

## ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПИТОМУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

**В. В. КОЗИРСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор

**В. В. САВЧЕНКО**, кандидат технічних наук, доцент

**О. Ю. СИНЯВСЬКИЙ**, кандидат технічних наук, доцент

**Національний університет біоресурсів і природокористування  
України**

*E-mail:* vit1986@ua.fm

*Анотація. Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень впливу магнітного поля на зміну питомої електропровідності водних розчинів. На основі отриманого аналітичного виразу для питомої електропровідності багатокомпонентного розчину електроліту встановлено, що вона залежить від ступеня електролітичної дисоціації, заряду, рухливості та концентрації іонів. Під дією магнітного поля змінюється розчинність солей, що зумовлює зміну коефіцієнта електролітичної дисоціації та питомої електропровідності розчину. Зміна питомої електропровідності залежить від квадрата магнітної індукції та швидкості руху розчину. Найбільше питома електропровідність розчину збільшується за магнітної індукції 0,065 Тл та швидкості руху розчину 0,4 м/с.*

**Ключові слова:** водний розчин, питома електропровідність, ступінь електролітичної дисоціації, розчинність, магнітна індукція, швидкість руху розчину

**Актуальність.** Обробка поливної води та розчинів мінеральних добрив у магнітному полі уможливорює збільшення врожайності сільськогосподарських культур, зменшення захворюваності рослин, підвищення якості продукції та покращення використання мінеральних добрив [1].

Але нині не повною мірою розкрито механізми й закономірності дії магнітного поля на розчини [1].

Відсутність пояснення дії магнітного поля на процеси, які відбуваються у водному розчині, не дає можливості встановити всі діючі фактори під час його обробки у магнітному полі та визначити їх оптимальні значення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Нині теорія магнітної обробки водних систем знаходиться на стадії висунення і обґрунтування гіпотез, хоча експериментально встановлено, що магнітна обробка води змінює її фізико-хімічні властивості: прискорюються коагуляція і абсорбція, змінюються розчинність солей і концентрація газів, кристалізація і змочування, магнітна сприйнятливність, в'язкість, гідратація іонів, кінетика хімічних реакцій [1, 2].

Поливна вода, живильні та клітинні розчини є багатокомпонентними розчинами електrolітів. Тому теоретичний і практичний інтерес становить дослідження зміни питомої електропровідності таких розчинів під дією магнітного поля.

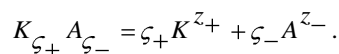
**Мета дослідження** – встановлення впливу магнітного поля на питому електропровідність водних розчинів.

**Матеріали і методи дослідження.** Експериментальні дослідження зміни питомої електропровідності за обробки водного розчину в магнітному полі проводили з розчином такого складу: амоній азотнокислий – 11,36 г/л; натрій азотнокислий – 0,12 г/л; калій сірчаноокислий – 1,56 г/л; кальцій фосфорнокислий двозаміщений – 6,6 г/л; магній сірчаноокислий семиводний – 1,05 г/л. За складом і концентрацією мінеральних елементів цей розчин подібний до клітинного розчину рослин.

Розчин пропускали через магнітне поле, яке створювалося постійними магнітами з інтерметалічного композиту NdFeB. Магнітну індукцію регулювали зміною відстані між магнітами і вимірювали тесламетром 43205/1. Швидкість розчину становила 0,4 м/с, а температура – 20 °С.

Питому електропровідність визначали до магнітної обробки розчину і після неї лабораторним кондуктометром КЛБ-1М.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Іони утворюються за дисоціації солей та кислот унаслідок хімічної реакції:



Таким чином, за дисоціації з однієї молекули утворюється  $\zeta_+$  катіонів із валентністю  $z_+$  та  $\zeta_-$  аніонів із валентністю  $z_-$ . Позначимо через  $\beta$  добуток цих величин:

$$\beta = \zeta_+ z_+ = \zeta_- z_- . \quad (1)$$

Кількість катіонів і аніонів, відповідно, буде

$$n_{i_+} = \zeta_{i_+} n_i ; \quad (2)$$

$$n_{i_-} = \zeta_{i_-} n_i . \quad (3)$$

Частка молекул, яка розпалася на іони, визначається ступенем електролітичної дисоціації [3, 4]:

$$\alpha = \frac{n}{N} = \frac{n}{N_a C} , \quad (4)$$

де  $n$  – кількість молекул, яка розпалася на іони;

$N$  – загальне число молекул;

$N_a$  – число Авогадро, молекул/моль;

$C$  – молярна концентрація речовини, моль/л.

