідрокавітацією і магнітним полем одночасно. Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рисунку 1. Кулачковий вібропривод установки обрано із тих міркувань, що він дає можливість перенастроювання амплітуди коливань, окрім того, забезпечується стабільність величини амплітуди коливань при зміні їх частоти, що у порівнянні з іншими конструкціями віброприводів, є перевагою при проведенні експериментальних досліджень.

Установка складається з корпусу 1, на якому змонтовано кулачковий вібропривод 2, що приводиться в рух від двигуна постійного струму 3. Зміна амплітуди коливань віброприводу реалізується заміною кулачків з ексцентриситетом від 0,5мм до 3мм. Частота коливань регулюється в межах від 0 до 30 Гц зміною напруги, що подається на обмотки двигуна типу ГПЗ-3 за допомогою ЛАТР. Для контролю частоти обертання ротора двигуна використовується міліамперметр М903 1.0 кл. ГОСТ 8711-80, шкала

якого проградуєвана в Гц. Вібропривод 2 з'єднаний штоком з мембраною камери 4 формування пульсуючого потоку, на якій встановлено циліндр-насадок з прозорими стінками для візуальних спостережень. Стінки немагнітного циліндра охоплюють постійні магніти 5.

Установка працює наступним чином: при русі мембрани вниз у камері 4 відбувається зниження тиску і рідина з циліндричної ємності через насадок втягується в камеру. При русі мембрани вгору тиск у камері 4 зростає і рідина через насадок повертається назад в циліндричну ємність. При протіканні рідини через насадок утворюється кільцева кавітаційна порожнина, яка руйнується при досягненні максимального значення тиску рідини в камері пульсації. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості.



Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної кавітаційно-магнітної установки

Досліди проводилися на експериментальній установці (рис. 1), яка оснащена тензометричним датчиком тиску. Працює установка наступним чином: вода заливається у циліндричну ємність, після чого вона закривається кришкою. Вмикається вібропривод 2. Завдяки коливанням гумової мембрани із дисками рідина багатократно зворотно-поступально переливається через отвір між камерою 4 і ванною. При проходженні рідини через отвір завдяки підібраними за умов виникнення резонансу системи співвідношенню діаметра диска  $D$  і діаметра  $d$  отвору ( $D/d=12$ ), а також амплітуді і частоті коливань вібропривода в отворі періодично утворюється кавітаційні порожнини. Блок постійних магнітів 5 створює магнітний неоднорідний потік із значним градієнтом напруженності завдяки загостреним пластинам, що встановлені через немагнітні прокладки. Після певного терміну багатократного проходження крізь отвір вода зливається через кран.

Значення максимального тиску пульсуючого струменя фіксувалося за допомогою осцилографа. Умови проведення дослідів: діаметр камери пульсації  $D_k = 120\text{мм}$ , відстань між датчиком і зрізом насадка  $H = 20\text{мм}$ , використовувалась вода при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

З метою оптимізації режимів роботи приводу був реалізований багатofакторний експеримент із застосуванням ротатабельного плану другого порядку. Для проведення дослідів була складена матриця планування. При цьому були враховані наступні основні чинники (фактори), що впливають на величину гідродинамічного тиску струменя  $y$ :  $x_1$  – діаметр насадка при постійному діаметрі камери пульсації;  $x_2$  – частота пульсацій приводу;  $x_3$  – амплітуда пульсацій приводу. В результаті обробки результатів досліджень було отримане рівняння регресії наступного виду

$$y = -108,8 + 1,805d + 11,836f + 1,695A + 0,9375d \cdot A - 0,336f^2 + 3,233A^2. \quad (1)$$

Перевірка адекватності отриманої моделі проводилась за критерієм Фішера. Для отримання оптимальних значень величини гідродинамічного тиску виконане диференціювання рівняння регресії (1) за змінними параметрами і отримана система рівнянь, корені якої в натуральному вигляді мають наступні значення: діаметр насадка  $d = 8\text{мм}$ , частота пульсацій  $f = 14\text{Гц}$ , амплітуда пульсації  $A = 0,002\text{м}$ . Встановлено також, що рівняння регресії (1) при проектуванні приводів вібраційних установок для різних умов роботи можна використовувати в наступних межах зміни факторів:  $8\text{мм} \leq d \leq 12\text{мм}$ ;  $8\text{Гц} \leq f \leq 20\text{Гц}$ ;  $1\text{мм} \leq A \leq 3\text{мм}$ .

