

УДК 537684; 608.4

Крупа Микола Миколайович

Доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник,
ORCID: 0000-0002-0113-9448

Інститут магнетизму НАН і МОН України, Київ

Приймак Олександр Вікторович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки, ORCID: 0000-0002-3081-6057
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Коваленко Надія Олександрівна

Інженер II категорії кафедри теплотехніки

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ВОДУ І ВОДЯНІ РОЗЧИНИ І ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Анотація: В даній роботі розглядаються основні принципи очистки води фізичними методами та описані результати досліджень впливу на солевий склад водопровідної води змінного електричного та постійного магнітного поля. Аналізується механізми такого впливу електромагнітного поля на воду. Приведені схеми і зовнішній вигляд пристрою для очищення води, в якому використовуються ці поля. На даний пристрій отримано позитивне рішення про видачу патенту України на винахід.

Ключові слова: очистки води; фізичні методи; магнітне поле; схема пристрою

Вступ

Вода відіграє найважливішу роль в житті і життєдіяльності людини. Економне використання питної і технічної води вимагає створення ефективних систем її очистки і підготовки. На сьогодні використовуються, в основному, хімічні методи очистки води. Фізичні методи обробки і очистки води порівняно з хімічними методами краще вписуються в існуючі технологічні схеми водопостачання, є менш затратними і більш компактними та вносять набагато менше екологічне і техногенне навантаження на навколишнє середовище через відсутність додаткової утилізації залишкових хімічних продуктів обробки. Тому в багатьох країнах світу ведуться дослідження фізичних методів обробки води і розробка технології очистки води та створення відповідного обладнання. Розглянемо деякі основні фізичні методи очистки води. Сьогодні на практиці використовуються такі технології очистки води: термічний метод очистки, заснований на нагріванні, кип'ятінні, дистиляції або виморожуванні води; очистка води за рахунок її фільтрації; очистка води методом зворотного осмосу; очистка води під дією окремо електричного поля і окремо магнітного поля; очистка води під дією одночасно магнітного і електричного поля;

очистка води ультрафіолетовим світлом; очистка води з використанням сорбентів.

Термічний метод очистки води є найбільш поширений в промисловості і побуті, проте він є найбільш енергетично затратний. Метод очистки води зворотнім осмосом дозволяє провадити глибоке очищення води, яке здійснюється за допомогою мембран з одностороннім проникненням. Через мікроскопічно малі пори розміром порядку 0,0001 мікрона таких мембран можуть проходити тільки молекули води й кисню, а мікроорганізми, розчинені у воді солі й органічні сполуки затримуються мембраною. При оптимальних значеннях температури й тиску ступінь очищення цим методом досягає 95-98%. Проте ступінь очищення і продуктивність роботи мембран сильно залежить від загального вмісту солі в сирій воді і від атомного складу самої солі, а також від тиску і температури, а сам процес очистки є досить дорогим. По суті, очистка води зворотним осмосом є способом фінішної очистки води і не має перспективи застосування для очистки технічної води.

Очистка води під дією окремо електричного поля дає досить слабку очистку то на практиці майже не застосовується. Очистка води з використанням сорбентів є досить ефективною, але

при такій технології постає питання підготовки ефективних сорбентів і їх утилізації. Очистка води ультрафіолетовим світлом, по суті, використовується швидше для обеззараження води і може застосовуватись на етапі кінцевої очистки води з хорошою прозорістю. Очистка води під дією одночасно магнітного і електричного поля є досить поширеною для технічної очистки води і також використовуються на етапі попередньої очищення і питної води. Цей метод є досить економічним і може використовуватись для технічної очистки води.

