

ЕЛЕКТРОЛІТИЧНА ПРОВІДНІСТЬ КАРТОПЛІ

Савченко В. В., Синівський О. Ю.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень електролітичної провідності картоплі та невизначеності її вимірювань.

Постановка проблеми. Електролітична провідність – електрофізична властивість речовини, яка дає можливість просто і досить точно контролювати концентрацію компонентів у розчинах. Її значення необхідно знати при проектуванні пристроїв для обробки сільськогосподарських культур у електромагнітному полі. Тому, дослідження електролітичної провідності сільськогосподарської продукції викликає теоретичну і практичну зацікавленість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електролітична провідність застосовується для визначення концентрації бінарних електролітів, для яких у рамках класичної теорії електролітичної дисоціації отримана аналітична залежність електролітичної провідності від концентрації (рівняння Арреніуса). Головний її недолік полягає в тому, що вона не враховує сили міжіонної взаємодії розчинених речовин між собою і молекулами розчинника [1]. Сік картоплі є багатокомпонентним розчином, в якому присутні іони різних солей і кислот. Для таких речовин дослідження електролітичної провідності не проводилися.

Мета статті. Встановити взаємозв'язок між електролітичною провідністю картоплі і концентрацією солей і кислот, які входять до її складу, та провести дослідження невизначеності її вимірювання.

Основні матеріали дослідження. Електропровідність картоплі обумовлюють іони, які утворюються при дисоціації солей та кислот. При дисоціації із однієї молекули утворюється v_+ катіонів із валентністю z_+ та v_- аніонів із валентністю z_- . Позначимо через β добуток цих величин:

$$\beta = v_+ z_+ = v_- z_- \quad (1)$$

Частка молекул, яка розпалася на іони, визначається ступенем електролітичної дисоціації [1,2]:

$$\alpha = \frac{n}{N} \quad (2)$$

де n – кількість молекул, яка розпалася на іони; N – загальне число молекул, або

$$\alpha = \frac{n}{N_a C} \quad (3)$$

де N_a – число Авагадро; C – молярна концентрація речовини.

Якщо речовину розмістити між двома електродами, до яких прикладене зовнішнє електричне поле

напруженістю E , то під дією цього поля іони починають упорядкований рух, створюючи при цьому електричний струм I . Якщо всередині речовини вибрати деяку уявну межу з площею перерізу S , то сила струму буде дорівнювати сумарному заряду позитивно і негативно заряджених іонів, які перетинають її за одиницю часу. За одиницю часу через цю межу пройдуть ті іони, які знаходяться на відстані, яка не перевищує швидкості їхнього руху, тобто в об'ємі Sv . Тоді сила струму становитиме:

$$I = \sum_{i=1}^k (n_{i+} S v_{i+} z_{i+} e + n_{i-} S v_{i-} z_{i-} e) \quad (4)$$

При русі на іон діють сили зовнішнього електричного поля F_e , тертя F_m та взаємодії між іонами та молекулами розчинника F_e [1]. За другим законом Ньютона маємо:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = F_{ei} - F_{mi} - F_{vi} \quad (5)$$

де m_i – маса іона.

Сила зовнішнього електричного поля визначається за формулою [1]:

$$F_{ei} = z_i e E \quad (6)$$

Сили тертя і взаємодії між іонами прямо пропорційні кутовій швидкості [1]:

$$F_{mi} = k_{mi} v_i \quad (7)$$

$$F_{vi} = k_{vi} v_i \quad (8)$$

де k_m і k_e – коефіцієнти.

Підставивши (6), (7), (8) у рівняння (5), отримаємо:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = z_i e E - k_{mi} v_i - k_{vi} v_i \quad (9)$$

Розв'язавши рівняння (9), знаходимо рівняння руху іона:

$$v_i = \frac{z_i e E}{k_{mi} + k_{vi}} (1 - e^{-\frac{k_{mi} + k_{vi} t}{m_i}}) \quad (10)$$

Оскільки коефіцієнти тертя і взаємодії іонів значно перевищують масу іона, то можна вважати, що іон рухається з рівномірною швидкістю

$$v_i = \frac{z_i e E}{k_{mi} + k_{ei}} \quad (11)$$

При $E=1$ В/м і $k_{ei}=0$ іон рухається з абсолютною швидкістю [1]:

$$v_i^0 = \frac{z_i e}{k_{mi}} \quad (12)$$

Взаємодію між іонами і молекулами врахуємо за допомогою коефіцієнта взаємодії:

$$f_i = \frac{k_{mi}}{k_{mi} + k_{ei}} \quad (13)$$

Тоді швидкість руху іона буде визначатися виразом:

$$v_i = v_i^0 f_i E \quad (14)$$

Підставивши вираз для швидкості руху іона (14) у рівняння (4), отримаємо:

$$I = \frac{SFE}{N_a} \sum_{i=1}^k (n_{i+} v_{i+}^0 f_{i+} z_{i+} + n_{i-} v_{i-}^0 f_{i-} z_{i-}) \quad (15)$$

де F – число Фарадея.

При дисоціації із однієї молекули утворюється v_+ катіонів і v_- аніонів, тому

$$n_{i+} = v_+ n_i \quad (16)$$

$$n_{i-} = v_- n_i \quad (17)$$

Підставивши вирази (16), (17) у рівняння (15) з урахуванням (1) і (2), отримаємо:

$$I = SE \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i C_i (\lambda_{i+}^0 + \lambda_{i-}^0) = SE \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i \quad (18)$$

де λ_i^0 – рухливість іона.

Тоді електропровідність речовини:

$$\sigma = \frac{SE}{U} \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i \quad (19)$$

Для плоско паралельної електродної системи:

$$E = \frac{U}{l}; \quad (20)$$

$$\sigma = \gamma \frac{S}{l} \quad (21)$$

Тоді електролітична провідність становитиме:

$$\gamma = \sum_{i=1}^k f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0 C_i \quad (22)$$

Для циліндричної електродної системи

$$E = \frac{U}{r \ln \frac{r_3}{r_6}}; \quad (23)$$

$$S = 2\pi r H, \quad (24)$$

де r_3 і r_6 – радіуси зовнішнього і внутрішнього електродів; H – висота досліджуваного матеріалу у вимірювальній комірці.

Тоді електропровідність досліджуваного матеріалу з урахуванням (24)

$$\sigma = \gamma \frac{2\pi H}{r \ln \frac{r_3}{r_6}} \quad (25)$$

Оскільки електролітичну провідність визначають:

$$\gamma = K \sigma, \quad (26)$$

де K – константа вимірювальної комірки, тоді

$$K = \frac{r \ln \frac{r_3}{r_6}}{2\pi H} \quad (27)$$

Ступінь електролітичної дисоціації та коефіцієнт взаємодії залежать від концентрації електроліту [1, 2]. Тому, залежність (22) для широкого діапазону зміни концентрації має складний характер. Оскільки концентрація мінеральних речовин у бульбї картоплі незначна, то можна вважати ступінь електролітичної дисоціації незмінним, а коефіцієнт взаємодії близьким до одиниці. Тоді електролітична провідність картоплі буде визначатися залежністю:

$$\gamma = \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_i, \quad (28)$$

де $B_i = f_i \alpha_i \beta_i \lambda_i^0$ – коефіцієнт.

Оскільки співвідношення між концентраціями мінеральних елементів у бульбах картоплі відрізняються несуттєво, то

$$\gamma = B \cdot C_{\Sigma}, \quad (29)$$

тобто електролітична провідність картоплі прямо пропорційна загальній концентрації мінеральних речовин у бульбі. На електролітичну провідність речовини, крім її хімічного складу, впливає температура, із підвищенням якої зростає рухливість іонів. Залежність електролітичної провідності картоплі від температури має вигляд [1]:

$$\gamma_{\theta} = \gamma_{25} \cdot [1 + \alpha_k \cdot (\theta - 25)], \quad (30)$$

де γ_{θ} – електролітична провідність картоплі при температурі θ ; γ_{25} – електролітична провідність картоплі при температурі 25 °C; α_k – температурний коефіцієнт провідності.