Залежність максимального гідродинамічного тиску в насадку від частоти коливань мають нелінійний екстремальний характер, а їх максимальні значення досягаються при частоті  $f = 14\text{Гц}$  і амплітуді  $A = 2\text{мм}$ , тому обробку води проводили саме при вказаних вище режимах. В ході експериментальних випробувань досліджувалася зміна основних параметрів води, а саме: залежність віж тривалості обробки кавітацією та зміна у часі після обробки води показника  $pH$ , залежність від тривалості обробки та зміна у часі після обробки окисного відновного потенціалу води (показник  $ORP$ ) і залежність від тривалості обробки та зміна у часі після обробки води вмісту загальної мінералізації (показник  $TDS$ ).

Результати досліджень представлені на рисунку 2. Показник загальної мінералізації  $TDS$  за період кавітаційного оброблення 20 хвилин зростає, а надалі - знижується. Це говорить про утворення нерозчинних у воді карбонатів  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , оксикарбонатів  $\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  і гідроокисів  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , які з часом випадають в осад і тому зменшується загальна концентрація вмісту розчинених речовин. Зростання показника  $pH$  за період оброблення спричинене розриванням водневих зв'язків у молекулах, але з часом цей показник стабілізується на рівні  $8,2\text{ pH}$ . Зниження показника  $ORP$  від 300 до 180 мВ говорить про підвищення окислювального відновлювального потенціалу рідини, який з часом збільшується до 240 мВ (рис. 2).

Результати експериментальних досліджень одночасного впливу кавітації та постійного магнітного поля на показники  $TDS$ ,  $pH$  та  $ORP$  води з крана представлені на рисунку 3. Застосування при обробці води одночасного впливу кавітації і магнітного поля збільшує  $pH$  до 9,0 од., що більше ніж при дії лише кавітаційного впливу. Це говорить про інтенсифікацію процесу розривання водневих зв'язків між молекулами води. Показник  $ORP$  у період обробки знижується, але потім за першу годину після обробки зростає, проте, надалі з часом він падає. Цю поведінку можна пояснити відсутністю віддаленого впливу магнітного поля після припинення обробки.

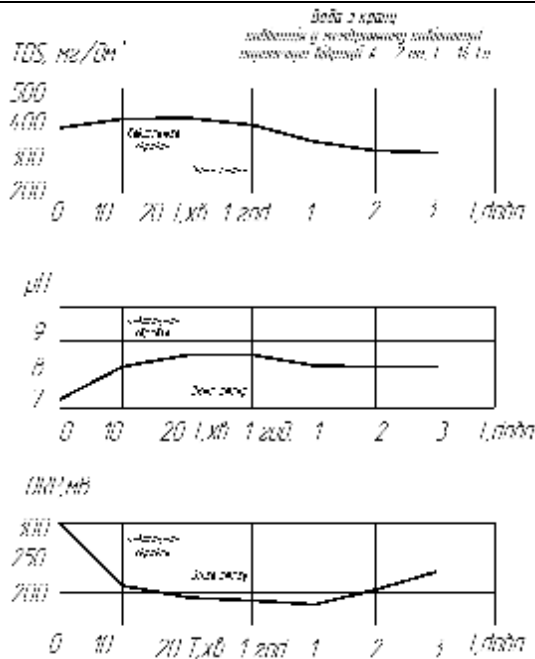


Рис. 2 - Зміна показників води з крана: TDS, pH, ORP з часом, обробленої кавітацією

