

УДК 621.317.39:578.087

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ НЕЗНАЧНИМИ ДІЕЛЕКТРИЧНИМИ ВТРАТАМИ ТА ПОРИСТІСТЮ

*Куцевол Олег Миколайович к.т.н.*  
*Kutsevol O.*

*Анотація:* запропоновано удосконалений діелектрометричний метод, який базується на понятті дійсної ємності і реалізований за допомогою вихідних параметрів вимірювального перетворювача, який складається зі зразкового і чутливого елементів, з'єднаних послідовно.

*Ключові слова:* вологість, капілярно-пористий, діелектричний, зерно, перетворювач, втрати.

### *Постановка проблеми*

Одним із важливих параметрів більшості технологічних процесів, за яким визначають якість готової продукції, є вологість. Дослідження, спрямовані на удосконалення та розроблення нових методів контролю вологості та приладів на їх основі, проводяться у всьому світі. Широкий спектр досліджень у галузі контролю вологості викликаний практичними потребами народного господарства в експресних та високоточних методах та засобах вологометрії, що забезпечують високу достовірність вимірювальної інформації.

Одним із перспективних напрямів даних досліджень є високочастотна діелектрометрія, яка дозволяє відносно простими засобами здійснювати експресний контроль вологості із високою достовірністю. Застосування методу високочастотної діелектрометрії ускладнюється при контролі вологості капілярно-пористих матеріалів, характерними представниками яких є зерно пшениці та інших злакових культур.

Основними недоліками діелектрометричних методів є значні похибки, обумовлені нестабільністю гранулометричного складу та діелектричних втрат. При практичному застосуванні діелектрометричних вологомірів похибки значно перевищують допустимі норми, а іноді виміри дають неоднозначні результати. Існує навіть думка, що метод високочастотної діелектрометрії непридатний для контролю вологості капілярно-пористих матеріалів. Проте, його простота, експресність та досить високі метрологічні характеристики спонукають дослідників шукати такі способи, які б дозволили усунути традиційні недоліки діелектрометрії.

### *Аналіз останніх досліджень та публікацій*

Однією із спроб покращити метрологічні характеристики вологомірів можна вважати спосіб вимірювання вологості шляхом визначення фазового зсуву між напругою на зразковому елементі  $Z_0$  (рис.1) і стабілізованою за амплітудою напругою на ємнісному давачі, із подальшим визначенням вихідної напруги первинного перетворювача, пропорційної вологості, реалізований в ємнісному вологомірі [1]. Недоліком цього способу є залежність фазового зсуву між напругами на зразковому елементі і давачі не тільки від вологості, але й від нестабільності діелектричних втрат. Таким чином, основна задача зменшення похибок від нестабільних діелектричних втрат і гранулометричного складу не була розв'язана.

Значний об'єм науково-дослідних робіт, спрямованих на створення та дослідження електричних засобів контролю вологості зерна, здійснено за останні два десятиріччя у Всеросійському науково-дослідному інституті механізації сільського господарства під керівництвом Секанова Ю. П., результати яких узагальнено в [2]. Ці дослідження були в основному спрямовані на удосконалення кондуктометричних та, частково, діелектрометричних вологомірів з метою зменшення

похибок вимірювань, обумовлених нестабільним гранулометричним складом досліджуваних матеріалів, шляхом ущільнення дослідних зразків та оптимізації конструктивних параметрів чутливих елементів (ЧЕ). Проте завдання удосконалення методів контролю вологості, незалежних від нестабільних діелектричних втрат і пористості, так і не було розв'язане.

Подальший розвиток методу високочастотної діелектрометрії, пов'язаний із розробленням нових методів контролю вологості матеріалів із нестабільними пористістю, гранулометричним та хімічним складом, представлено в працях [3-9]. В цих публікаціях описано діелектрометричні методи контролю вологості, в яких на базі відомої електричної моделі діелектричного матеріалу [10,11] розроблена узагальнена електрична модель, що дозволяє умовно відокремити збурювальні чинники від основних інформативних параметрів ЧЕ, що значно покращує метрологічні характеристики засобів контролю вологості. Всі ці методи мають як очевидні переваги, так і певні недоліки, що обумовлені особливостями досліджуваних матеріалів.

### Постановка завдання

Основною метою проведеного дослідження є покращення метрологічних характеристик ЧЕ вологості та вологомірив під час контролю вологості зерна, яке є діелектричним матеріалом із нестабільними діелектричними втратами і пористістю.

### Вирішення завдання

Вміст води в капілярно-пористих органічних матеріалах суттєво впливає на їх властивості та термін зберігання. Більшість досліджень в галузі вологометрії [2,11,12] направлені на розроблення зручних, швидких з малими енергозатратами електричних методів визначення вмісту води в матеріалах та кінцевих продуктах і виробках.

В більшості випадків еквівалентна схема чутливого елемента з досліджуваним матеріалом невисокої вологості може бути представлена паралельним з'єднанням опору втрат  $R_M$ , значення якого сягає десятків мегаом, та ємністю  $C$  (рис.1, а) [7].



Рис. 1. Еквівалентна схема (а) та векторна діаграма (а) чутливого елемента

$$C = C_M + C_0, \quad (1)$$

де  $C_M$  – дійсна (фактична) [13] ємність вологого матеріалу;  $C_0$  – ємність порожнього ЧЕ.

Як видно з діаграми (рис.1, б) [4]:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_M}. \quad (2)$$

Комплексна провідність заповненого чутливого елемента:

$$\underline{Y} = \frac{1}{R_M} + j \cdot \omega \cdot C = \frac{1 + j \cdot \omega \cdot R_M \cdot C}{R_M} = \frac{1 + j \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}}{R_M}, \quad (3)$$

Комплексний опір чутливого елемента з досліджуваним матеріалом:

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{R_M}{1 + j \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}} = \frac{R_M}{\sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta}}}, \quad (4)$$

де  $\phi$  – фазовий зсув між напругою  $\dot{U}_M$  та струмом  $\dot{I}_M$  чутливого елемента.

Модуль комплексного опору [4]:

$$|Z| = \frac{R_M}{\sqrt{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}}} = \sqrt{\frac{R_M^2}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}}} = \sqrt{\frac{R_M^2 \left(1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}\right)}{\left(1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}\right)^2}} = \sqrt{\frac{R_M^2 + \frac{R_M^2}{\text{tg}^2 \delta}}{\left(1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}\right)^2}} = \sqrt{\left(\frac{R_M}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}}\right)^2 + \left(\frac{\frac{R_M}{\text{tg} \delta}}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}}\right)^2}, \quad (5)$$

Враховуючи вирази (3) і (4) комплексний опір чутливого елемента з матеріалом в алгебраїчній формі:

$$\underline{Z} = \frac{R_M}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}} - j \frac{\frac{R_M}{\text{tg} \delta}}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}} = R_e - jX_{C_e}, \quad (6)$$

де  $R_e$  – досліджуваний активний опір ЧЕ з матеріалом;

$X_{C_e}$  – досліджуваний реактивний опір ЧЕ з матеріалом.

З виразу (6) досліджуваний ємнісний опір перетворювача:

$$X_{C_e} = \frac{1}{\omega \cdot C_e} = \frac{\frac{R_M}{\text{tg} \delta}}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \delta}} = \frac{R_M \cdot \text{tg} \delta}{1 + \text{tg}^2 \delta}. \quad (7)$$

З виразу (7) знаходимо виміряну ємність перетворювача:

$$C_e = \frac{1 + \text{tg}^2 \delta}{\omega \cdot R_M \cdot \text{tg} \delta} = \frac{1 + \text{tg}^2 \delta}{\omega \cdot R_M} = C \cdot (1 + \text{tg}^2 \delta). \quad (8)$$

Звідси ємність  $C$ :

$$C = \frac{C_e}{1 + \text{tg}^2 \delta}. \quad (9)$$

Дійсна ємність матеріалу [4,14]:

$$C_M = C - C_0 = \frac{C_e}{1 + \text{tg}^2 \delta} - C_0. \quad (10)$$

Виміряна (уявна) ємність [13] і  $\text{tg} \delta$  визначаються за будь-яким відомим методом [3,8].

Тангенс кута діелектричних втрат вологих капілярно-пористих матеріалів може досягати великих значень [15], тому виміряна ємність набагато більша ємності матеріалу, що характеризує вологість. Цим пояснюється значна похибка контролю вологості при використанні виміряної ємності ЧЕ.

Наявність нестабільного і тривалого в часі струму активної провідності вимагає великого часу вимірювання (десятьки секунд), що зменшує експресність контролю.

Таким чином, дійсна ємність матеріалу може бути ефективним інформативним параметром при контролі вологості вологих матеріалів з нестабільними діелектричними втратами.