1. Вплив електромагнітного поля на воду

Зміна фізико-хімічних властивостей чистої води під дією слабких електромагнітних полів (ЕМП) становить інтерес у зв'язку з пошуком механізму біологічної дії полів. В деяких роботах повідомляється про достовірне збільшення швидкості осідання еритроцитів *in vitro* під дією низько інтенсивних електромагнітних полів міліметрового діапазону. Проте, вплив електромагнітних полів на характеристики води і водяних розчинів мало вивчені. Механізм нетеплової дії електромагнітних полів на воду та живі організми до цих пір неясний і активно обговорюється в науковій літературі. Перший патент на очистку води магнітним полем був виданий в Бельгії Т. И.С. Вермейрену в 1946 році і з тих пір цей метод неодноразово використовувався на практиці як спосіб запобігання накипу в пароводяних пристроях. Дослідження в цій області проводилися в багатьох лабораторіях. Практично усі дослідники спостерігали позитивний результат зниження жорсткості води і накипу на термповерхнях при магнітній обробці води, але навіть сьогодні немає однозначного теоретичного обґрунтування ефекту впливу слабких магнітних полів на водяні розчини, хоча існує чимало гіпотез, що пояснюють цей ефект.

Під терміном "магнітна обробка води" [1] звичайно розуміється процес обробки магнітним полем водяного розчину, у якому містяться солі тимчасової жорсткості, в основному, це гідрокарбонати кальцію й магнію: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Під дією змінного електричного і магнітного полів в воді відбувається відомий процес зменшення жорсткості, який пов'язаний з розкладанням під дією поля розчинних в воді бікарбонатів Ca і Mg і утворенням нерозчинних карбонатів з виділенням газу CO_2 .

Ця реакція описується [2] як

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O},$$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{CO}_2 \uparrow$. Факт такого процесу був зафіксований давно і пояснювався як вихід газу з води під дією електромагнітного поля, хоча фізичний механізм був у ті часи не зрозумілий.

Найбільш прийнятним механізмом такого процесу вважається наступний. В області між полюсами постійного магніту утримуються частки з феромагнітними властивостями, на яких відбувається формування зародку для утворення кристалів і починається стадія інтенсивного газовиділення. Далі при нагріванні водяного розчину процес кристалізації буде конкурувати з утворенням накипу на теплопередаючій поверхні. Причому карбонат кальцію при нагріванні кристалізується не в кальцит, а арагоніт, кристали якого мають більш низьку адгезію до поверхні металів і більш низьку когезію між собою. В результаті вони виносяться з потоком води. У системах опалення закритого типу нанобульбашки газу, що утворилися при проходженні води через обладнання видаляються із вказаної системи через автоматичний клапан. Це приводить до значного зниження змісту кисню в теплоносії й знижує його корозійну активність. Необхідною умовою для формування зародка кристалізації і газовиділення є наявність у водяному розчині домішок з феромагнітними властивостями, наприклад, окислів заліза, та утримання їх у зазорі між магнітами, а також локальне перенасичення водяного розчину солями накипу і розчиненим газом. В результаті виникає вимога до швидкості руху водяного розчину, яка не повинна перевищувати максимально допустимі. Ці вимоги, як правило, відповідають реальним умовам експлуатації при правильному підборі технології очищення. Дія обладнання проявляється не відразу, а після накопичення достатньої кількості феромагнетиків у зазорі магнітів. Руйнування накипу відбувається в результаті термічної деформації шару накипу при відсутності його відновлення. Експериментально виявлений вплив магнітного поля (МП) на домішки у воді і зареєстрований факт сильного збільшення числа зародків і зростання кристалів у МП та кристалізації солей жорсткості показав, що феромагнітні частки стають центрами кристалізації, тільки якщо крім них у воді присутні солі жорсткості.

В інших роботах [3, 4] вплив МП на воду пояснюється тим, що вода стає більш структурованою і в результаті збільшується швидкість хімічних реакцій та кристалізація розчинених в воді речовин, і інтенсифікуються процеси адсорбції. Класен [1] розділяє наявні гіпотези на три групи: "іонні", "колоїдні" і "водяні".

Перша полягає в тому, що під вплив МП відбувається поляризація й деформація іонів, що підвищує ймовірність їх зближення й утворення центрів кристалізації. Друга передбачає руйнування в МП колоїдних утворень і кластерів домішок води, а їх осколки утворюють центри кристалізації домішок. Третя гіпотеза полягає в впливу МП на агрегацію молекул або спінову поляризацію води (водню і кисню), що може викликати зміни в агрегації молекул води.

Останнім часом отримані експериментальні дані на користь "іонної" гіпотези впливу МП. Встановлено, що під впливом МП виникає деформація гідратних оболонок іонів, змінюється їхній розподіл у воді. Не виключено, при магнітній обробці води може також виникати електролізний струм або пульсація тиску [5]. Чиста вода є діаманетиком, а при структурних змінах і ослабленні міжмолекулярних зв'язків діаманетизм води може збільшуватись [6]. Наявність іонів заліза сприяє утворенню зародків кристалізації, що приводить до утворення осаду. Деформація іонів жорсткості впливає на енергію взаємодії між ними. Солі жорсткості виділяються у вигляді пухкого шламу. Під дією МП може також прискорюватись коагуляція часток з утворенням великих пластівців і випаданням їх в осад. Таким чином, МП може діяти як на катіони заліза, так і на солі жорсткості, а не на структуру води. При очистці води від солей жорсткості кип'ятінням спостерігалася велика кількість пухких пластівців - шлам солей жорсткості. Вплив МП на воду протягом тривалого часу показав, що шлам у ній під дією МП не утворюється. МП впливає на іони бікарбонату кальцію, не дозволяючи їм об'єднуватись між собою для утворення карбонату кальцію у вигляді кальциту, і сприяє утворенню дрібних кристалів арагоніту, які виводяться потоком води.

В останні роки [7] встановлено, що у будь-якій воді навіть в дистильованій є нанобульбашки. Нанобульбашки виникають при кавітації, і як показують вимірювання їх розмір при кавітації складає кілька сотень нм. Нанобульбашки в рідині, як правило, виникають і концентруються на межі розділу рідина-тверде тіло. Їх існування було передбачено на основі ряду непрямих ознак і розгляду деяких теоретичних моделей. На перших порах вважалось, що нанобульбашки хоч і виникають, проте майже відразу і зникають, оскільки не можуть бути стабільними. Наявність нанобульбашок дозволяє просто пояснити різні явища, пов'язані з поверхнею розділу рідина - тверде тіло, такі як великий коефіцієнт ковзання в рідині або аномальне притягування гідрофобних поверхонь

у воді. Вимірювання на атомно силовому мікроскопі у воді при різних тисках доводять існування стабільних нанобульбашок. Густина таких стаціонарних нанобульбашок в одиниці об'єму складає порядку 104 см³ при характерному розмірі від 100 нм до 1.5 мкм. Тиск усередині нанобульбашок P_i пов'язаний із кривизною поверхні і тим вищий, чим менший їх радіус r_i $P_i = P_{atm} + 2\alpha/r_i > P_{atm}$, де α - коефіцієнт поверхневого натягу рідини. Високі тиски повинні б заставляти гази всередині нанобульбашок швидко розчинятися в навколишній воді, і нанобульбашки повинні були б спонтанно зникати. Проте експериментальні дослідження показують, що нанобульбашки не круглі, а сплюснені подібно млинцям, із невеликою кривизною і тому тиск всередині їх набагато менший. На поверхні таких нанобульшок конденсують іони, атоми і навіть наноконплеси домішок, які є в воді [8, 9].

2. Експериментальні дослідження очищення води від солей жорсткості з допомогою електромагнітного поля

Проведено дослідження впливу постійного і змінного високочастотного електромагнітного поля на воду і слабкі парамагнітні водянні розчини і на основі отриманих результатів був розроблений метод і схема пристрою для очищення води від солей жорсткості. Метою наших досліджень було визначення природи домішки і величини їх концентрації в нашій звичайній водопровідній воді, а також як з допомогою електричного та магнітного поля можна покращити характеристика даної води.

Вимірювання складу домішок показали, що вода містить значну кількість солей кальцію й магнію. Крім того у воді є як катіони заліза так і домішки інших металів. (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад домішок в воді

Елемент	Вхідний склад	Труба 6	Труба 7(-)	Труба 7(+)
		вміст (мг/л)		
Ca ²⁺	48,4	3,0	5,1	50,0
Mg ²⁺	18,3	5,2	7,0	28,2
Fe	0,27	0,05	0,24	0,28
Al ³⁺	0,67	0,1	0,98	0,25
Cl ⁻	22,4	11,0	15,8	26,0
SO ₄ ²⁻	32,0	8,7	14,0	48,7

Нами було проведено дослідження впливу електричного і магнітного поля на кристалізацію солей жорсткості в воді. Для більш чіткого дослідження впливу постійного магнітного поля (МП) було проведено дослідження впливу МП на кристалізацію насиченого соляного розчину води.

Ефективність кристалізації залежить від концентрації домішки, тому якщо створити умови, при яких МП викликає збільшення концентрації домішки, це приведе до збільшення швидкості утворення і зростання кристалів під дією МП. При цьому ми вважаємо, що МП впливає на катіони заліза, які теж беруть участь в утворенні кристалічної ґратки кристалів солей жорсткості у воді як каталізатор для утворення зародків кристалізації. При русі рідини на заряджені частинки в ній діє сила Лоренца направлена перпендикулярно швидкості й індукції магнітного поля Лоренца $F=quB$, і пропорційна заряду q частинки, швидкості його руху u та індукції магнітного поля B . На позитивно й негативно заряджені частки сила Лоренца діє в протилежних напрямках.

Якщо розглянути одиничний об'єм рідини, то при русі рідини на одиничний заряд в ній діє сила направлена перпендикулярно до напрямку швидкості руху технологічної рідини та до ліній індукції магнітного поля. Під дією цієї сили Лоренца відбувається розділення заряджених іонів з різними знаками, виникає різниця електричних потенціалів між областями технологічної рідини і може виникнути електричний струм. Внаслідок цього заряджені частинки обертаються в магнітному полі, і період обертання не залежить від швидкості. Траєкторія руху буде гвинтова лінія з постійним кроком і радіусом кривизни. Інтеграл струмів по перерізу труби повинен дорівнювати нулеві в створюваному електричному полі E . Тобто при протіканні провідної рідини через магнітне поле виникає різниця потенціалів між областю з максимальним значенням індукції й областю з мінімальним значенням індукції B .

$$E = \frac{1}{2a} \left(\int_{-a}^a u dy \right) B_0 = UB_0 \quad (1)$$

Під дією цієї сили Лоренца відбувається розділення протилежно заряджених частинок, і виникає різниця електричних потенціалів між стінками. Напруженість електричного поля направлена паралельно силі Лоренца, але в протилежну сторону. Згідно з теорією Арреніуса активні зіткнення іонів приводять до їх зближення двох іонів на віддаль, достатню для протікання реакції кристалізації. Активуючи дифузію іонів у середовищі шляхом індукування електричних струмів у магнітному полі, можна підвищити концентрацію реагуючих між собою іонів і збільшити число їх зіткнень у зоні з нульовим значенням магнітної індукції. Таким чином, у цій зоні відбувається примусова кристалізація солей жорсткості. Швидкість реакції w визначається по

формулі $w=\pi rDN_A c_1 c_2$, де r – віддаль між іонами, D – коефіцієнт дифузії, N_A число Авогадро, c_1 і c_2 – концентрації іонів.

Для того щоб ініціювати кристалізацію солей жорсткості усередині об'єму рідини вдалині від стінок труб у зазорі магнітного обладнання необхідно задати такий напрямок індукції магнітного поля, при якому у середині зазорів утворювалася б зона з нульовим значенням індукції. Все це показує, що вибираючи необхідне розташування вектора магнітної індукції щодо вектора швидкості потоку, можна цілеспрямовано впливати на іони солей жорсткості та перерозподіляти і їх в об'ємі води.

Схеми експериментальних досліджень представлені на рис.1. Використовуючи таку схему ми побудували макетний зразок пристрою і провели дослідження впливу однорідного магнітного поля і постійного електричного поля на кристалізацію солей жорсткості в водяному розчині. Результати експериментальних досліджень показали, якщо час проходження води через зону між полюсами магніту більший однієї секунди в ній починають утворюватися дрібні кристали даних солей жорсткості. Далі ці дрібні кристалики виносяться разом з водою.