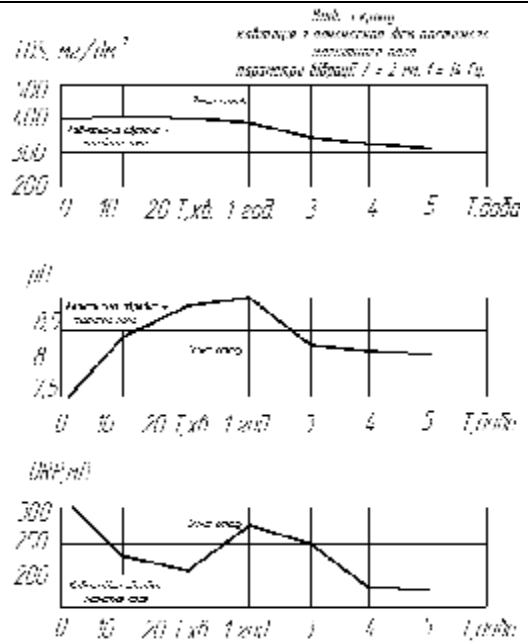


Рис. 3 - Зміна показників води з крана: TDS, pH, ORP з часом під впливом одночасної дії кавітації та постійного магнітного поля

Авторами проведені експериментальні дослідження із визначення тривалості збереження у часі основних показників стану води після її оброблення. Виконувалось також оцінювання структурного стану рідини методом аналізу структури кристалічних структур осаду при випарюванні краплі рідини. Будова кристалічних структур осаду залежить від енергетичних умов кристалізації. Вода із крана, а також вода після обробки одночасно кавітацією і постійним магнітним полем, наносилася у вигляді крапель на скло і висувувалась при кімнатній температурі. Фіксація структури їх характерних ділянок проводилася фотографуванням за допомогою мікроскопів МІМ-10 і МБС-10.

На рисунку 4 показаний кристалічний осад краплі води з крана необробленої. Форма кристалів осаду, особливо в крайовій зоні, говорить про певну впорядкованість кластерної структури води зі значним поверхневим натягом.

Структура кристалів осаду краплі води з крана, обробленої протягом 20 хвилин кавітацією з одночасною дією магнітного поля, представлена на рисунку 5. Як видно, на різних ділянках осаду спостерігається рівномірний розподіл і врівноважена форма кристалів. Це пояснюється низьким поверхневим натягом, розривом водневих зв'язків та структуризацією такої води.

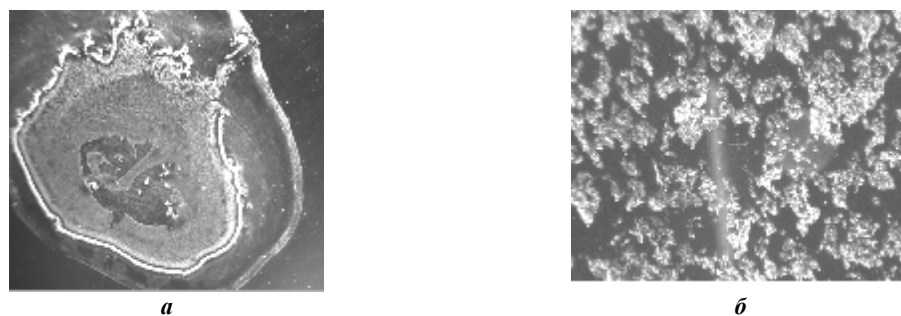


Рис. 4. Структура кристалів осаду краплі води з крана необробленої: а - усієї краплі, б - характерної її ділянки за 150-ти кратного збільшення

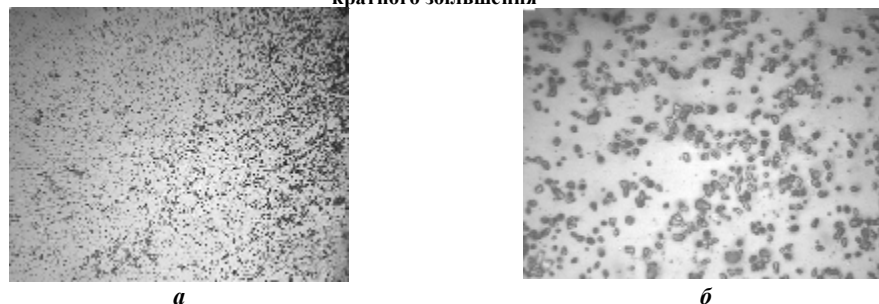


Рис. 5. Структура кристалів осаду краплі води з крана, обробленою кавітацією із одночасною дією магнітного поля: а – за 250-ти кратного збільшення; б – за 660-ти кратного збільшення