Оскільки коефіцієнт взаємодії та ступінь електролітичної дисоціації аналітично визначити неможливо, то електролітичну провідність картоплі визначали експериментально.

Експериментальні дослідження електролітичної провідності картоплі проводили на розробленій установці, схема якої наведена на рисунку. Картоплю, потерту на пластмасовій терці, розміщували у вимірювальній комірці. При цьому визначали висоту картоплі у комірці H , яка при дослідженнях становила 0,09 м. Діаметри зовнішнього і внутрішнього електродів для експериментальної установки відповідно становили 0,1 і 0,01 м. Картоплю під час вимірювання безперервно перемішували скляною паличкою. Досліди проводили з картоплею різних сортів. Напругу змінювали за допомогою автотрансформатора. Досліди виконували при трьох значеннях прикладеної напруги: 31, 44 та 60 В, вимірюючи при цьому амперметром силу струму. Досліди проводили при температурі 25 °C, яку контролювали термометром.

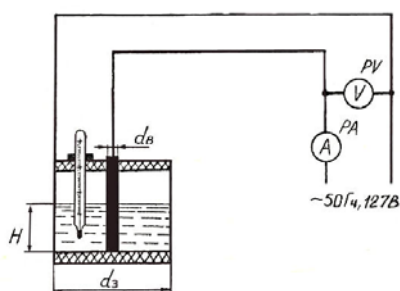


Рисунок – Схема установки для визначення електролітичної провідності картоплі

Константу вимірювальної комірки розраховували за формулою (27) і визначали експериментально. Для цього у вимірювальну комірку заливали 0,01 н розчин хлористого калію (концентрація хлористого калію 0,7455 г/дм³, електролітична провідність 0,1413 См/м при температурі 25 °C) і вимірювали електропровідність комірки. Константа вимірювальної комірки

становила 4,07 м⁻¹. Електропровідність визначали методом амперметра-вольтметра, а електролітичну провідність картоплі розраховували за формулою (26). За результатами проведених досліджень встановлено, що середнє значення електролітичної провідності картоплі становить 0,275 См/м.

Невизначеність вимірювання електролітичної провідності картоплі згідно рівнянь (26) і (30) визначається за формулою:

$$u^2(\gamma) = u^2(\gamma_c) + K^2 u^2(\sigma) + \alpha^2 \gamma_{25}^2 u^2(t). \quad (31)$$

У рівнянні (31) перший член характеризує невизначеність стандартного зразка електролітичної провідності, другий – невизначеність вимірювання електропровідності комірки, третій – невизначеність, пов'язану із змінами температури або різницею в температурі градууювального і вимірювального розчинів [3]. Сумарна стандартна невизначеність вимірювання електролітичної провідності картоплі, розрахована за формулою (31), становить 0,0069 См/м, а розширена невизначеність 0,014 См/м при коефіцієнті охоплення $k=2$.

Висновки. Електролітична провідність картоплі визначається її хімічним складом і прямо пропорційна концентрації розчинених солей і кислот. Встановлено, що оцінене дійсне значення електролітичної провідності картоплі становить 0,275±0,014 См/м.

Список використаних джерел

1. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1969. – 512 с.
2. Хмельницкий Р. В. Физическая и коллоидная химия / Р. В. Хмельницкий – М.: Высш. школа, 1988. – 400 с.
3. Синявський О. Ю. Невизначеність кондуктометричних вимірювань / О. Ю. Синявський, В. В. Савченко // Метрологія і прилади. – 2011. – № 1. – С. 50–52.

Анотація

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Савченко В. В., Синявский А. Ю.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований электролитической проводимости картофеля и неопределенности ее измерения.

Abstract

ELECTROLYTIC CONDUCTIVITY OF POTATO

V. Savchenko, A. Sinyavsky

The results of theoretical and experimental investigations of the electrolytic conductivity of the potato and the uncertainty of measurement are brought.