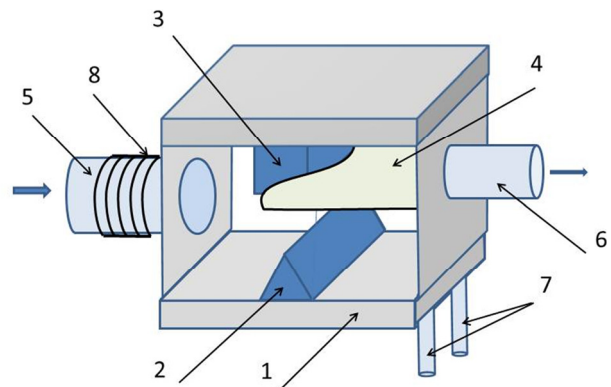


Рисунок 1 - Схема експериментальних досліджень впливу магнітного і електричного поля на кристалізацію солей жорсткості в водяному розчині: 1- камера обробки води, 2 і 3 - постійні магніти, 4 - ізолювані електроди, 5 - труба для подачі води, 6 – труба для виведення очищеної води, 7 - труби для відводу розсолу, 8 - котушка.

При дослідженні використано камеру обробки води в виді паралелепіпеда з магнітного матеріалу (сталь 3). На верхній і нижній стінці камери посередині один навпроти другого поперек камери від однієї бокової стінки до другої були закріплені постійні магніти 2 і 3. Верхня грань нижнього магніту 2 мала форму рівносторонньої трапеції з вершиною орієнтованою до центра верхнього магніту, а

верхній магніт 3 мав форму у виді паралелепіпеда. Обидва магніти виготовлялись з магнітного матеріалу з високою коерцитивною силою і індукцією насичення і намагнічувались паралельно в напрямку перпендикулярному до нижньої і верхньої стінок камери, так що S полюс нижнього магніту розміщений навпроти N полюса верхнього магніту. На бокових стінках камери між двома магнітами від магнітів до торцевої вихідної стінки камери розміщувались два плоскі ізольовані електроди 4. Труба для подачі води 5 і труба для виведення очищеної води 6 розміщувались по центру торцевих стінок камери. На нижній стінці камери знаходилась дві труби для відводу розсолу 7, які розміщені в вихідній частині камери біля протилежних її бокових стінок. На трубі для подачі води 5, яка виготовлялась з непровідного немагнітного матеріалу (капрон) намотана котушка 8, на яку подається високочастотне електричне поле. В середині ця камера захищалась водостійким покриттям.

В даній камері існує ряд конструктивних вимог. Так площа в зоні між двома магнітами $S_I = lh$ повинна бути рівна площі перерізу труби для подачі води $S_I = S_0 = \pi R^2$, де l – довжина магнітів, h – віддаль від верхнього магніту до вершини трапеції нижнього магніту і R – внутрішній радіус труби для подачі води, а площа перерізу труби для виведення очищеної води $S_1 = \pi r_1^2$ має бути більшою в два-три рази від площі перерізу труб для відводу розсолу труби $S_2 = \pi r_2^2$ для виведення очищеної води $S_1 = (2-3)S_2$. Площа перерізу труби для подачі води вибирається з умови продуктивності даного пристрою та потужності джерела високочастотного електричного поля $U = U_0 \cos \omega t$, яке повинно створювати всередині цієї труби напруженість магнітного поля $H = 4\pi nI$ в інтервалі від 4×10^4 до 2×10^6 А/м, де $I = U_0 / R_0$ – струм через котушку на трубі для подачі води, R_0 – загальний опір цієї котушки для струму, n – число витків котушки на одиницю довжини.

Під час роботи нашого експериментального макету вода через трубу 5 поступала в камеру обробки води. В момент проходження води через трубу 5 на котушку 8 подавався високочастотний електричний імпульс. Це забезпечувало дію на воду в трубі потужного змінного електричного $E = E_0 \cos \omega t$ ($E_0 > 10$ В/см) і магнітного $H = H_0 \sin \omega t$ (2×10^6 А/м $< H_0 < 2 \times 10^6$ А/м) поля, де ω_0 лежить в інтервалі від 10^5 до 10^6 Гц. Таке змінне електромагнітне поле діє на воду в трубі протягом десяти періодів коливань $\tau_i = 10T = 1/2\pi\omega_0$. Це забезпечується за рахунок того, що на котушку 8 подається послідовність імпульсів,