Факт, що зміну властивостей води та її структуризацію спричиняє саме гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля, підтверджується також і результатами досліджень властивостей води та її структурного стану кристало-оптичним методом. За результатами проведених досліджень встановлено, що стан активації води після її оброблення зберігається до трьох діб, після чого відбувається стабілізація показників *pH* та *ORP*, але на рівні значно сприятливішому, ніж вихідний. Показник *TDS* з часом зменшується і стабілізується через випадання в осад солей на рівні нижче вихідного.

На основі результатів проведених досліджень запропоновано ряд конструкцій вібраційних установок, що використовують ефекти впливу кавітаційного і магнітного полів. Авторами [6] запропоновано конструкцію пристрою для кавітаційно-магнітної обробки води. Конструкція кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води показана на рисунку 6.

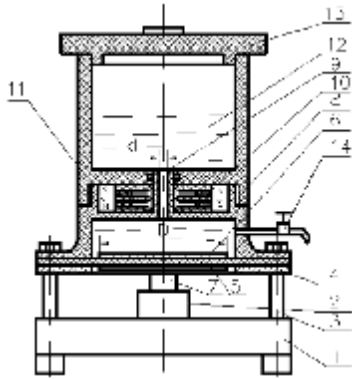


Рис. 6. Схема кавітаційно-магнітного пристрою для обробки води

Працює пристрій наступним чином: вода 12 заливається в ванну 8 після чого ванна 8 закривається кришкою 13. Включається вібропривод 2. Завдяки коливанням гумової мембрани 5 з дисками 6 рідина 12 отримує багаторазовий зворотно-поступальний рух через отвір 9. При проходженні рідини через отвір 9, завдяки певним співвідношенням діаметра диска *D* до діаметра *d* отвору ( $D/d = 12$ ), підібраними відповідно з резонансом системи амплітуди і частоти коливань вібропривода, в отворі 9 періодично утворюється кавітаційні порожнини. Блок постійних магнітів 11 створює магнітний неоднорідний потік із значним градієнтом напруженості завдяки загостреним пластинам 10, які встановлені через немагнітні прокладки. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості. Після певного терміну багаторазового проходження крізь отвір 9 вода зливається через кран 14. Запропоновано обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води з елементами, що активують (рис.7) і електромагнітним

приводом.

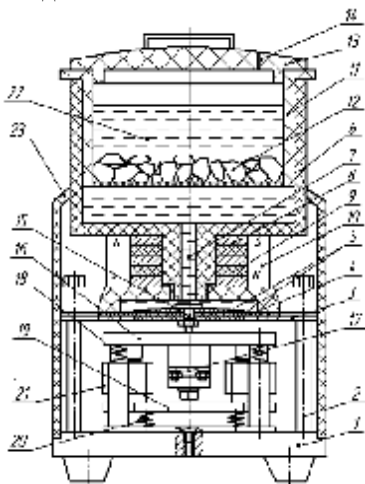


Рис. 7. Обладнання для кавітаційно-магнітної обробки води з елементами, що активують, і електромагнітним приводом

Обладнання працює наступним чином: вода 22 заливається в ванну 6, у неї встановлюється стакан 11 з елементами, що активують, 12 і закривається кришкою 13. Змінний струм подається на котушки 21. Через шток 15 коливання від електромагнітного приводу передаються мембрані 4 з дисками 5. Завдяки коливанням гумової мембрани 4 з дисками 5 рідина багаторазово зворотно-поступально переливається через отвір 7. Струм рідини, що виникає, спрямований на активні елементи 12 і інтенсивно їх омиває. Блок металевих кілець 8 з постійними магнітами 10 створює магнітний неоднорідний потік з градієнтом напруженості. Ці два фактори впливають на структуру води енергетично, змінюючи її властивості і приводячи в активний стан. Після певної тривалості оброблення вода зливається через кран 24 [7].

