

УДК 622.794.2

О.М.ТЕРЕНТЬЄВ, О.А.МОЖАРОВСЬКА, А.В.ВОРФОЛОМЄВ

ЗМІНА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗА РАХУНОК ЕФЕКТУ ПАШЕНА-БАКА

Вступ

Відповідно до [1], станом на 1 січня 2004 року централізованим питним водопостачанням забезпечено 450 міст, 783 із 891 селища міського типу, а також 6490 із 28564 сільських населених пунктів - понад 70 % населення України. Забруднення водних об'єктів - джерел питного водопостачання за недостатньої ефективності роботи водопровідних очисних споруд спричиняє погіршення якості питної води та створює серйозну небезпеку для здоров'я населення в багатьох регіонах України. Сучасний незадовільний стан водних об'єктів показує, що проблеми у сфері охорони вод від забруднення та виснаження не тільки не знайшли вирішення, а й значно загострилися. Четверта частина очисних споруд водопровідної мережі, кожна п'ята насосна станція та половина насосних агрегатів відпрацювали нормативний строк експлуатації, що призводить до підвищених витрат електричної енергії та збільшення собівартості перекачування стоків. В аварійному стані перебуває 37,2 тис. кілометрів водопровідних та 13,85 тис. кілометрів каналізаційних мереж, або більше 30% їх загальної довжини, витoki з яких крім вторинного забруднення питної води обумовлюють підтоплення території населених пунктів в окремих

регіонах. Питомі норми водоспоживання перевищують аналогічні показники розвинутих країн у 1,5...3 рази і становлять понад 300 літрів на одну особу за добу, втрати в системах водопостачання сягають 30...40 %, а в деяких регіонах перевищують 50 %. Проблеми водопостачання населення та якості питної води мають загальнодержавне стратегічне значення і потребують комплексного вирішення.

Для очищення водного середовища використовують здебільшого механічні та хімічні (в тому числі біологічні) методи очищення. Вони забезпечують очищення водного середовища від біоактивних та завислих у воді речовин. Проте на надійність і довговічність роботи водопровідної мережі впливають високомолекулярні речовини та електроліти, дисоційовані в воді на іони. Останні погано піддаються традиційним методам очистки. Більш ефективними для зменшення домішок у складі рідини є фізичні методи, такі як електромагнітні, акустичні, гравітаційні тощо.

Магнітна обробка водного середовища має ряд переваг відносно інших методів: діє на всі групи домішок; впливає як на хімічні, так і на фізичні процеси в водному середовищі; призводить до вивільнення внутрішньої енергії середовища внаслідок руйнування електромагнітних зв'язків між молекулами води та домішок, активізує водне середовище; екологічно безпечна (не має токсичних відходів); ресурсозберігальна – не потребує енергозатрат (при використанні постійних магнітів).

Магнітна обробка середовища застосовується в багатьох галузях промисловості, що, в свою чергу, підтверджує ефективність таких пристроїв. Поряд з широким застосуванням пристроїв відсутня загальновізнана та експериментально підтверджена теорія обробки магнітним полем водного середовища. Існує ряд суперечливих теорій [2-7], що розкривають лише певну частину фізичних або хімічних процесів, проте не дають пояснення загальному ефекту магнітної обробки водного середовища. Виникає необхідність у встановленні закономірностей дії магнітного поля на домішки у водному середовищі.

Постановка задачі

Розглянемо магнітну систему, яка складається з постійних магнітів з проточним кільцевим каналом.

Задачі:

- 1) розглянути вплив магнітного поля на електронну оболонку домішок водного середовища;
- 2) розробити математичну модель зміни електропровідності водного середовища під дією постійного магнітного поля.

Вплив зовнішнього магнітного поля на електронну оболонку елементів

Відповідно до класифікації домішок за фазово-дисперсним станом [4] в воді присутні як мікрочасточки (молекули, атоми, іони), так і макрочасточки (завислі у воді частинки, гідрофільні та гідрофобні колоїдні системи), які в свою чергу складаються з мікрочасточок. Вплив магнітного поля теж потрібно розділяти на мікроефект – орієнтація атомів в просторі, зміна властивостей хімічних елементів, іонізація елементів, та макроефект – зміна траєкторії руху часточок при проходженні магнітного поля.

Деякі речовини в намагніченому стані можуть поглинути енергію падаючих на них електромагнітних хвиль [8]. Це поглинання відбувається лише при визначеному співвідношенні між довжиною хвилі та напруженістю постійного магнітного поля. В магнітному полі кожен енергетичний рівень атома розщеплюється на $2J+1$ підрівня (J – повне квантове число атома), які відрізняються один від одного магнітним квантовим числом m_j (ефекти Зеемана та Пашена-Бака) й проявляються у квантових переходах між підрівнями різних розщеплених рівнів. Спонтанні переходи між підрівнями одного й того ж рівня малоімовірні. Під дією падаючої електромагнітної хвилі будуть відбуватись переходи між підрівнями одного рівня, розщепленого в магнітному полі (електронний парамагнітний резонанс). Вимушені переходи між підрівнями рівня означають, що атом у магнітному полі здатен, переходячи з одного підрівня даного рівня на інший підрівень того ж рівня, поглинути енергію електромагнітної хвилі. Поглинання енергії має вибіркового характеру (резонанс). Вимушені переходи між підрівнями можуть проходити і у зворотному напрямку, з випромінюванням електромагнітної енергії. Поглинання хвилі відповідає переходу з більш низьких енергетичних рівнів на більш високі, а випромінювання – з більш високих на більш низькі.