В електролітах електричний струм створюється іонами. Припустимо, що між двома електродами, розташованими на відстані  $l$ , знаходиться розчин електроліту з площею перерізу  $\Omega$ . До електродів прикладене зовнішнє електричне поле з напруженістю  $E$ . Під дією цього поля іони починають упорядкований рух, створюючи при цьому електричний струм  $I$ . Якщо розчин складається з  $k$  електролітів, то сила струму

$$I = \sum_i^k (I_{i+} + I_{i-}), \quad (5)$$

де  $I_{i+}$  і  $I_{i-}$  – складові загального струму, які створюються катіонами і аніонами.

Сила струму буде дорівнювати сумарному заряду позитивно і негативно заряджених іонів, які перетинають площу перерізу  $\Omega$  за одиницю часу, тобто іонів, які знаходяться в об'ємі  $v_i \Omega$ . Тому складові сили струму від іонів  $i$ -го виду будуть дорівнювати

$$I_{i+} = n_i \Omega v_i z_i e, \quad (6)$$

$$I_{i-} = n_i \Omega v_i z_i e, \quad (7)$$

де  $e$  – елементарний заряд, Кл.

Іон починає рухатися зі швидкістю  $v_i$  під дією сили зовнішнього електричного поля:

$$F_{e_i} = z_i e E = z_i e \frac{U}{l}, \quad (8)$$

де  $U$  – напруга, прикладена до електродів, В;  
 $l$  – відстань між електродами, м.

Оскільки рух відбувається в середовищі з кінцевою в'язкістю, буде виникати сила тертя

$$F_{m_i} = k_{m_i} v_i; \quad (9)$$

де  $k_m$  – коефіцієнт тертя, Н·с/м.

У розчині також існують сили взаємодії  $F_e$  між іонами електроліту один з одним, а також між іонами електроліту і молекулами розчинника. Як і сила тертя, ця сила пропорційна швидкості іонів. Введемо поправку на сили взаємодії за допомогою коефіцієнта електропровідності [5]:

$$f_i = \frac{F_m}{F_m + F_e}. \quad (10)$$

Під дією цих сил іон буде рухатися з певним прискоренням. За другим законом Ньютона:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = F_{e_i} - F_{m_i} - F_{\epsilon_i}, \quad (11)$$

де  $m_i$  – маса іона, кг.

Підставивши (8), (9) у рівняння (11), отримаємо:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = z_i e \frac{U}{l} - \frac{1}{f_i} k_{m_i} v_i, \quad (12)$$

або

$$m_i \frac{dv_i}{dt} + \frac{1}{f_i} k_{m_i} v_i = z_i e \frac{U}{l}. \quad (13)$$

Розв'язавши (13), знаходимо рівняння руху іона:

$$v_i = \frac{f_i z_i e U}{k_{m_i} l} \left( 1 - e^{-\frac{k_{m_i} t}{f_i m_i}} \right). \quad (14)$$

Оскільки коефіцієнти тертя і взаємодії іонів значно перевищують

масу іона, то величиною  $e^{-\frac{k_{m_i} t}{f_i m_i}}$  можна знехтувати [4] і вважати, що іон рухається з рівномірною швидкістю

$$v_i = \frac{f_i z_i e U}{k_{m_i} l} = v_i^0 f_i \frac{U}{l}, \quad (15)$$

де  $v_i^0$  – абсолютна швидкість іона.

Підставивши вираз для швидкості руху іона (15) у рівняння (6) і (7), отримаємо вирази для складових сили струму:

$$I = n_{i+} \Omega v_{i+}^0 f_{i+} z_{i+} e \frac{U}{l} \quad (16)$$

$$I = n_{i-} \Omega v_{i-}^0 f_{i-} z_{i-} e \frac{U}{l}. \quad (17)$$

Тоді

$$I = \sum_{i=1}^k (n_{i+} \Omega v_{i+}^0 f_{i+} z_{i+} e \frac{U}{l} + n_{i-} \Omega v_{i-}^0 f_{i-} z_{i-} e \frac{U}{l}). \quad (18)$$

Оскільки число Фарадея визначається виразом

$$F = eN_a, \quad (19)$$

то формулу (18) можна записати у вигляді

$$I = \frac{\Omega F U}{N_a l} \sum_{i=1}^k (n_{i+} v_{i+}^0 f_{i+} z_{i+} + n_{i-} v_{i-}^0 f_{i-} z_{i-}). \quad (20)$$

З урахуванням (1) – (4) отримаємо:

$$I = \frac{\Omega F U}{l} \sum_{i=1}^k f_{i+} \alpha_i \beta_i C_i (v_{i+}^0 + v_{i-}^0), \quad (21)$$

або

$$I = \frac{\Omega U}{l} \sum_{i=1}^k f_{i+} \alpha_i \beta_i C_i (\lambda_{i+}^0 + \lambda_{i-}^0) = \frac{\Omega U}{l} \sum_{i=1}^k f_{i+} \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i, \quad (22)$$

де  $\lambda_i^0$  – рухливість іона, См·м<sup>2</sup>/моль.

За законом Ома

$$I = \sigma U, \quad (23)$$

де  $\sigma$  – провідність розчину.

Тоді

$$\sigma = \frac{\Omega}{l} \sum_{i=1}^k f_{i+} \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i. \quad (24)$$

Оскільки

$$\sigma = \kappa \frac{\Omega}{l}, \quad (25)$$

де  $\kappa$  – питома електропровідність, См/м, то

$$\kappa = \sum_{i=1}^k f_{i+} \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i. \quad (26)$$

Ступінь електролітичної дисоціації та коефіцієнт взаємодії залежать від концентрації електроліту. Тому залежність (26) для широкого діапазону зміни концентрації має складний характер.

Під дією магнітного поля зростає ступінь електролітичної дисоціації [6]:

$$\alpha_M = \alpha e^{\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i B \nu)}{2RT}}, \quad (27)$$

де  $\alpha_M$  і  $\alpha$  – ступінь електролітичної дисоціації після й до магнітної обробки розчину;

$\mu$  – зведена маса іонів, кг;

$B$  – магнітна індукція, Тл;

$K$  – коефіцієнт, який залежить від концентрації та виду іонів, а також кількості перемагнічувань, м/(с·Тл);

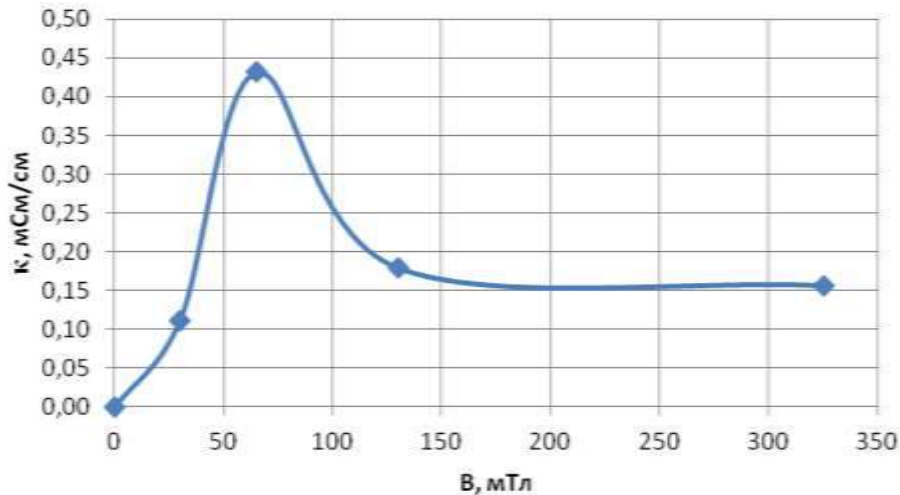
$R$  – універсальна газова стала, Дж/моль·К;

$T$  – температура, К.

Унаслідок зміни коефіцієнта електролітичної дисоціації, під дією магнітного поля змінюється питома електропровідність розчину:

$$\gamma = \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i e^{\frac{\mu(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}} \quad (28)$$

За зміни магнітної індукції від 0 до 0,065 Тл питома електропровідність водних розчинів збільшується, а за подальшого збільшення магнітної індукції починає зменшуватися (див. рисунок).



**Залежність зміни питомої електропровідності розчину солей від магнітної індукції за швидкості руху розчину 0,4 м/с**

Оскільки за обробки водного розчину в магнітному полі збільшується його питома електропровідність, покращується розчинність солей.

**Висновки і перспективи.** Під дією магнітного поля змінюється питома електропровідність розчину внаслідок зміни коефіцієнта електролітичної дисоціації. Зміна питомої електропровідності розчину за магнітної обробки залежить від квадрата магнітної індукції і швидкості руху розчину в магнітному полі. Найбільше питома електропровідність розчину збільшується за магнітної індукції 0,065 Тл та швидкості руху розчину 0,4 м/с. Магнітна обробка водних розчинів покращує розчинність речовин, які знаходяться в ньому.