Запропонований метод може бути реалізований в вимірювальному перетворювачі (ВП), який складається з чутливого елемента та зразкового опору, з'єднаних послідовно. Вихідним параметром такого перетворювача може бути напруга  $\dot{U}_{ЧЕ}$ . Для її знаходження скористаємось еквівалентними схемами (рис.2, а і б).

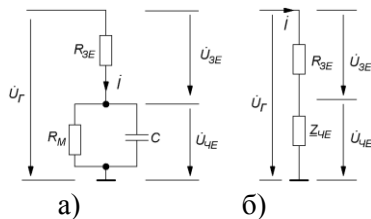


Рис. 2. Еквівалентні схеми вимірювального перетворювача

$$i = \frac{\dot{U}_T}{R_{3E} + Z_{ЧЕ}} = \frac{\dot{U}_T}{R_{3E} + \frac{R_M}{1 + j \cdot \omega \cdot R_M \cdot C}}$$

$$\dot{U}_{\text{ЧЕ}} = \frac{\dot{U}_\Gamma \cdot \frac{R_M}{1 + j \cdot \omega \cdot R_M \cdot C}}{R_{3E} + \frac{R_M}{1 + j \cdot \omega \cdot R_M \cdot C}} = \frac{\dot{U}_\Gamma \cdot R_M}{R_{3E} + R_M + j \cdot \omega \cdot R_{3E} \cdot R_M \cdot C} = \frac{\dot{U}_\Gamma \cdot R_M}{(R_{3E} + R_M) + j \cdot \omega \cdot R_{3E} \cdot R_M \cdot (C_M + C_0)},$$

$$C_M = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{U_{3E-}}{R_{3E} \cdot U_{\text{ЧЕ-}}} \sqrt{\left(\frac{U_{3E-}}{U_{\text{ЧЕ-}}}\right)^2 \cdot \left(\frac{U_{\text{ЧЕ}}}{U_{\text{ЧЕ-}}}\right)^2 - 1}; \quad (11)$$

де  $U_{3E-}$  і  $U_{\text{ЧЕ-}}$  – напруги зразкового і чутливого елементів на постійному струмі;  $U_{3E}$  і  $U_{\text{ЧЕ}}$  – модулі напруг зразкового і чутливого елементів на змінному струмі.

З виразу (11) очевидно, що вихідна напруга  $U_{\text{ЧЕ}}$  залежить від  $C_M$  та  $R_M$  при постійних значеннях  $R_{3E}$  та  $C_0$ . Оскільки  $R_M$  – це опір, що відображає втрати в матеріалі, а вони мають значну температурну нестабільність, то вихідна напруга не може використовуватись в якості вихідного параметру ВП. Відомо [3,4], що параметром, захищеним від нестабільних діелектричних втрат, є струм, що протікає через ємність  $C_M$ . Розглянемо еквівалентну схему та векторну діаграму ВП (рис.3, а і б).

Вимірюючи додатково напругу на зразковому елементі  $U_{3E}$  та  $U_\Gamma$  [3,4], можемо знайти кут  $\varphi$  між напругами на чутливому і зразковому елементах

$$\varphi = \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{\text{ЧЕ}}^2 - U_\Gamma^2}{2 \cdot U_{3E} \cdot U_{\text{ЧЕ}}}, \quad (12)$$

а з його допомогою кут  $\alpha$

$$\alpha = 180^\circ - \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{\text{ЧЕ}}^2 - U_\Gamma^2}{2 \cdot U_{3E} \cdot U_{\text{ЧЕ}}} \quad (13)$$

і нарешті кут  $\beta$

$$\beta = 90^\circ - \alpha = \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{\text{ЧЕ}}^2 - U_\Gamma^2}{2 \cdot U_{3E} \cdot U_{\text{ЧЕ}}} - 90^\circ \quad (13)$$

Знаходимо модуль струму  $I$

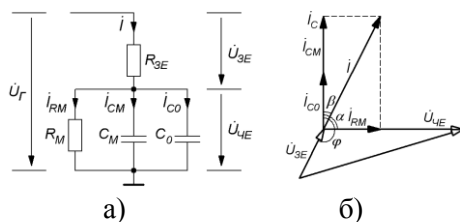
$$I = \frac{U_{3E}}{R_{3E}} \quad (15)$$

та модуль струму  $I_C$

$$I_C = I \cdot \cos \beta = I \cdot \cos \left( \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{\text{ЧЕ}}^2 - U_\Gamma^2}{2 \cdot U_{3E} \cdot U_{\text{ЧЕ}}} - 90^\circ \right). \quad (16)$$

З діаграми (рис.3, б), очевидно, що струм матеріалу  $I_{CM}$ , який залежить від ємності матеріалу  $C_M$ , дорівнює

$$I_{CM} = I_C - I_{C0}. \quad (17)$$



**Рис. 3. Еквівалентна схема (а) та векторна діаграма (б) вимірювального перетворювача із слабкозволоним зерном**

Струм ємності матеріалу є параметром ВП, що не залежить від діелектричних втрат, але він є незахищеним від нестабільної пористості.