У парамагнетиків, що знаходяться у тепловій рівновазі, атоми розщеплюються по підрівнях у відповідності до закону Больцмана. Тому в станах з меншою енергією знаходиться більше атомів, ніж у стані з більшою енергією. У парамагнетиках здебільшого відбуваються переходи зі збільшенням енергії атомів, тобто відбувається поглинання електромагнітного випромінювання.

Парамагнетика поглинають енергію безперервно. Це пов'язано з тим, що їхні атоми взаємодіють між собою – спін-спінова та спін-решіткова взаємодія. Спін-спінова взаємодія призводить до вирівнювання енергії атомів (спінова релаксація). Спін-решіткова взаємодія обумовлена процесом обміну енергією спінової системи з кристалічною решіткою в цілому й призводить до переходу енергії збудження атомів в теплоту (енергію коливання атомів решітки). Спінова система при цьому може повернутись в початковий стан й знову поглинати електромагнітну енергію з наступною передачею її решітці.

Зміна електропровідності водного середовища під дією магнітного поля

Відповідно до закону Ома для струму в рідині питома електропровідність σ в загальному випадку, См/м, [7]:

$$\sigma = (F z_i \nu_i b_i) / N_A, \quad (1)$$

де $F = 96484,56$ - стала Фарадея, Кл/моль, [8];

$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23}$ - стала Авогадро, моль⁻¹, [8];

z_i - валентність іону: $z_{Ca} = 2$, $z_{Mg} = 2$, $z_{Fe} = 2$ [9];

$\nu_i = \rho_i / m_{ai}$ - число іонів в одиниці об'єму, м⁻³;

ρ_i - щільність речовини, кг/м³: $\rho_{Ca} = 1,55 \cdot 10^3$, $\rho_{Mg} = 1,74 \cdot 10^3$, $\rho_{Fe} = 7,83 \cdot 10^3$, [10];

m_{ai} - атомна маса речовини, кг: $m_{a,Ca} = 6,657288 \cdot 10^{-26}$, $m_{a,Mg} = 4,037061 \cdot 10^{-26}$,

$m_{a,Fe} = 9,275854 \cdot 10^{-26}$, [8];

b_i - рухливість іону, м²/(В·с).

За законом Кальрауша [7] рухливість іона в електроліті не залежить від присутності інших іонів в розчині. Тому електропровідність середовища враховує кількісний (число іонів в одиниці об'єму ν_i) та якісний (валентність іону z_i та рухливість іону b_i) склад середовища, не залежить від взаємодії іонів.

Рухливість іону визначається наступним чином, м²/(В·с):

$$b_i = \frac{m_{ai}}{\lambda_i \cdot \rho_i \cdot e}, \quad (2)$$

де λ_i - питомий опір речовини, Ом·м: $\lambda_{Ca} = 6,24 \cdot 10^{-8}$, $\lambda_{Mg} = 4,4 \cdot 10^{-8}$, $\lambda_{Fe} = 9,71 \cdot 10^{-8}$, [9];

$e = 1,6021892(46) \cdot 10^{-19}$ - заряд електрона, Кл, [7].

Розподіл молекул за енергією визначається законом Больцмана, [7]:

$$\nu_i = \nu_{0i} \exp\left(-\frac{\Delta E_{LS}}{kT}\right),$$

де ν_i - число молекул в одиниці об'єму, м⁻³;

$\nu_{0i} = m_{0i} / m_{ai}$ - число молекул в одиниці об'єму за відсутності магнітного поля, м⁻³;

m_{0i} - концентрація речовини на вході системи, кг/м³: $m_{0,Ca} = 21,543$, $m_{0,Mg} = 2,584$,

$m_{0,Fe} = 0,098$, [10];

ΔE_{LS} - додаткова енергія молекули в магнітному полі (ефект Пашена-Бака), Дж;

$T = 293$ - абсолютна температура, К;

$k = 1,380662 \cdot 10^{-23}$ - стала Больцмана, Дж/К, [7].

Додаткова енергія молекули в магнітному полі відповідно до ефекту Пашена-Бака, Дж:

$$\Delta E_{LS} = \mu_0 \mu (m_L + 2m_S) B, \quad (3)$$

де $\mu_0 = 9,274078 \cdot 10^{-24}$ - магнітна стала, Дж/Тл, [7];

μ - магнітна проникність речовини: $\mu_{Ca} = 1,000044$, $\mu_{Mg} = 1,000006$, $\mu_{Fe} = 5000$, [7];

m_L - орбітальне магнітне квантове число: $m_{L,Ca} = 0$, $m_{L,Mg} = 0$, $m_{L,Fe} = 2$, [8];

$m_S = 1/2$ - спінове магнітне квантове число;

B - індукція магнітного поля, Тл.