#### Список літератури

1. Классен В. И. Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – [2-е изд.]. – М. : Химия, 1982. – 296 с.
2. Крупнова Т. Г. Действие внешних силовых полей на неорганические дисперсные системы / Т. Г. Крупнова, О. В. Ракова // Исследования в области естественных наук. – 2014. – № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://science.snauka.ru/2014/02/6613>

3. Физическая химия. Теоретическое и практическое руководство / [Б. П. Никольский, Н. А. Смирнова, М. Ю. Панов и др.] ; под ред. акад. Б. П. Никольского. – Л. : Химия, 1987. – 880 с.
4. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов. – М. : Высшая школа, 1984. – 519 с.
5. Синявський О. Ю. Автоматичне керування мінеральним живленням рослин у гідропонних теплицях / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко. – К. : Компринт, 2016. – 249 с.
6. Савченко В. В. Вплив магнітного поля на розчинність солей / В. В. Савченко // Науковий вісник НУБіП України. – 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 68–72.

### References

1. Klassen, V. I. (1982). Omagnichivaniye vodnykh system [Magnetization of water systems]. Moscow: Khimiya, 296.
2. Krupnova, T. G., Rakova, O. V. (2014). Deystviye vneshnikh silovykh poley na neorganicheskiye dispersnyye sistemy [The effect of external force fields on inorganic disperse systems] Issledovaniya v oblasti estestvennykh nauk, 2. Available at: <http://science.snauka.ru/2014/02/6613>.
3. Nikol'skiy, B. P., Smirnova, N. A., Panov M .Yu. (1987). Fizicheskaya khimiya. Teoreticheskoye i prakticheskoye rukovodstvo [Physical chemistry. Theoretical and practical guidance]. Leningrad: Khimiya, 880.
4. Antropov, L. I. (1984). Teoreticheskaya elektrokimiya [Theoretical Electrochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 519.
5. Synyavsky, A. Y., Savchenko, V. V. (2016). Avtomatychnе керuvannya mineralnym zhyvlenniam roslin u hidroponnykh teplytsiakh [Automatic control of mineral nutrition of plants in hydroponic greenhouses]. Kyiv: TsP «Komprynt», 249.
6. Savchenko, V. V. (2014). Vplyv mahnitnoho polia na rozchynnist soi [Influence of a magnetic field on solubility of salts]. Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy, 194 (2), 68–72.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УДЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

**В. В. Козырский,  
В. В. Савченко,  
А. Ю. Синявский**

**Аннотация.** Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния магнитного поля на изменение удельной электропроводности водных растворов. На основе полученного аналитического выражения для удельной электропроводности многокомпонентного раствора электролита установлено, что она зависит от степени электролитической диссоциации, заряда, подвижности и концентрации ионов. Под действием магнитного поля изменяется растворимость солей, что обуславливает изменение коэффициента электролитической диссоциации и удельной электропроводности раствора. Изменение удельной электропроводности зависит от квадрата магнитной

индукции и скорости движения раствора. Более всего удельная электропроводность раствора увеличивается при магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения раствора 0,4 м/с.

**Ключевые слова:** водный раствор, удельная электропроводность, степень электролитической диссоциации, растворимость, магнитная индукция, скорость движения раствора

## INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON THE SPECIFIC CONDUCTIVITY OF AQUEOUS SOLUTIONS

V. Kozyrskyi,  
V. Savchenko,  
A. Sinyavsky

**Abstract.** *The results of theoretical and experimental studies of the effect of a magnetic field on the change in the specific electrical conductivity of aqueous solutions are given. On the basis of the obtained analytical expression for the specific conductivity of a multicomponent soluble electrolyte, it is established that it depends on the degree of electrolytic dissociation, charge, mobility, and ion concentration. Under the action of a magnetic field, the solubility of salts changes, which causes the change in the electrolytic dissociation coefficient and the specific electrical conductivity of the solution. The change in the electrical conductivity depends on the square of the magnetic induction and the speed of the solution. Most of all, the specific electrical conductivity of the solution increases with a magnetic induction of 0.065 T and a velocity of 0.4 m/s.*

**Keywords:** *aqueous solution, specific electrical conductivity, degree of electrolytic dissociation, solubility, magnetic induction, velocity of the solution*