кожен з яких складається з цугу (десять періодів) гармонічних коливань $U = U_0 \cos \omega t$, а інтервал між імпульсами τ_T значно менший від часу проходження води через ділянку труби для подачі води з котушкою $\tau_T \ll L/v$, де L – довжина котушки, м, v – швидкість руху води в трубі, м/с, для подачі води, Причому амплітуда електричного живлення котушки U_0 достатня щоб збудити в котушці струм $I = U_0/R_0$ для отримання заданого магнітного поля $H = 4\pi nI$, де R_0 – загальний опір котушки, n – число витків котушки на одиницю довжини. На рис. 2 представлена фотографія макетного зразка камери для очистки води і осцилограма імпульсу збудження, який подавався на трубку 5 для вводу води

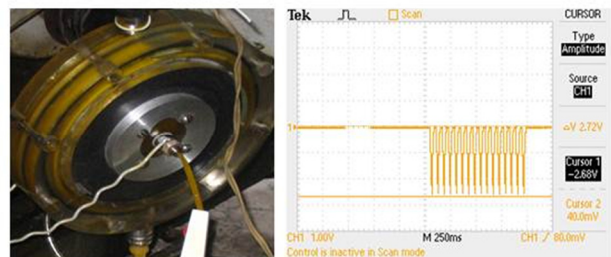


Рис. 2. Фотографія макетного зразка камери для очистки води і осцилограма імпульсу збудження, який подавався на трубу для вводу води в камеру

При проходженні води через цю щілину між магнітами під дією сильно градієнтного магнітного поля заряджені і магнітні іони, наночастинки і нанобульбашки, які є у воді, відхиляються під діє сили Лоренца F . Величина цієї сили рівна добутку $F = VBQ \sin \beta$, де Q – заряд іона, V – індукція магнітного поля, V – швидкість руху іона (води) в щілині між магнітами, β кут між напрямом магнітного поля і швидкість руху іона. В нашій конструкції позитивно заряджені іони, нанобульбашки і наночастинки будуть відхилятися в одну сторону (наприклад до правої бокової стінки камери), а негативно заряджені будуть відхилятися в іншу сторону (до лівої бокової стінки). Парамагнітні атоми, іони, нанобульбашки і наночастинки під дією сильно градієнтного магнітного поля в щілині будь відхилятися в напрямки градієнта поля, тобто вниз, а діамантні атоми, іони, нанобульбашки і наночастинки будуть відхилятися в протилежному напрямку. Після проходження води крізь щілину між магнітами вона попадає в вихідну частину камери, де на заряджені іони, нанобульбашки і наночастинки діє електричне поле яке додатково відхиляє їх в цьому ж напрямі як і магнітне поле. Це досягається за рахунок різного

знаку електричного потенціалу, який подається на бокові плоскі електроди камери для очистки води. В результаті крізь трубу для виведення очищеної води, яка розміщена по центру торцевої стінки камери на висоті щілини між магнітами з камери виходить очищена вода, а крізь дві труби для відводу розсолу, які розміщені в нижній стінці вихідній частині камери біля протилежних бокових стінок виводиться сильно збагачений розчинними домішками і осадам розсіл. Далі воду яка вийшла з труби для виведення очищеної води можна повторно пропустити через аналогічний пристрій і покращити її очистку, а розсіл, виділений трубами для його відводу, можна використати для виділення цінних домішок, які є в цьому розсолі. Осад можна виділяти також за рахунок відкривання нижньої стінки камери.

Результати наших експериментальних досліджень представлені в таблиці 1, показують, що під дією змінного електричного і магнітного поля в камері відбувається відомий процес зменшення жорсткості води. Причому, якщо вихідна трубка для води складається з трьох (центральна і дві бокових), то вміст солей в воді, яка виходить через бокові трубки значно вищий ніж в воді з центральної трубки. При зростанні тривалості обробки води МП темп кристалізації майже не змінювалася. Отже, вплив МП на кристалізацію солей має високу ефективність умови утворення кластерів, необхідні для початку процесу кристалізації, створюються швидко.