В цьому випадку можна використати додатковий параметр – струм ємності матеріалу на іншій частоті. При цьому сукупним інформативним параметром ВП може бути коефіцієнт відносного приросту струму ємності матеріалу  $K_1$

$$K_1 = \frac{100 \cdot (I_{CM1} - I_{CM2})}{I_{CM1} + I_{CM2}} = \frac{100 \cdot \left\{ \left[ \left( \frac{U_{3E}}{R_{3E}} \cdot \cos \beta_1 \right) - U_{\text{ЧЕ1}} \cdot \omega_1 \cdot C_0 \right] - \left[ \left( \frac{U_{3E2}}{R_{3E}} \cdot \cos \beta_2 \right) - U_{\text{ЧЕ2}} \cdot \omega_2 \cdot C_0 \right] \right\}}{\left[ \left( \frac{U_{3E1}}{R_{3E}} \cdot \cos \beta_1 \right) - U_{\text{ЧЕ1}} \cdot \omega_1 \cdot C_0 \right] - \left[ \left( \frac{U_{3E2}}{R_{3E}} \cdot \cos \beta_2 \right) - U_{\text{ЧЕ2}} \cdot \omega_2 \cdot C_0 \right]}, \quad (18)$$

де  $\omega_1$  і  $\omega_2$  – перша та друга робочі радіочастоти генератора;  $U_{3E1}$ ,  $U_{\Gamma1}$ ,  $U_{\text{ЧЕ1}}$  – напруги зразкового елемента, генератора і чутливого елемента відповідно на частоті  $\omega_1$ ;  $U_{3E2}$ ,  $U_{\Gamma2}$ ,  $U_{\text{ЧЕ2}}$  – напруги зразкового елемента, генератора і чутливого елемента відповідно на частоті  $\omega_2$ .

З (18) видно, що інформативними параметрами первинного перетворювача є напруги  $U_{\Gamma}$ ,  $U_{3E}$ ,  $U_{\text{ЧЕ}}$ .

### Висновок

Вираз (18) доцільно використати при побудові приладу контролю вологості капілярно-пористих матеріалів з незначними втратами і нестабільною пористістю.

Експериментальні дослідження запропонованого методу і його порівняння з методом, в якому визначається повний струм чутливого елемента, дали такі результати для зерна з  $W = 14,1\%$  (перевірка проведена арбітражним термогравіметричним методом [17]):

- діелектрометричний метод повної провідності –  $\Delta W = 0,9\%$ ;
- діелектрометричний метод визначення вологості матеріалу з незначними діелектричними втратами і нестабільною пористістю –  $\Delta W = 0,16\%$ .

