



## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ АКТИВАЦІЇ І ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВОДИ

© Гордєєв А.І. д.т.н., професор  
Хмельницький національний університет  
© Костюк Н.  
Хмельницький національний університет  
© Кравчук В.В, к.е.н., доцент  
© Кулик В.М. к.т.н., доцент

**Abstract.** Проведено порівняльні експериментальні дослідження зміни властивостей води з виміром основних її параметрів після одночасної дії різних енергетичних полів. Проведено аналіз енергетичної структури води по виду осідання висохлої краплі. Отримані характеристики зміни властивостей води з часом після дії на неї гідрокавітації і магнітного поля. Створені нові конструкції вібраційних машин з одночасною дією кавітації і магнітного поля для зміни властивостей рідких середовищ на основі води.

**Ключові слова:** властивості води, кавітація, магнітне поле, активація, знезараження.

**Постановка проблеми.** Вода – найцінніше багатство на Землі, без неї неможливе життя. Вона широко застосовується в різних галузях життєдіяльності, в повсякденному житті людини, використовується для пиття, приготування їжі, задоволення санітарно-гігієнічних потреб. Фахівці прогнозують, що незабаром боротьба точитиметься не за нафту чи газ, а за воду. Хоча у нас немає таких проблем із водою, як, скажімо, в Африці, проте в Україні один із найнижчих показників забезпечення населення водою у Європі. Проблеми існують на всій території країни, у тому числі і на Хмельниччині.

Хімічний склад природних вод надзвичайно різноманітний і в залежності від того, який компонент у воді домінує, такі властивості вона має. Так, наприклад, воду, де підвищений вміст кальцію, магнію або хлоридів не можна використовувати майже у жодній галузі промисловості. Так, під час прання у цій воді мило втрачає мильну здатність і відбувається руйнація тканин. Що ж до організму людини, то тут особливо ретельно потрібно вибирати воду, тому що навіть незначне перевищення концентрацій може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, а чиста вода – запорука здоров'я. До того ж хлорована вода надзвичайно шкідлива для організму. А хлорування на жаль, єдиний спосіб очищення, який собі може дозволити Україна. Тому, що це дешево.

**Актуальність теми.** Нині, коли щороку збільшується кількість шкідливих виробництв, автомобільного транспорту, побутових відходів, а разом з тим зростає і рівень забрудненості навколишнього середовища, якість води невпинно погіршується. Невякісна вода викликає хвороби людей або ж навпаки – зниженню ризику захворіти на ту чи іншу хворобу завдяки підвищеному вмісту певних хімічних елементів.

Основні джерела прісної води на Хмельниччині – стоки річок Дніпра, Дністра та Південного Бугу з притоками. Порушення норм якості води досягає рівнів, які сприяють деградації водних екосистем, зниження продуктивності водойм. Внаслідок чого значна частина населення Хмельницької області використовує для власних потреб недоброякісну воду, що загрожує стану здоров'я. Тому великої ваги набуває проблема вико-



ристання прісної води і, особливо, очищення і зміна її властивостей в промисловості, сільському і комунальному господарствах. В результаті робіт, виконаних у напрямі раціонального використання води, були розроблені конструкції споруд і устаткування для очищення стічних вод і освоєні нові високоефективні технологічні процеси [1]. Це дозволило скоротити забір води з природних водойм, зменшити обсяг стічних вод та їх вплив на навколишнє середовище. В процесі водо підготовки на водоочисних станціях вода хлорується двічі: під час набору і при подачі води у водопровідну мережу. Хлор, з одного боку, знищує небезпечні мікроби але, з іншого недоліком хлорування води є те, що важкі метали, що знаходяться у водозаборі в іонній формі, під час хлорування переходять в стійкі хлоркомплекси і не утримуються фільтрами. Особливо це характерно для елементів заліза, марганцю, кобальту, свинцю, цинку, міді і кадмію. Вони потрапляють у водопровідну воду. Нині створено безліч конструкцій та обладнання для очищення вод промисловості і комунального господарства. На превеликий жаль, більшість з них освоюються дуже повільно, або ж зовсім не використовуються. Тому доочищення водопровідної води в домашніх умовах, розробка технологій і компактного устаткування для побутової безреагентної очистки води стає нині актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і розробок.** В останні роки вплив ефектів ультразвукової кавітації і гідрокавітації на знезараження і зміну різних параметрів води досліджували іноземні та вітчизняні науковці. У статті [2] автори наводять результати досліджень з використання ультразвуку для дегазації води. Автори статті [3] використовували гібридні кавітаційні методи для водної дезінфекції з одночасним використанням хімічних речовин і кавітації. Експериментальні дослідження з пастеризації і стерилізації рідких продуктів за допомогою гідродинамічної кавітації з метою зниження активації мікроорганізмів здійснили дослідники [4] і отримали позитивний ефект.

При використанні низькочастотних ультразвукових коливань створюється достатня енергія для механічного руйнування біологічних клітин або бактерій через низку фізичних, хімічних процесів, які виникають при кавітації. Однак ультразвукові генератори споживають значну енергію і ефективність поля падає зі збільшенням відстані від випромінювача.

Нині широке застосування знаходить гідродинамічна кавітація, яка може здійснюватися в апаратах різної конструкції і різними методами [5].

Іншим способом поліпшення якості води є вплив на неї постійним магнітним полем. У природі це відбувається природним шляхом при проходженні води через земні породи. В роботі [6] 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 зміна фізико-хімічних властивостей води під впливом магнітного поля пов'язують з наявністю в ній домішок, особливо феромагнітних [7]. Доведено, що намагнічена вода має підвищену проникність крізь клітинні мембрани, володіє бактерицидністю, очищує судини від чужорідних білків, знижує кількість холестерину в крові і печінці, підвищує обмін речовин, сприяє м'якому роздробленню каменів в жовчному міхурі і нирках. Регулює артеріальний тиск і підвищує тонус організму, а також стимулює імунітет, регенерацію (відновлення клітин), а це особливо важливо при наявності слабо поточних запальних процесів (загоєння ран, переломи кісток). Класичне підтвердження ефективності такої води - прискорення росту рослин.



Однак, відсутні достовірні відомості про збереження основних параметрів води з часом після обробки її гідрокавітацією в вібраційних машинах на низьких частотах.

**Мета і завдання дослідження.** Створення класу малогабаритних вібраційних машин, для індивідуального використання, в яких виникає гідрокавітація, з одночасним впливом магнітного поля на зміни властивостей води є актуальним завданням.

З поставленої мети випливають такі завдання:

створення лабораторного обладнання для дослідження впливу гідрокавітації і магнітного поля на параметри води;

визначення зміни водневого показника рН води з часом;

визначення зміни окислювально-відновлювального потенціалу води з часом;

визначення зміни складу загальної мінералізації;

візуалізація енергетичного стану води (зміна поверхневого натягу).

розробка конструкції вібраційної машини для зміни властивостей води.

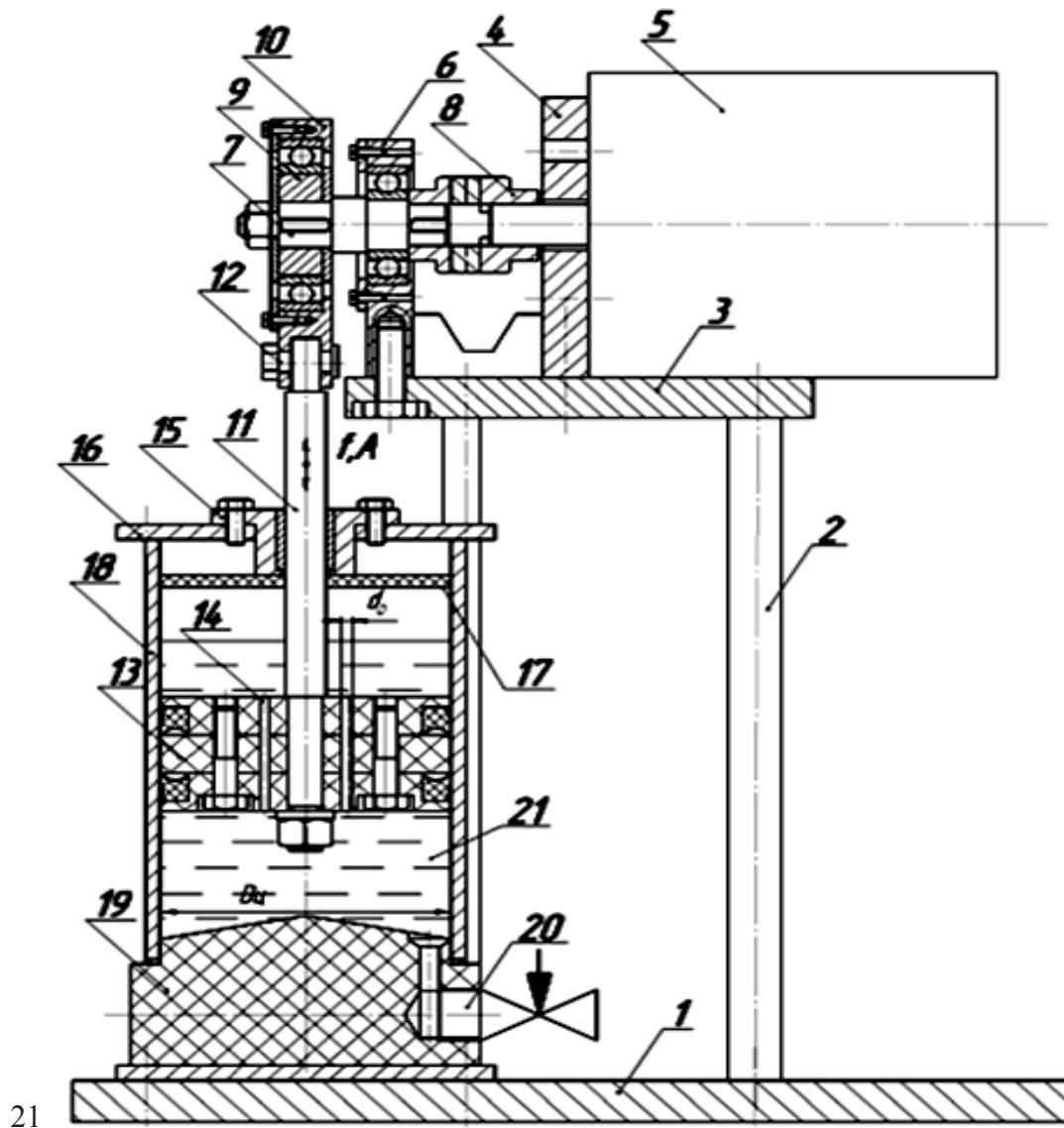
**Матеріали і методи дослідження.** Для дослідження впливу гідрокавітації на воду було створено експериментальне обладнання - вібраційний кавітатор поршневого типу (мал. 1, мал. 2).



Мал. 1. Загальний вигляд вібраційного кавітатора поршневого типу

Працює обладнання наступним чином: через відкритий кран і отвір 20 заливають в ємність 18 воду 21. Після включення електродвигуна 5 ексцентрик 9 починає обертатися і приводить в зворотно-поступальний рух шток 11 і поршень 13. Крізь отвори 14 з гострими крайками, багаторазово проходить вода 21. Для того, щоб вода 21 не розпри-

скувалась, на штоку 11 встановлено гумовий відбійник 17. Коли вода проходить через отвори 14 в поршні 13, завдяки певному співвідношенню  $D_p$  діаметра поршня 13 і діаметра  $d_o$  отвору 14 ( $D_p/d_o = 12$ ), підібраним, відповідно: амплітуді  $A$  і частоті  $f$  коливання поршня, в отворах 14 періодично утворюється кавітаційні порожнини, які енергетично впливають на структуру води.



Мал. 2. Конструктивна схема вібраційного кавітатора поршневого типу

Дослідження з обробки води за допомогою гідрокавітації і магнітного поля виконувалася на експериментальній установці мал. 3.

Установка складається з корпусу 1, на якому змонтовано кулачковий вібропривід 2, що приводиться в рух від двигуна постійного струму 3. Зміна амплітуди коливань вібропривіду відбувається при зміні кулачків з ексцентриситетом від 0,5 до 1,5 мм. Регулювання частоти коливань (від 0 до 20 Гц) здійснюється зміною напруги, що подається на обмотки двигуна типу ДПІ-3, за допомогою автотрансформатора.



Вібраційний привод 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, створюючи замкнуте магнітне поле.

Установка працює в такий спосіб: під час руху мембрани вниз в камері 4 знижується тиск і рідина з циліндричної ємності через насадок втягується в камеру. Під час руху мембрани вгору тиск в камері 4 зростає і через насадок рідина повертається назад в циліндричну ємність.



Мал. 3. Загальний вигляд кавітаційно-магнітної установки

Для вимірювання параметрів води використовувалися прилади, а саме: для водного показника рН Meter (рН-061), окислювально-відновлювального потенціалу ORP TESTER 169B, загального рівня мінералізації TDS-3 (мал. 4).



Мал. 4. Зовнішній вигляд приладів для вимірювання параметрів води

Зміни енергетичної структури води виконувалися за допомогою дослідження виду утворених кристалічних структур осаду при випаровуванні краплі рідини в нормальних умовах. Їх вигляд залежить від вихідних енергетичних умов кристалізації [8].

Краплі водопровідної води до і після обробки кавітацією і магнітним полем, наносилися на скло і висушувалися при кімнатній температурі. Далі за допомогою мікроскопа МБС-10 фотографувалися їх окремі ділянки.

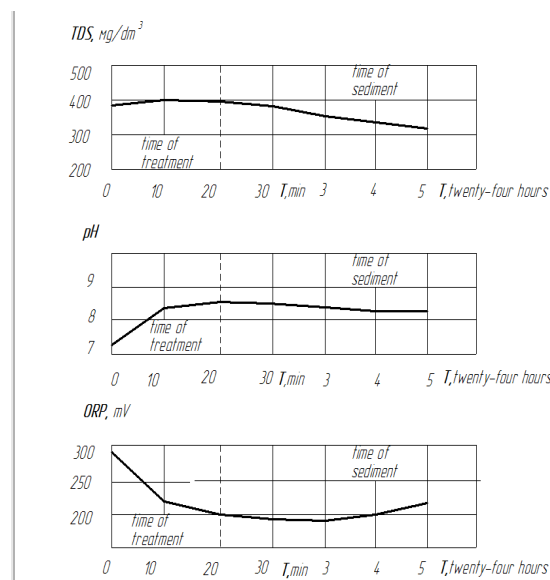
**Результати досліджень кавітаційних і кавітаційно-магнітних впливів на властивості води і конструкції вібраційних машин.** В експериментах досліджувалася зміна параметрів води, а саме: зміна рН, зміна окислювально-відновлювального потенціалу ORP і показник загальної мінералізації - TDS з часом. Результати досліджень наведені на мал. 5.

Досліди, виконані на експериментальній установці, показали збільшення водневого показника води рН від 7,2 до 8,5 од., що свідчить про розрив водневих зв'язків.

Показник загальної мінералізації - TDS за період кавітаційної обробки 10 хвилин зростає, а в подальшому знижується. Це свідчить про те, що після 20 хвилин експерименту відбувається утворення нерозчинних у воді карбонатів  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , оксидів карбонатів  $\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  і гідроокисів  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , які з часом випадають в осад і тим самим зменшують загальну концентрацію вмісту розчинених солей.

Зростання показника рН за період обробки свідчить про розрив водневих зв'язків в молекулах, але в подальшому з часом він стабілізується на рівні 8,2. Зниження показника ORP від ORP 300 до 180 одиниць свідчить про підвищення окислювально-відновлювального потенціалу рідини, який з часом набуває значення 205 одиниць.

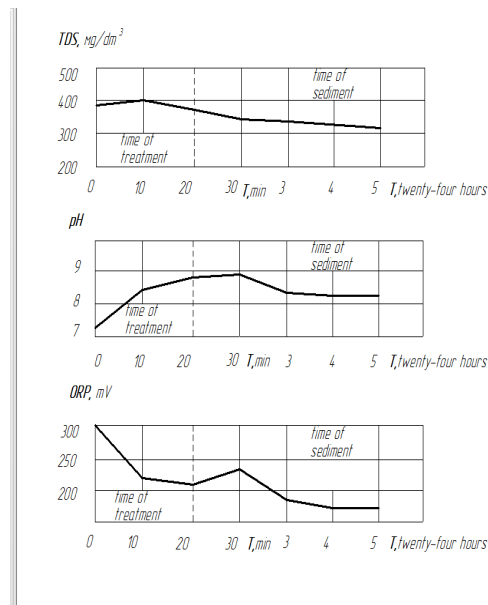
Отримані результати зміни показників з часом дають можливість стверджувати, що кавітаційний вплив змінює структуру рідини і знижує поверхневий натяг і при цьому до п'яти діб зберігається досягнутий стан параметрів води.



Мал. 5. Зміна показників водопровідної води з часом обробки кавітацією і часом відстою (параметри вібрації: частота коливаль  $f = 14$  Гц, амплітуда коливаль  $A = 2$  мм); TDS - загальний рівень мінералізації; рН - водневий показник; ORP - окислювально-відновлювальний потенціал; Т - час.

Далі виконане експериментальне дослідження одночасного впливу кавітації і постійного магнітного поля на показники водопровідної води: TDS, рН, ORP. Результати досліджень представлені у вигляді графіків на мал. 6.

Застосування при обробці води одночасно впливу кавітації і магнітного поля збільшує водневий показник рН до 9,0 од., що більше ніж при дії кавітації впливу. Це свідчить про більш значний розрив водневих зв'язків між молекулами води. Показник ORP за період обробки знижується Таку поведінку можна пояснити видаленням впливу магнітного поля після обробки.

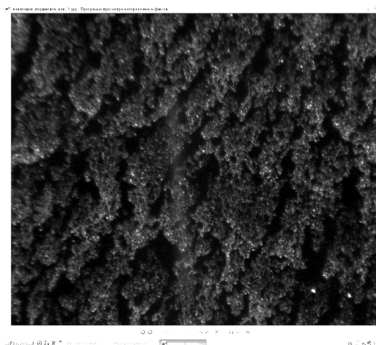


Мал. 6. Зміна показників водопровідної води з часом при одночасній обробці кавітацією і магнітним полем і часом відстою (параметри вібрації: частота коливань  $f = 14$  Гц, амплітуда коливань  $A = 2$  мм); TDS - загальний рівень мінералізації; рН - водневий показник; ORP - окислювально-відновлювальний потенціал; Т - час.

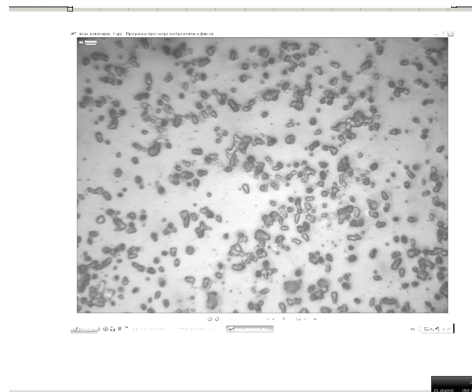
Для підтвердження отриманих результатів, були виконані дослідження з вивчення впливу кавітаційної і кавітаційно-магнітної обробки води на зміну її властивостей і структурного стану кристалів-оптичним методом.

На мал. 7 фотографія кристалів осаду краплі необробленої водопровідної води. Вид кристалів осаду необробленої води свідчить про кластерну структуру води з високим поверхневим натягом.

На мал. 8 фотографія ділянки кристалічного осаду води обробленої кавітацією і магнітним полем. Вид кристалів осаду свідчить про структурованість води з низьким поверхневим натягом, що збільшує її пом'якшувальну здатність.



Мал. 7. Фотографія ділянки осаду краплі водопровідної води необробленої кавітацією і магнітним полем



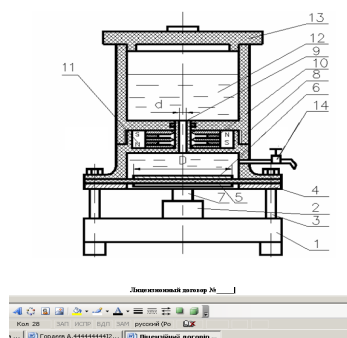
Мал. 8. Фотографія ділянки осаду краплі водопровідної води, обробленої кавітацією і магнітним полем після 20 хвилин обробки: збільшення (1см = 15 мкм).

Спостерігається рівномірний розподіл і врівноважена форма кристалів осаду. Це пояснюється низьким поверхневим натягом, розривом водневих зв'язків, структуризацією води.

Виконані дослідження свідчать, що отриманий стан активованої води зберігається до трьох діб, після чого відбувається стабілізація показників: рН, ОРР, але на рівні значно більшому для рН і меншим для ОРР, ніж вихідний рівень. Це дозволяє стверджувати про поліпшення основних параметрів води.

На основі досліджень, запропоновано ряд конструкцій вібраційних машин, які використовують ефекти кавітації і магнітного поля.

Конструкція вібраційної машини для кавітаційно-магнітної обробки води показана на мал. 9.



Мал. 9. Вібраційна машина для кавітаційно-магнітної обробки води

Працює машина наступним чином: вода 12 заливається в ванну 8 після чого ванна 8 закривається кришкою 13. 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 певному співвідношенню діаметра диска  $D$  до діаметру  $d$  отвору ( $D / d = 12$ ), і певній амплітуді та частоті коливань віброприводу, в отворі 9 періодично утворюється кавітаційні порожнини. Блок постійних магнітів 11 створює магнітний неоднорідний потік з великим градієнтом індукції завдяки загостре-

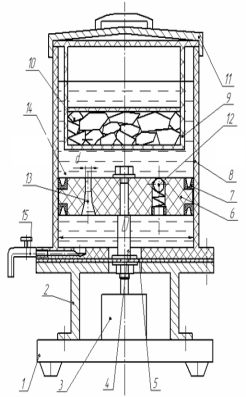




ним пластинам 10, які встановлені через немагнітні прокладки. Гідрокавітація і магнітне поле енергетично впливають на структуру води, змінюючи її властивості. Після певного терміну багаторазової обробки вода зливається через кран 14.

Для очищення і підготовки питної води пропонується вібраційна машина (мал. 10), яка працює наступним чином: вода 14 заливається в ємність 8, проходить крізь щілини між активуючим мінералом 10 (шунгіт), протікає крізь отвори 13 і заповнює ємність між поршнем 6 і дном ємності 8 [10].

При зворотньо-поступальному русі коливання вібропривіду 3 через шток 5 передаються на поршень 6. В отворах 13 починає циркулювати рідина 14, створюючи струмені, які протікають крізь активуючі елементи 10. При русі поршня вниз рідина проходить крізь отвори 13 і відкритий клапан 12 з меншим зусиллям тяги і витратою енергії. При проходженні рідини через отвори 13 у зворотному напрямі клапан 12 закривається. Завдяки певному співвідношенню діаметра рухомої мембрани  $D$  до діаметру  $d$  отвору ( $D / d = 12$ ), підібраним відповідно амплітуді і частоті коливань в отворах 13 періодично утворюються кавітаційні порожнини, тобто, виникає гідрокавітація, що також енергетично впливає на структуру води.



Мал. 10. Вібраційна машина поршневого типу з активізуючим мінералом для очищення і підготовки питної води

**Висновки.** Виконав ряд досліджень зі зміни властивостей води і її структурного стану з використанням різних методів активації встановлено:

1. На зміну властивостей води і її структуризацію найбільший вплив має гідрокавітація з одночасним впливом магнітного поля.

2. Отриманий стан активованої води зберігається до трьох діб, після чого відбувається стабілізація показників: рН, ОРР, але на рівні значно більшому для рН і меншим для ОРР, ніж вихідний рівень. Це дозволяє стверджувати про поліпшення властивостей води.

3. Зниження показника загальної концентрації вмісту розчинених солей з 400 до 300 одиниць також свідчить про поліпшення якості води.



Виконані дослідження та запропоновані конструкції установок демонструють перспективність застосування розроблених методів очищення і активації води при створенні установок і пристроїв індивідуального користування.

### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сухоставець П.Т. Перспективи використання електроплазмової безреагентної технології для забезпечення якісною питною водою і надійною каналізацією малих міст та сільських населених пунктів // *Винахідник і раціоналізатор*. – К.: 2005. – №1. – С. 30-33
2. Mason T. Uses of ultrasound in the biological decontamination of water./ T.Mason, H. Duckhouse, E. Joyce, J. Lorimer // *WCU 2003, Paris, September 7–10*. – P.423-426.
3. Jyoti K. Hybrid cavitation methods for water disinfection: simultaneous use of chemicals with cavitation / K. Jyoti, A. Pandit // *Ultrasonic Sonochemistry*. – 2003. – Vol. 10. – P. 255-264.
4. Milly P. Inactivation of food spoilage microorganisms by hydrodynamic cavitation to achieve pasteurization and sterilization of fluid foods/ R. Toledo, M.Harrison, D. Armstead // *Journal of Food Science*. – 2008. – Vol 73 (2). – P. 414-422.
5. Федоткин И.М. Кавитация. Кавитационные энергетические аппараты и установки / И.М. Федоткин, С.И. Гулый. – К.: Арктур-А, 2007. – 130 с.
6. Баран Б.А. Влияние магнитного поля на фармакодинамику деяких сполук / Б.А. Баран // *Науковий вісник Ужгородського ун-ту*. – 1999. – вип. 4. – С. 154 – 156.
7. Миненко В.И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике / В. И. Миненко. – Х.: Изд-во при Харьков. гос. ун-те, 2006. – 96 с.
8. Інноваційні нанотехнології активації і знезаражування води та вібраційне обладнання: монографія / [Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Г.Б. Параска, В.Д. Пархоменко, В.В. Кравчук] Хмельницький: ХмЦНІІ, 2013. – 252 с., іл.
9. Патент на корисну модель 37257 Україна, МПК С02F1/48. 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.
10. Патент на корисну модель 83891 Україна, МПК С02F1/30. 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.
11. Патент на корисну модель. №94359 України, МПК С02F 1/48. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води з електромагнітним приводом / Сілін Р.С., Гордєєв А.І., Ланець О.С., Копицяк О.А. (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – и 2014 05862; Заяв. 30.05.2014. Опубл. 10.11.2014. Бюл. № 21 – 4 с.
12. 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.