На основі отриманих результатів нами був запропонований новий фізичний механізм впливу електромагнітного поля на очистку води. В останні роки з'явилась теорія, що первинною мішенню впливу електромагнітного поля на воду і біорідини можуть служити нанобульбашки з розчиненого у воді повітря, поляризація яких прискорює їх зростання, коалесценцію і спливання, що приводить до дегазації води. Дегазація рідини, по суті, накопичує дію електромагнітного поля, оскільки при цьому змінюються фізико-хімічні властивості рідини, наприклад, провідність чистої води збільшується в кілька разів, а кислотність рН зростає приблизно на одиницю після двогодинної обробки в слабкому електромагнітному полі з частотою 150 МГц [10]. Цей парадокс можна пояснити, якщо прийняти гіпотезу про дегазуючу дію ЕМП на воду і біорідини. ЕМП дегазує плазму і тим самим змінює концентрацію і розмір нанобульбашок повітря. Переваги такої моделі у порівнянні з іншими теоріями полягають у наступному. По-перше, не потрібні припущення про специфічні умови для поглинання випромінювання,

нанобульбашки завжди є на в рідині, що контактує з повітрям. Також не виникає необхідність вводити значний нагрів макробульбашок, оскільки поле взаємодіє з макрооб'єктами. У [10] первинними мішенями впливу ЕМП є мікро- або нанобульбашки розчиненого повітря. Під дією поля виникає поляризація і змінюється тиск в середині нанобульбашок, що змінює величину і навіть форму нанобульбашок.

Висновки

Вважаємо, що під впливом електромагнітного поля на воду виникає поляризація нанобульбашки, що приводить до зміни їх форми а також зростання розміру за рахунок об'єднання. Змінне електромагнітне поле приводить до поляризації молекул рідини, яка зменшує зовнішній вплив в ϵ раз (ϵ - величина діелектричної проникливості рідини). У результаті напруженість поля в рідині буде в ϵ раз менше, ніж у повітряній бульбашці, де ϵ - діелектрична проникність рідини (для води $\epsilon = 80$). А енергія поля в бульбашці буде в ϵ разів більше, ніж у такому ж об'ємі рідини. Оскільки в природі всяка система прагне до мінімуму енергії, то об'єм бульбашки повинен зменшуватися під дією цього додаткового тиску електромагнітного поля. У змінному полі тиск буде змінним, і це може викликати зростання об'єму бульбашок. В результаті під впливом ЕМП відбувається дегазація рідини через зростання, злиття і вихід мікробульбашок з рідини, що може тривати години або навіть дні. В результаті на ділянці великої кривизни поверхні газ з середини нанобульбашки проривається в рідину. Крім того виникає спливання нанобульбашок великого розміру, що також приводить до дегазації води і початку вище описаної реакції зменшення її жорсткості. Цей процес починається в трубці для подачі води і далі продовжується в камері для очистки води. Частина нерозчинних солей осідає у вхідній частині камери до магнітів а частина проходить через щілину між магнітами.

Зростання бульбашок пояснюється односторонньою або випрямленою дифузійною пульсацією бульбашки під дією змінного тиску, створюваного електромагнітним полем, що добре відоме в акустиці [2]. При стисканні бульбашки концентрація газу в ньому збільшується, і газ дифундує із нанобульбашки в рідину, а при розширенні - таким же чином виникає дифузійний потік у зворотному напрямку. Явище зростання бульбашок пояснюється тим, що при розширенні бульбашки її поверхня більша, ніж при стисненні,

тому потік газу при розширенні перевищує потік при стисненні бульбашки. Крім того, дифузія газу в нанобульбашку йде з більшою швидкістю внаслідок більшого градієнта концентрацій при розширенні.

На основі отриманих результатів нами розроблена схема будови пристрою для очистки води, виготовлений макетний зразок пристрою, проведена експериментальна перевірка його роботи, подана заявка і отримане позитивне рішення на видачу та отримання патенту України на винахід [11].

Таким чином, приведені в даній статті результати підтверджують можливість

використання електромагнітного поля в системах очищення води і водяних розчинів від солей жорсткості та їх дегазації. Зрозуміло що для повного очищення води потрібно використовувати і методи фінішного очищення. Проте електромагнітні методи очищення є мало затратними і можуть використовуватись не тільки для очищення і дегазації води в промислових технологіях, і особливо для звільнення води в системах тепlopостачання від кисню, що підвищує антикорозійну стійкість сталевих трубопроводів, але й для ефективного знесолення морської води.

Література

1. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен В. И. – Москва: Химия, 1978. - 240 с.
2. Кларк Г., Стренг П., Уэстер Дж. Вопросы физики кипения / Кларк Г., Стренг П., Уэстер Дж.: под редакцией - Аладьев И.Т. – Москва: Мир, 1964. -443 с.
3. Страйер Л. Биохимия / Страйер Л. – Москва: Мир, 1984. 232 с.
4. Брановер Г.Г., Цинобер А.Б. Магнитная гидродинамика несжимаемых сред / Брановер Г.Г., Цинобер А.Б. – Москва: Наука, 1970. 380 с.
5. Paul A. Influence of Electrical Double-Layer Interaction on Coal Flotation / Paul A. Harvey, Anh V. Nguyen, I and Geoffrey M. Evans // *Journal of Colloid and Interface Science.* – Vol. 250. - 2002. – Pp. 337–343.
6. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Фролов Ю.Г. – Москва: Химия, 1989. - 464 с.
7. Qingyi Xu 1. Biosurfactants for Microbubble Preparation and Application / Qingyi Xu 1, Mitsutoshi Nakajima, Zengshe Liu, Takeo Shiina // *International Journal of Molecular Sciences.* – Vol. 12. - 2011. Pp. 462-475.
8. Sung-Ho Cho. Ultrasonic formation of nanobubbles and their zeta potentials in aqueous electrolyte and surfactant solutions *Colloids and Surfaces A / Sung-Ho Cho, Jong-Yun Kim, Jae-Ho Chun, Jong-Duk Kim // Physicochemic. Eng. Aspects.* Vol. 269. – 2005. – Pp. 28–34.
9. Bunkin N.F. Long-living nanobubbles of dissolved gas / Bunkin N.F., Ninham B.W., Ignatiev P.S., Kozlov V.A., Shkirin A.V., Starosvetskij A.V. // *J. Biophotonics.* Vol. 4. – 2011.- № 3. – Pp. 150-164.
10. Смит Я. Накопление и коммутация энергии больших плотностей. / Смит Я.: под. редакцией - Бостик У., Нарди В., Цукер О. - Москва: Мир 1979. 476 с.
11. Крупа М.М. Пристрій для очищення води / Крупа М.М, Дейна О. А., Коваленко Н. О., Скурта Ю. Б., Шарай І. В.// Заявка на патент України а 2014 12966, позитивне рішення №25992/ЗФ/16 від 21.10 2016. 10 с.

Стаття надійшла в редколегію 09.04.2017

Крупа Николай Николаевич

Доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-0113-9448

Институт магнетизма НАН и МОН Украины, Киев

Приймак Александр Викторович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплотехники Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

Коваленко Надежда Александровна

Инженер второй категории кафедры теплотехники

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОДУ И ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ И ОЧИСТКИ ВОДЫ

Аннотация: В данной работе рассматриваются основные принципы очистки воды физическими методами и описаны результаты исследований влияния на солевой состав водопроводной воды переменного электрического и

постоянного магнитного поля. Анализируются механизмы такого влияния электромагнитного поля на воду. Приведены схемы и внешний вид устройства очистки воды, в котором используются эти поля. На данное устройство получено положительное решение о выдаче патента Украины на изобретение.

Ключевые слова: *очистки воды; методы; магнитное поле; схема устройства*

Krupa Mykola

*Doctor of Physical, Senior Scientis, Chief Scientist, ORCID: 0000-0002-0113-9448
Institute of Magnetism of NAS and MES of Ukraine, Kyiv*

Priymak Olexander

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

Kovalenko Nadia.

*Engineer of the second category of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON WATER AND WATER SOLUTIONS AND WATER PURIFICATION

Abstract: *This paper discusses the basic principles of physical methods of water treatment and described the results of studies on the impact of water and salt solution alternating electric and permanent magnetic field. Analyzes of the mechanisms of electromagnetic fields on the water. Resulted scheme and appearance for water treatment, which uses these fields In this unit received a positive decision on granting Ukraine patent for invention.*

Keywords: *water treatment; physical methods; magnetic field; circuit device*