### Список літератури

1. А.с. 734548 СССР, МПК G 01 N 27/22. Ёмкостный влагомер / Баховец Б. А., Васин В. В., Горюнов Г. П., Пастушенко В. И., Ткачук Я. В. ; заявитель патентообладатель Украинск. ин-т водн. хоз. – № 2465253/18-25 ; заявл. 16.03.77 ; опубл. 15.05.80, Бюл. № 18. – 6 с.
2. Секанов Юрий Петрович. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов : монография / Ю. П. Секанов. – М. : ВИМ, 2001. – 190 с. – ISBN-5-7010-0283-7.
3. Пат. 75700 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентообладатель Вінницьк. націон. техн. унів. – №2004032000 ; заявл. 18.03.04; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. – 2 с.
4. Куцевол О. М. Метод визначення ємності матеріалу зі значними діелектричними втратами / О. М. Куцевол, М. О. Куцевол // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : IX наук.-техн. конф., 30 трав.–2 черв. 2002 р. : тези допов. – Хмельницький, 2002. – С. 86–88.
5. Куцевол О. М. Радіочастотні методи вимірювання вологості зерна / Олег Миколайович Куцевол, Володимир Олександрович Поджаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 3. – С. 5–7.
6. Куцевол О. М. Вимірювання вологості сипучих органічних матеріалів методом високочастотної діелектрометрії / О. М. Куцевол, М. О. Куцевол // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : IX наук.-техн. конф., 30 трав.–2 черв. 2002 р. : тези допов. – Хмельницький, 2002. – С. 83–84.
7. Поджаренко В. О. Високочастотні методи та засоби вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів / Володимир Олександрович Поджаренко, Олег Миколайович Куцевол // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. – 2003. – № 64. – С. 147–152.
8. Куцевол Олег Миколайович. Радіочастотні методи та засоби контролю вологості зерна : монографія / Олег Миколайович Куцевол, Микола Олександрович Куцевол, Володимир Олександрович Поджаренко. – Вінниця : РВВ ВДАУ, 2009. – 115 с. – ISBN-978-966-2959-59-3.
9. Куцевол Олег Миколайович. Високочастотні методи та засоби контролю вологості капілярно-пористих матеріалів : монографія / Олег Миколайович Куцевол, Микола Олександрович Куцевол, Василь Микитович Лисогор. – Вінниця : ФОП Рогальська І. О., 2012. – 216 с. – ISBN-978-617-662-025-9.
10. Богородицкий Николай Петрович. Электротехнические материалы / Николай Петрович Богородицкий, Владимир Васильевич Пасынков, Борис Михайлович Тареев. – Л. : Энергия, 1977. – 308 с.
11. Берлинер Марк Александрович. Измерения влажности / М. А. Берлинер. – М. : Энергия, 1973. – 400 с.
12. Дубров Николай Семенович. Многопараметрические влагомеры сыпучих материалов / Николай Семенович

- Дубров, Евгений Самойлович Кричевский, Борис Исаакович Невзлин. – М. : Машиностроение, 1980. – 144 с.
13. Теория и практика экспрессного контроля влажности твердых и жидких материалов / Е. – С. Кричевский, В. К. Бензарь, М. В. Венедиктов [под общ. ред. Евгения Самойловича Кричевского]. – М. : Энергия, 1980. – 182 с.
14. Пат. 75699 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентовласник Вінницьк. націон. техн. унів. – №2004031999 ; заявл. 18.03.04; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. – 3 с.
15. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности / И. М. Федоткин, В. П. Клочков. – К. : Техніка, 1974. – 320 с.
16. Кричевский Евгений Самойлович. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов / Евгений Самойлович Кричевский, Сергей Сергеевич Галушкин, Александр Григорьевич Волченко. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
17. Зерно. Метод определения влажности : ГОСТ 13586.5-93 [Действителен от 1993–10–21]. – М. : Межгосударственный стандарт, 1993. – 9 с.