Вібраційний привод працює наступним чином. Дві суміжні плити - проміжна 16 і реактивна 19 - з'єднані через віброізолятори з нерухомою основою 1, і рухаються синфазно (як одне ціле) з рівними амплітудами коливань завдяки виникненню між ними періодично змінного зусилля збудження, що розвивається електромагнітними вібраційними збудниками 21. Активна плита 17 збуджується від проміжної плити 16 кінематично через пружну систему і рухається в протифазі до двох суміжних плит.

Умова забезпечення синфазних коливань передбачає наступне: проміжна 16 і реактивна 19 маси, перебуваючи в силовому збуренні від електромагнітного віброзбудника 21, будуть рухатися як одне ціле синфазно, тобто, їх коливання будуть однаково зсунуті відносно збуджуючого зусилля по фазі і рівні за амплітудою. Це забезпечує економне споживання електроенергії, так як повітряний зазор між якорем і осердям котушки буде мінімальним і не буде залежати від відносної амплітуди коливань проміжної 16 та реактивної 19 мас, а, як наслідок, і від амплітуди коливань активної маси [8].

Досліди, проведені на моделях описаних вище установок, показали збільшення у воді показника *pH* від 6,76 до 8,12 од. Дослідження структури кристалічних осадів води після обробки випаровуванням її крапель показали, що структура осаду дрібнокристалічна і більш структурована, спостерігається також інтенсивніше розтікання краплі по поверхні, що свідчить про зменшення поверхневого натягу води після обробки, зміну її властивостей та активацію.

**Висновки і перспективи розвитку напрямку.** За результатами ряду досліджень впливу на властивості води та її структурний стан різних методів активації встановлено, що гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля однозначно призводить до зміни властивостей води та її структури. Встановлено також, що отриманий стан активованої води зберігається до трьох діб, після чого відбувається

стабілізація показників *pH* та *ORP*, але на значно вищому, ніж вихідний, рівні для *pH* і нижчому, ніж вихідний, для *ORP*, показник загальної концентрації вмісту розчинених солей теж зменшується від 400 до 300 одиниць, що свідчить про поліпшення якості питної води.

Враховуючи перспективність застосування запропонованих авторами методів очищення та активації води, варіанти конструкцій установок та результати досліджень з оптимізації їх режимів роботи можуть бути корисними при створенні подібних установок і пристроїв індивідуального користування.

### Література

1. Сухоставець П.Т. Перспективи використання електроплазмової безреагентної технології для забезпечення якісною питною водою і надійною каналізацією малих міст та сільських населених пунктів / П.Т. Сухоставець // Винахідник і раціоналізатор. – К.: 2005. – №1. – С. 30–33.

2. Федоткин И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Ч.1. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый – К.: Полиграфкнига, 1997. – 940 с.

3. Смирнов А.Н. Супранадмолекулярные комплексы воды / А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2004. – т. XLIII, № 2. – С. 125 – 135.

4. Баран Б.А. Вплив магнітного поля на фармакодинаміку деяких сполук / Б.А. Баран // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. – 1999. – вип. 4. – С. 154 – 156.

5. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике / В. И. Миненко. – Х.: Изд-во при Харьков. гос. ун-те, 1981. – 96 с.

6. Патент на корисну модель 37257 Україна, МПК C02F1/48. 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.

7. Патент на корисну модель 83891 Україна, МПК C02F1/30. Вібраційний пристрій для очистки та підготовки питної води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.П. Франчук, Р.С. Сілін, В.І. Кухар (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – № 201214677; Заявл. 21.12.2012; Опубл. 10.10.2013, Бюл. № 19. – 4 с.

8. Ланець О.С. Високоєфективні міжрезонансні вібраційні машини з електромагнітним приводом. (Теоретичні основи та практика створення): Монографія / О.С. Ланець. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 324 с.

Рецензія/Peer review : 20.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією