

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-13>

УДК 621.313.8 : 631.53.02

ВОЩЕНКО БОГДАННаціональний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0009-0002-6502-0910>e-mail: pbfbp21@gmail.com**РАДОВЕНЧИК ВЯЧЕСЛАВ**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0000-0001-5361-5808>e-mail: dokeco@ukr.net**МЕНОВЩИКОВА АЛЬОНА**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0009-0005-2339-1264>e-mail: alena-20-02@ukr.net**РАДОВЕНЧИК ЯРОСЛАВ**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://orcid.org/0000-0002-0101-0273>e-mail: dokeco@ukr.net**ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕФЕКТІВ ОБРОБКИ ВОДИ
МАГНІТНИМ ПОЛЕМ**

В роботі наведено результати вимірювань ефектів, що виникають у водних розчинах після обробки магнітним полем. Встановлено, що для природних вод реєстрація зміни водневого показника та питомої електропровідності не можуть слугувати надійним показником впливу магнітного поля на властивості водних розчинів.

Ключові слова: пом'якшення, магнітне поле, водневий показник, електропровідність розчину, магнітна індукція.

**VOSCHCHENKO BOHDAN, RADOVENCHYK VIACHESLAV,
MENOVSHCHIKOVA ALENA, RADOVENCHYK YAROSLAV**National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**FEATURES OF MEASURING THE EFFECTS OF WATER TREATMENT
WITH A MAGNETIC FIELD**

The catastrophic deterioration of the quality of natural waters prompts intensive research in the field of water treatment and purification technologies. At the same time, special preference is given to technologies that are not associated with the use of additional reagents and secondary pollution of consumed water. One of such promising areas is the use of a magnetic field in water treatment technologies. However, today, even in the most studied field of using a magnetic field to protect power equipment from scale formation, there is no consensus on the dominant processes and factors. Therefore, it is obvious that research in this field is relevant and timely. The conducted cycle of experiments on reliable fixation of the effects of the magnetic field on aqueous solutions with increased rigidity allows us to assert that indirect control methods in the form of specific electrical conductivity or hydrogen index cannot adequately describe changes in the treated solutions. Changes in the specified parameters are so insignificant that they are leveled against the background of their initial values. To reliably record the decrease in hardness of natural waters as a result of treatment with a magnetic field, it is advisable to measure the residual hardness after prolonged treatment at elevated temperatures. We have established that the closest to real operating conditions is the installation of a heating element directly in the thickness of the solution under study. In this case, it is possible to record the balance of hardness ions, which will be divided into three parts - the residual hardness of the liquid phase, the solid phase in the form of sediment and the solid phase in the form of scale. The study of the processes of formation of the specified three parts shows that the optimal temperature for processing during the analysis is not lower than 60 - 70 ° C and the processing time at this temperature is not less than 60 minutes. Under these conditions, the overwhelming number of possible calcium carbonate particles crystallizes and further increase and extension of the specified parameters does not significantly affect the result.

Keywords: softening, magnetic field, hydrogen indicator, electrical conductivity of the solution, magnetic induction

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

Формування антропогенних кругообігів сполук кальцію, магнію та інших елементів супроводжується суттєвим погіршенням якості природних вод та перешкоджає їх безпосередньому споживанню населенням і використанню в технологічних процесах. Для більшості природних вод звичним стає обов'язкове застосування технологій пом'якшення та знесолення перед їх використанням. Традиційні реагентні методи пом'якшення пов'язані із використанням значних доз реагентів та вторинним забрудненням обробленої води. В багатьох випадках застосування реагентних методів не забезпечує достатньої ефективності. Застосування іонообмінних технологій пом'якшення природних вод супроводжується утворенням значних об'ємом висококонцентрованих регенераційних розчинів, котрі, в більшості випадків, скидаються в поверхневі водойми, погіршуючи і без того катастрофічну

ситуацію з якістю природних вод. Тому вже тривалий час ведуться дослідження в галузі використання в технологіях обробки води фізико-хімічних методів – обробка в електролізерах спеціальної конструкції та обробка магнітним полем. Перший патент на обробку води магнітним полем з метою зменшення накипоутворення було видано ще в 1946 р. бельгійському інженеру Т. Вермейрену, але з тих пір значних успіхів в цьому напрямку не зафіксовано [1]. Більше того, навіть сьогодні відсутня єдина теорія впливу магнітного поля на водні розчини. Тому питання впливу магнітного поля на різні параметри водних розчинів і сьогодні залишаються досить актуальними, оскільки їх знання дозволяє встановити найбільш ефективні діапазони окремих параметрів – магнітної індукції, тривалості обробки, швидкості водного потоку, а нові дослідження в цій галузі завжди є своєчасними та цікавими фахівцям технологій водопідготовки.

Аналіз досліджень та публікацій

Вивчення впливу магнітного поля на водні розчини почалося на території України ще у 80-х роках минулого століття [2]. Основна увага на перших порах була зосереджена саме на вивченні ефективності магнітної обробки води з метою зниження накипоутворення. Сьогодні виділяють три основні групи гіпотез такої обробки – іонна, колоїдна та водна [1]. Гіпотези першої групи базуються на твердженні, що в результаті дії магнітного поля на водні розчини в них спостерігаються поляризаційні явища та деформація іонів, в результаті чого відстань між ними скорочується і збільшується вірогідність їх взаємодії з утворенням центрів кристалізації [3]. Причому, магнітне поле діє саме на іони, що перебувають в розчині – насамперед Ca^{2+} та HCO_3^- . Встановлено, що попередня обробка розчинів хлориду кальцію та карбонату натрію магнітним полем в 0,3 Тл протягом 10 хв при їх наступному змішуванні частота зародження частинок карбонату кальцію гальмується, а ріст частинок прискорюється. Причому, зазначений ефект спостерігається навіть через 120 годин після магнітної обробки. Хоча, за даними [4], розміри іонів і частинок карбонату кальцію після обробки в магнітному полі зменшувалися. Друга група гіпотез базується на врахуванні впливу магнітного поля на колоїдні частинки у вигляді частинок CaCO_3 , різноманітних сполук заліза і навіть нанобульбашок повітря [5]. Одним із можливих механізмів дії магнітного поля вважається його вплив на поверхневий заряд, що сприяє утворенню зародків та збільшенню швидкості утворення частинок карбонату кальцію. Третя група гіпотез базується на дії магнітного поля на структуру води через зміни водневих зв'язків між окремими кластерами та у самих кластерах [6, 7, 8]. Останнім часом гіпотези третьої групи отримують значно більше прихильників, особливо після скептичного обґрунтованого сприйняття двох інших груп гіпотез авторами [9]. Таким чином, досі відсутня єдина обґрунтована теорія впливу магнітного поля на воду та водні розчини, що тривалий час підтримує зацікавленість науковців та практиків у детальному вивченні ефектів магнітного поля. Сьогодні до енергетики, де магнітне поле використовується досить давно, приєдналися сільське господарство [10], харчова промисловість [11], легка [12] та видобувна [13] промисловість і ряд інших галузей, тому важливо оцінити основні результати процесів обробки водних розчинів магнітним полем, які піддаються надійній фіксації та обробці.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження можливості надійної фіксації окремих ефектів впливу магнітного поля на водні розчини при вивченні практичних результатів зменшення їх накипоутворення після обробки.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень полягала в обробці природної води постійним магнітним полем в статичному стані (рис. 1а) та при переміщенні її через силові лінії постійного магнітного поля (рис. 1б). В якості джерела магнітної індукції використовували феритові магніти діаметром зовнішнім 50 мм та внутрішнім 25 мм і товщиною 10 мм. Максимальне значення магнітної індукції на поверхні одного магніту складає 24 мТл. В якості модельних використовували природну воду загальної мінералізації 503 мг/дм³, кальцієва жорсткість якої шляхом додавання хлориду кальцію доведена до 27,4 мг-екв/дм³. Вміст гідрокарбонатів складав 305 мг/дм³. Вимірювання магнітної індукції проводили тесламетром TD 8620, вимірювання параметрів розчинів – TDS-метром рН-686.

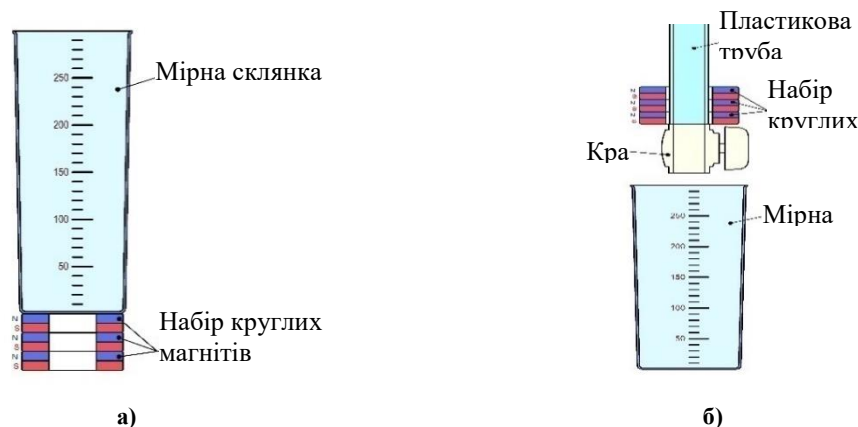


Рис. 1. Лабораторні пристрої для вивчення впливу магнітного поля на водні розчини:
а) – для статичної рідкої фази; б) – для рухомої рідкої фази

При проведенні досліджень з використанням магнітного поля варто звертати увагу на той факт, що магнітне поле відноситься до факторів близької дії. Як видно з рис. 2, вже на відстані 5 мм від поверхні магніту величина магнітної індукції знижується вдвічі, а при віддаленні на 50 мм – спадає до 0,1 – 6,7 мТл при максимальній індукції на поверхні магніту в 77,8 – 129,6 мТл. А це призводить до того, що різні шари рідкої фази будуть піддаватися дії магнітного поля різної величини, а поверхневі взагалі можуть не відчувати такої дії. Такий стан речей вимагає досить зважено підходити до планування експериментів та перед проведенням хімічних аналізів розчини ретельно перемішувати для отримання адекватних результатів.

Сьогодні оцінка ефективності антискалантів та фізичних факторів в процесах пом'якшення води базується на тривалому її нагріванні при температурах 60 – 90 °С та хімічному аналізі з використанням трилону Б, що потребує значних затрат часу та ресурсів. Тому використання з цією метою інших, простіших і можливо навіть опосередкованих параметрів оброблених розчинів є досить актуальною. Найбільш простими і доступними для реального вимірювання параметрів оброблених розчинів є водневий показник та питома електропровідність. Разом з тим, не варто забувати, що приготовлені модельні розчини можуть змінювати ці параметри при контакті з повітрям в результаті поглинання вуглекислого газу та формуванні карбонат- та гідрокарбонат-аніонів. Як видно з рис. 3, навіть без будь-якого зовнішнього втручання з часом вказані параметри можуть суттєво змінюватися в результаті контакту з атмосферою. Причому, якщо в кислому та нейтральному середовищі така зміна рН спостерігається в бік зростання, то в лужному – в бік зниження. І хоча такі зміни досить незначні, але і при вивченні впливу магнітного поля зміни цих параметрів мають невеликі значення, тому можуть нівелюватися першими.

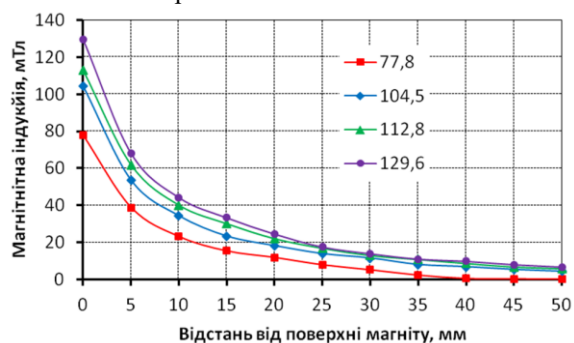


Рис. 2. Зміна величини магнітної індукції в залежності від відстані від поверхні магніту при різних її максимальних значеннях на поверхні магніту (мТл)

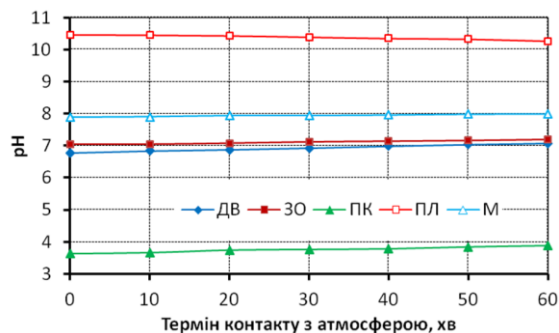


Рис. 3. Зміна величини рН в залежності від терміну контакту з атмосферою (ДВ – дистильована вода; ЗО – вода після зворотно осмотичної установки; ПК – підкислена ДВ; ПЛ – підлужена ДВ; М – природна вода з доведенням загальної жорсткості до рівня 27,4 мг-екв/дм³)

Необхідно також зважати на той факт, що в досліді важливо використовувати хімічний посуд одного об'єму при однаковій площі контакту з атмосферою. Зрозуміло, що при зміні об'єму проби поглинання вуглекислого газу із атмосфери лишатиметься однаковим, що змінюватиме його концентрацію в модельних розчинах і, відповідно, зміна рН відбуватиметься з різною інтенсивністю. Як видно з рис. 4, при меншому об'ємі проби накопичення вуглекислого газу відбувається швидше і зміна рН з часом зростає крутіше. При збільшенні об'єму проби нахил кривої суттєво знижується.

Відомо, що постійне магнітне поле практично не впливає на фізико-хімічні властивості розчинів. Разом з тим, приведені вище фактори можуть суттєво змінювати експериментальні дані. Тому нами було проведено додаткові дослідження в цьому напрямку. Їх результати приведені на рис. 5.

Відразу зауважимо, що зміни питомої електропровідності відбувалися досить нестабільно і не дозволяють стверджувати про якусь залежність. Це ми пов'язуємо з тим фактом, що питома електропровідність зразків розчинів сягала 3000 мкСм/см, що практично нівелювало незначні зміни в результаті можливої дії магнітного поля. Очевидно, що такі досліди варто проводити з менш мінералізованими розчинами.

Щодо зміни рН, то тут зафіксовано постійне його збільшення при збільшенні терміну контакту з атмосферою та дії магнітного поля (рис. 5). І хоча такий ріст є досить незначним, він може свідчити про загальну тенденцію процесів, що проходять в розчині при контакті з атмосферою та дії магнітного поля. Причому, дія магнітного поля в цьому випадку або взагалі відсутня (що найбільш вірогідно з точки зору класичної фізики), або надзвичайно незначна. Результати вимірювання рН без обробки розчинів магнітним полем аналогічні результатам, отриманим при різних значеннях магнітної індукції. Як видно з рис. 5, не зафіксовано зміни результатів обробки водних розчинів зазначеного хімічного складу і при зміні полярності магнітного поля (графік, позначений *). Приведені вище результати отримані на установці, зображеній на рис. 1 і свідчать про те, що постійне магнітне поле суттєво на фізико – хімічні властивості розчинів не впливає і результати такого впливу не можуть бути зафіксовані шляхом вимірювання питомої електропровідності та водневого показника.

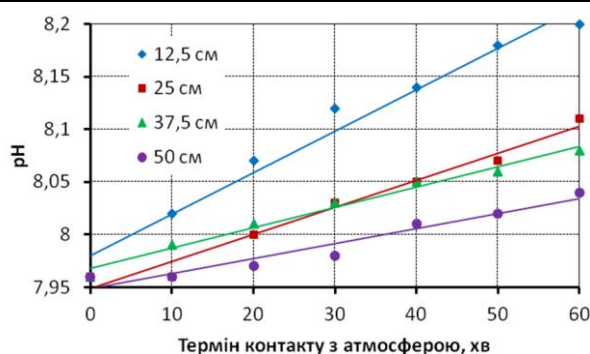


Рис.4. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях товщини шару рідкої фази

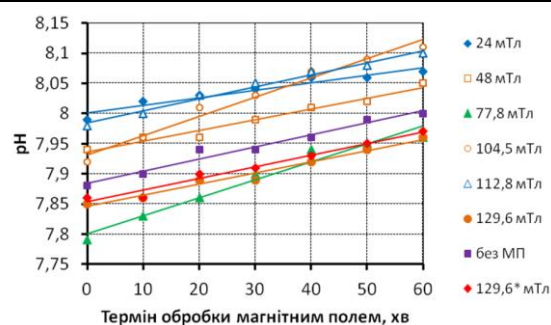


Рис.5. Зміна величини водневого показника в залежності від терміну контакту з атмосферою при різних значеннях магнітної індукції (* - при зміні полярності магнітного поля; без МП – без обробки магнітним полем)

Згідно сучасних уявлень, магнітне поле сильніше справляє вплив на рухомі розчини, на компоненти котрих можуть діяти різноманітні сили, наявні в рідкій фазі при перетині силових ліній магнітного поля [14]. Тому подальші наші дослідження проводили з рухомими розчинами на установці, зображеній на рис. 2. При цьому формування магнітного поля виконували шляхом набору кількох магнітів з проміжками між магнітами чи без них, однакової чи протилежної полярності і т.п. Результати таких досліджень представлені в табл. 1. Як видно з таблиці, встановити якусь залежність між інтенсивністю магнітного поля та основними параметрами обробленої ним жорсткої природної води неможливо. Приведені зміни знаходяться в межах похибок вимірювальних приладів. І ні збільшення шляху впливу магнітного поля, ні зміна полярності магнітів на отримані результати не впливають.

Таблиця 1

Вплив магнітного поля на фізико-хімічні параметри водних розчинів

№ п/п	Магнітна індукція, мТл	Швидкість потоку, м/с	Зміна питомої електропровідності, мкСм/см	Зміна pH, од
1	-	0,2	-	-
2	35,2		30	0,04
3	60,1		10	0,02
4	70,7		10	0,04
5	91,1		20	0,02
6	111,9		10	0,01
7	123,7		10	0,03
8*	67,2		50	0,03
9**	87,6		40	0,02

* - відстань між магнітами 5 мм; ** - зворотна полярність магнітів з відстанню між ними 5 мм

Виходячи із викладеного вище, в експериментах по дослідженню впливу магнітного поля на жорсткість води варто, на нашу думку, покладатися на результати безпосередніх аналізів вмісту іонів кальцію та магнію на різних етапах обробки. Але і тут може бути кілька варіантів. Найбільш близький до реальності варіант є розміщення нагрівача безпосередньо в модельному розчині. При цьому необхідно зважати, що частина іонів жорсткості залишатиметься в рідкій фазі, частина випадатиме у вигляді осаду і частина локалізуватиметься на нагрівачній поверхні. Аналізуючи зазначені три компоненти можливо чітко визначити ефективність магнітної обробки води.

Другий варіант передбачає нагрівання зразка модельного розчину до заданої температури джерелом, що розміщено ззовні ємкості – «водяна» чи «піщана» баня. В цьому випадку визначення розподілу твердої фази між осадам та накипом неможливе, оскільки матеріал посуду та її стан не відповідають реальним умовам. Тому можливо лише говорити про загальний стабілізаційний ефект магнітного поля. А якщо зважити на те, що згідно сучасних уявлень дія магнітного поля полягає у відтермінуванні процесу кристалізації карбонату кальцію і формуванні кристалів не на теплогенеруючій поверхні, а в об'ємі робочого розчину, то загальне зниження жорсткості розчину не може в повній мірі описати ефективність магнітної обробки водних розчинів.

Виходячи із викладених вище міркувань, нами було вибрано для досліджень перший варіант аналізу. Для визначення оптимальних умов обробки модельних розчинів було проведено ряд додаткових досліджень. Перш за все, було встановлено вплив температури на кристалізацію карбонату кальцію та утворення накипу на нагрівачному елементі (рис. 6). Як видно з рис. 6, найбільш інтенсивно зазначені параметри змінюються в діапазоні 20 – 60 °С. Далі процес дещо стабілізується. Таким чином, для аналізу впливу магнітного поля на жорсткість води можна вибрати відповідну температуру. Очевидно, що із збільшенням жорсткості води температуру аналізу можна знижувати і навпаки. Кількість накипу,

що осідає на теплогенеруючій поверхні, найпростіше визначати як різницю між початковою жорсткістю, залишковою жорсткістю та масою осаду, що випав в об'ємі розчину, приведеними до однакових одиниць. Найбільш прийнятною, на нашу думку, можна вважати температуру обробки модельних розчинів у 70 °С, яка є достатньою для кристалізації карбонату кальцію і дозволяє підтримувати близькі до виробничих умови.

Ще одним важливим параметром методики аналізу впливу магнітного поля на водні розчини є термін обробки при підвищених температурах. Проведені нами експерименти з модельними розчинами різної жорсткості на основі природної води показали, що термін нагрівання оброблених магнітним полем розчинів може бути обмеженим в 60 – 90 хв (рис. 7). Як видно з рисунку, протягом періоду в 60 хв кристалізується більшість сполук карбонату кальцію і подальше підтримання вказаної температури на залишкову жорсткість оброблених розчинів практично не впливає. Тому очевидно, що термін нагрівання модельних розчинів для отримання адекватних результатів можна обмежити в 70 хв. Саме цей термін вибрано для наших подальших досліджень.

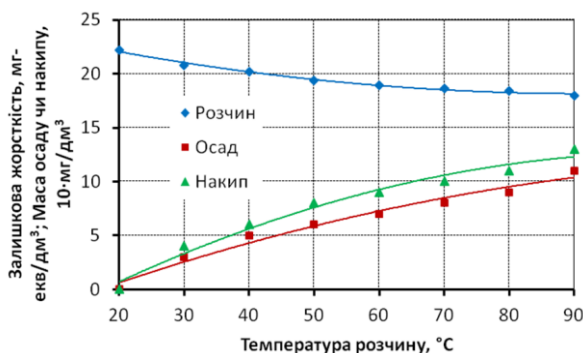


Рис.6. Результати обробки модельного розчину при різних температурах (початкова жорсткість – 22,2 мг-екв/дм³; $t = 30$ хв)

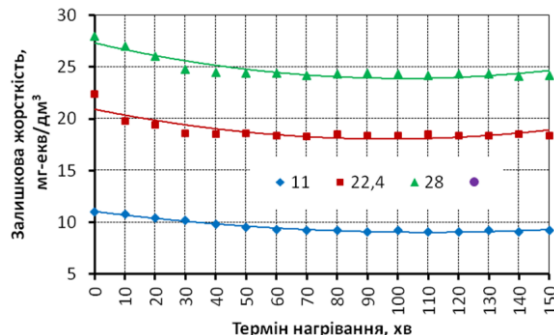


Рис.7. Результати обробки модельного розчину при температурі 70 °C з різною початковою жорсткістю