### References

1. A.s. 734548 SSSR , МПК G 01 N 27/22 . Yomkostnyy vlagomer / Bakhovets B. A. , Vasin V. V. , Goryunov G. P. , Pastushenko V. I. , Tkachuk YA. V. ; zayavitel' patentoobladatel' Ukrainsk . in-t vodn. khoz. . - № 2465253 / 18-25 ; zayavl . 16.03.77 ; opubl. 15.05.80 , Byul. № 18. - 6 s.
2. Sekanov Yuriy Petrovich . Vlagometrii syupuchikh i voloknistykh rastitel'nykh materialov : monografiya / YU. P. Sekanov . - М. : VIM , 2001. - 190 s. - ISBN- 5-7010-0283-7 .
3. Pat. 75700 Ukrayina, МПК G 01 N 27/22. Sposob vymiryuvannya volohosti / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M.; заявник патентовласник Вінницьк. Национ. техн. Univ. - №2004032000; заявл. 18.03.04; опубл. 15.05.06, Бул. № 5. - 2 s.
4. Kutsevol O. M. Metod vyznachennya yemnosti materialu zi znachnymy dielektrichnimi Vtrata / O. M. Kutsevol, M. O. Kutsevol // Vymiryvalna ta obchyslyvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: IKH nauk.-tekhn. konf., 30 trav.-2 cherv. 2002 r. : Tezy dopov. - Khmelnytsky, 2002. - S. 86-88.
5. Kutsevol O. M. Radiochastotni metody vymiryuvannya volohosti zerna / Oleh Mykolayovych Kutsevol, Volodymyr Oleksandrovych Podzharenko // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. - 2005. - № 3. - S. 5-7.
6. Kutsevol O. M. Vymiryuvannya volohosti sipuchikh orhanichnykh materialiv metodom visokochastotnoyi dielektrometriyi / O. M. Kutsevol, M. O. Kutsevol // Vymiryvalna ta obchyslyvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: IKH nauk.-tekhn. konf., 30 trav.-2 cherv. 2002 r. : Tezy dopov. - Khmelnytsky, 2002. - S. 83-84.
7. Podzharenko V. O. Visokochastotni metody ta zasoby vymiryuvannya volohosti kapilyarno-porystykh materialiv / Volodymyr Oleksandrovych Podzharenko, Oleh Mykolayovych Kutsevol // Visnyk natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". - 2003. - № 64. - S. 147-152.
8. Kutsevol Oleh Mykolayovych. Radiochastotni metody ta zasoby kontrolyu volohosti zerna: monografiya / Oleh Mykolayovych Kutsevol, Mykola Oleksandrovych Kutsevol, Volodymyr Oleksandrovych Podzharenko. - Vinnytsya: RVV VDAU, 2009. - 115 s. - ISBN-978-966-2959-59-3.
9. Kutsevol Oleh Mykolayovych. Visokochastotni metody ta zasoby kontrolyu volohosti kapilyarno-porystykh materialiv: monografiya / Oleh Mykolayovych Kutsevol, Mykola Oleksandrovych Kutsevol, Vasyl Mykytovych Lisohor. - Vinnytsya: FOP Rohalsky I. O., 2012. - 216 s. - ISBN-978-617-662-025-9.
10. Bogoroditskiy Nikolay Petrovich. Elektrotekhnicheskiye materialy / Nikolay Petrovich Bogoroditskiy, Vladimir Vasil'yevich Pasyukov, Boris Mikhaylovich Tareyev. - L.: Energiya, 1977. - 308 s.
11. Berliner Mark Aleksandrovich. Izmereniya vlazhnosti / M. A. Berliner. - M.: Energiya, 1973. - 400 s.
12. Dubrov Nikolay Semenovich. Mnogoparametricheskiye vlagomery syupuchikh materialov / Nikolay Semenovich Dubrov, Yevgeniy Samoylovich Krichevskiy, Boris Isaakovich Nevzlin. - M.: Mashinostroyeniye, 1980. - 144 s.
13. Teoriya i praktika ekspressnogo kontrolya vlazhnosti tverdyykh i zhidkikh materialov / Ye. - S. Krichevskiy, V. K. Benzar', M. V. Venediktov [pod obshch. red. Yevgeniya Samoylovicha Krichevskogo]. - M.: Energiya, 1980. - 182 s.
14. Pat. 75699 Ukrayina , МПК G 01 N 27/22 . Sposib vymiryuvannya volohosti / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. ; заявник патентовласник Вінницьк. Национ. техн. Univ. - №2004031999 ; заявл. 18.03.04 ; опубл. 15.05.06 , Бул. № 5. - 3 s.
15. Fiziko-tekhnicheskiye osnovy vlagometrii v pishchevoy promyshlennosti / I. M. Fedotkin, V. P. Klochkov. - K.: Tekhnika, 1974. - 320 s.
16. Krichevskiy Yevgeniy Samoylovich. Kontrol' vlazhnosti tverdyykh i syupuchikh materialov / Yevgeniy Samoylovich Krichevskiy, Sergey Sergeyeovich Galushkin, Aleksandr Grigor'yevich Volchenko. - M. : Energoatomizdat, 1987. - 136 s.

17. Zerno. Metod opredeleniya vlazhnosti: GOST 13586.5-93 [deystvitelen ot 1993-10-21]. - M.: Mezhhgosudarstvenniy standart, 1993. - 9 s.

### **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОТЕРЯМИ И ПОРИСТОСТЬЮ**

**Аннотация:** *предложен усовершенствованный диэлькометрический метод, который базируется на понятии действительной емкости и реализованный с помощью исходных параметров измерительного преобразователя, который состоит из образцового и чувствительного элементов, соединенных последовательно.*

**Ключевые слова:** *влажность, капиллярно-пористый, диэлектрический, зерно, преобразователь, потери.*

### **METHOD FOR DETERMINING THE MOISTURE CAPILLARY-POROUS MATERIALS WITH MINOR DIELECTRIC LOSSES AND POROSITY**

**Summary:** *the advanced dielectric method which is based on concept of the valid capacity and realized through initial parameters of the measuring converter which consists of the model and sensitive elements connected consistently is offered.*

**Keywords:** *humidity, capillary-porous, dielectric, grain, converter, losses.*