Враховуючи рівняння (1-3), електропровідність середовища, См/м:

$$\sigma(B) = \sigma_0 + \frac{F}{eN_A} \sum_{i=1}^u \frac{z_i m_{0i}}{\lambda_i \rho_i} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu_0 \mu_i (m_{Li} + 2m_{Si}) B}{kT}\right) \right], \quad (4)$$

де $\sigma_0 = 1/\lambda_0 = 1/4,44 \cdot 10^6 = 2,252252 \cdot 10^{-7}$ – питома електропровідність води, См/м;

$\lambda_0 = 4,44 \cdot 10^6$ – питомий опір води, Ом·м, [9];

$u=3$ – кількість різновидів іонів.

На рис. 1 показана залежність $\sigma(B)$ з вмістом в водному середовищі іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} відповідно до [10].

Зі збільшенням індукції магнітного поля зростає додаткова енергія, яка надається атому під дією магнітного поля, що призводить до іонізації атомів або молекул середовища, внаслідок чого зростає концентрація іонів в середовищі, а отже зростає електропровідність середовища. Залежність $\sigma(B)$ має максимальне значення, яке відповідає повній іонізації домішок в водному середовищі:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 + \frac{F}{eN_A} \sum_{i=1}^u \frac{z_i m_i}{\lambda_i \rho_i}. \quad (5)$$

При збільшенні індукції магнітного поля від $B_0 = 0$ до $B_1 = 1$ Тл, електропровідність водного середовища при $T = 293$ К з вмістом іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} : $m_{0Ca} = 21,543$ кг/м³, $m_{0Mg} = 2,584$ кг/м³, $m_{0Fe} = 0,098$ кг/м³ збільшується від $\sigma_0 = 2,252252 \cdot 10^{-7}$ См/м до $\sigma_1 = 1,815625 \cdot 10^3$ См/м.

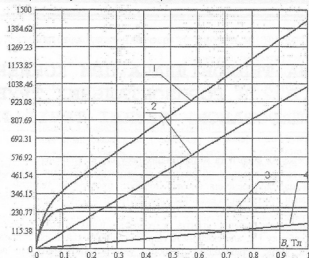


Рис. 1. Залежність електропровідності середовища σ від індукції магнітного поля B при $T = 293$ К з вмістом в водному середовищі іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} :

- 1 - повна електропровідність водного середовища;
- 2 - електропровідність іонів Ca^{2+} ;
- 3 - електропровідність іонів Fe^{2+} ;
- 4 - електропровідність іонів Mg^{2+} .

Висновки

Під дією магнітного поля пропорційно індукції магнітного поля зменшується енергія стану електрона атома за рахунок ефекту Пашена-Бака. Це призводить до підвищення хімічної активності молекул. Такі реакції протікають за участю активних центрів – атомів, іонів або

радикалів, тобто часток молекул, які мають неспарені електрони. Неспареність електронів забезпечує підвищену реакційну активність. При актах взаємодії активних центрів з молекулами середовища утворюються продукти реакції і нові активні частки. Кінець ланцюгової реакції може відбутися при зіткненні активних часток між собою, або активних часток зі стінкою. В результаті активні частки об'єднуються у молекули, а виділена енергія віддається неактивній частці, внаслідок чого зростає концентрація іонів в середовищі, а отже зростає електропровідність середовища.

Література

1. Закон України про Загальнодержавну програму «Питна вода України на 2006-2020 роки» від 3 березня 2005 року № 2455-IV.
2. Стукалов П.С. Магнитная обработка воды, Л.: «Судостроение», 1969. – 192 с.
3. Классен В.И. Омагничивание водных систем. 2-е изд., М.: «Химия», 1982. – 296с.
4. Кульский Л.А. Водочистка в электромагнитном поле. К.: «Знание», 1984. – 19 с.
5. Бондаренко Н.Ф. Электромагнитная гидрофизика и природные явления. Т1: Электромагнитные явления в природных водах. Санкт-Петербург, 1994. – 173 с.
6. Loraine A. Huchler, Non-chemical water treatment systems: histories, principles and literature review. International Water Conference, Pittsburgh, PA, 2002.
7. E. Chibowski, L. Holysz, A. Szczes, M. Chibowski. Влияние магнитного поля на осаждение карбоната кальция. «Вода и Экология» № 1/2005. – С. 20-29.
8. Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики. – К.: «Наукова думка», 1989.– 864 с.
9. Глинка Н.Л. Общая химия. – 23-е изд., Л.: «Химия», 1983. – 704 с.
10. Гофман Ю.В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник, К.: «Наукова думка», 1977.–576с.
11. Результати аналізу води на Прилуцькому родовищі НГВУ «Чернігівнафтогаз».