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведений цикл досліджень процесів обробки водних розчинів магнітним полем показав, що для отримання адекватних результатів щодо зміни жорсткості води та інтенсивності накипоутворення варто враховувати суттєву зміну магнітної індукції в кожній конкретній точці простору, залежність фізико – хімічних параметрів розчинів від терміну контакту розчину з атмосферою, неможливість однорідної обробки зразків розчинів по всьому об'єму. Крім цього, величина змін окремих факторів в результаті обробки магнітним полем досить незначна, тому може нівелюватися на фоні впливу навколишнього середовища, похибки приладу, незначних змін в умовах дослідів і т.п. Очевидно, що отримані в процесі досліджень результати підлягають прискіпливому аналізу з точки зору впливу всіх факторів і в процесах вивчення впливу магнітного поля на водні розчини підвищеної жорсткості варто виходити із контролю безпосередніх параметрів – залишкової жорсткості води та інтенсивності утворення осаду і накипу. Інші параметри, в силу їх незначної зміни в процесі експериментів, не можуть слугувати індикатором таких змін.

Подальші дослідження будуть присвячені вивченню впливу інтенсивності магнітного поля, швидкості руху води, початкової жорсткості води та її мінерального складу на ефективність обробки магнітним полем з метою зниження жорсткості та інтенсивності накипоутворення.

Література

1. Крупа М.М. Вплив електромагнітного поля на воду і водні розчини і очищення води / М.М. Крупа, О.В. Приймак, Н.О.Коваленко // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2017. – Вип. №9. – С. 124–131.
2. Савченко В.В. Магнітна обробка розчинів / В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, Р.О. Гонський // Енергетика і автоматика. – 2019. – № 2. – С. 16–28.
3. Higashitani K. Effects of a Magnetic Field on the Formation of CaCO_3 Particles / K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade // Journal of Colloid and Interface Science. – 1993. - Volume 156, Issue 1. – P. 90-95. – DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1993.1085>.
4. Chibowski E. Magnetic water treatment – A review of the latest approaches / E. Chibowski, A. Szczeńs // Chemosphere. – 2018. - Volume 203. – P. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>
5. Kney A.D. A spectrophotometer-based study of magnetic water treatment: Assessment of ionic vs. surface mechanisms / A.D. Kney, S.A. Parsons // Water Research. – 2006. - Volume 40, Issue 3. – P. 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.019>.

6. Chang K.-T. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields / K.-T. Chang, C.-I Weng // *Computational Materials Science*. - 2008. - Volume 43, Issue 4. - P. 1048-1055. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2008.02.020>.
7. Kitazawa K. Magnetic field effects on water, air and powders / K. Kitazawa, Y. Ikezoe, H. Uetake, N. Hirota // *Physica B: Condensed Matter*. - 2001. - Volumes 294–295. - P. 709-714. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(00\)00749-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(00)00749-3).
8. Holysz L. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions / L. Holysz, A. Szczes, E. Chibowski // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2007. - Volume 316, Issue 2. - P. 996-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.08.026>.
9. Coey J.M.D. Magnetic water treatment – how might it work? // *Philosophical Magazine*. - 2012. - Volume 92, Issue 31. - P. 3857-3865. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>.
10. Гулевський В. Б. Поліпшення систем підготовки води для зрошення рослин за допомогою магнітного поля / В. Б. Гулевський, Ю. О. Постол, Р. В. Кушлик, Р. Р. Кушлик // *Праці ТДАТУ*. - 2020. - Вип. 20, Т. 4. - С. 168 – 174.
11. Штепа Є. П. Дослідження зміни властивостей питної води, соків та напоїв під впливом електромагнітної обробки / Є. П. Штепа, К. А. Михайлова // *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки*. - 2019. - Том 30, Ч. 2, №5. - С. 114 – 121.
12. Приймак О. В. Теоретичні основи обробки води омагніченою водою та її розчинами / О. В. Приймак // *Вісник КНУТД: матеріалознавство, легка та текстильна промисловість*. - 2009. - №5. - С. 145 – 151.
13. Наливайко О. І. Магнітна обробка нафти як метод боротьби з відкладеннями парафіну при її транспортуванні трубопроводами / О. І. Наливайко, А. М. Мангура, Л. Г. Наливайко // *Збірник наукових праць ПолтНТУ: галузеве машинобудування, будівництво*. - 2013. - №1, т.2. - С. 92 – 108.
14. Савченко В.В. Вплив магнітного поля на воду / В.В. Савченко, О.Ю. Синявський, В.Я. Бунько // *Енергетика і автоматика*. - 2019. - № 1. - С. 6 – 15.

References

1. Krupa M.M. Vplyv elektromagnetnoho polia na vodu i vodiani rozchyny i ochyshchennia vody / M.M. Krupa, O.V. Pryimak, N.O.Kovalenko // *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*. - 2017. - Vyp. №9. - S. 124–131.
2. Savchenko V.V. Mahnitna obrobka rozchyniv / V.V. Savchenko, O.Iu. Syniavskiy, R.O. Honskyi // *Enerhetyka i avtomatyka*. - 2019. - № 2. - S. 16–28.
3. Higashitani K. Effects of a Magnetic Field on the Formation of CaCO₃ Particles / K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 1993. - Volume 156, Issue 1. - P. 90-95. - DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1993.1085>.
4. Chibowski E. Magnetic water treatment – A review of the latest approaches / E. Chibowski, A. Szcześ // *Chemosphere*. - 2018. - Volume 203. - P. 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>
5. Kney A.D. A spectrophotometer-based study of magnetic water treatment: Assessment of ionic vs. surface mechanisms / A.D. Kney, S.A. Parsons // *Water Research*. - 2006. - Volume 40, Issue 3. - P. 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.019>.
6. Chang K.-T. An investigation into the structure of aqueous NaCl electrolyte solutions under magnetic fields / K.-T. Chang, C.-I Weng // *Computational Materials Science*. - 2008. - Volume 43, Issue 4. - P. 1048-1055. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2008.02.020>.
7. Kitazawa K. Magnetic field effects on water, air and powders / K. Kitazawa, Y. Ikezoe, H. Uetake, N. Hirota // *Physica B: Condensed Matter*. - 2001. - Volumes 294–295. - P. 709-714. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(00\)00749-3](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(00)00749-3).
8. Holysz L. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions / L. Holysz, A. Szczes, E. Chibowski // *Journal of Colloid and Interface Science*. - 2007. - Volume 316, Issue 2. - P. 996-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.08.026>.
9. Coey J.M.D. Magnetic water treatment – how might it work? // *Philosophical Magazine*. - 2012. - Volume 92, Issue 31. - P. 3857-3865. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>.
10. Hulevskiy V. B. Polipshennia system pidhotovky vody dlia zroshennia roslin za dopomohoiu mahnitnoho polia / V. B. Hulevskiy, Yu. O. Postol, R. V. Kushlyk, R. R. Kushlyk // *Pratsi TDAU*. - 2020. - Vyp. 20, T. 4. - S. 168 – 174.
11. Shtepa Ye. P. Doslidzhennia zminy vlastyvosti pytnoi vody, sokiv ta napoiv pid vplyvom elektromagnetnoi obrobky / Ye. P. Shtepa, K. A. Mykhailova // *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*. - 2019. - Tom 30, Ch. 2, №5. - S. 114 – 121.
12. Pryimak O. V. Teoretychni osnovy obrobky vody omahnnichenoiu vodoiu ta yii rozchynamy / O. V. Pryimak // *Visnyk KNUVD: materialoznavstvo, lehka ta tekstylna promyslovist*. - 2009. - №5. - S. 145 – 151.
13. Nalyvaiko O. I. Mahnitna obrobka nafty yak metod borotby z vidkladenniamy parafinu pry yii transportuvanni truboprovodamy / O. I. Nalyvaiko, A. M. Manhura, L. H. Nalyvaiko // *Zbirnyk naukovykh prats PoltNTU: haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. - 2013. - №1, т.2. - S. 92 – 108.
14. Savchenko V.V. Vplyv mahnitnoho polia na vodu / V.V. Savchenko, O.Iu. Syniavskiy, V.Ia. Bunko // *Enerhetyka i avtomatyka*. - 2019. - № 1. - S. 6 – 15.