

УДК 621.317.39:578.087

О. М. Куцевол, канд. техн. наук, доц.; М. О. Куцевол, канд. техн. наук, доц.;
В. Г. Петрук, д-р. техн. наук, проф.

МЕТОД КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ І СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Запропоновано метод контролю вологості капілярно-пористих і сипких матеріалів, який відрізняється від існуючих відсутністю коефіцієнта пропорційності у виразі, що пов'язує вологість з інформативними параметрами, та незалежністю результатів від нестабільної маси досліджуваного зразка. Це суттєво підвищує точність і об'єктивність вимірювань.

Вступ

Одним із характерних представників капілярно-пористих матеріалів є зерно, а однією із самих головних ознак його якості — вологість, оскільки вода задіяна у всіх процесах, які відбуваються у зерні та зерновій масі.

На всіх технологічних етапах роботи із зерном необхідно мати інформацію про його вологість. За цим якісним показником визначають час збирання врожаю, режими роботи зернозбиральної техніки, очисного й сушильного обладнання, пристроїв активної вентиляції, розробляють технологію зберігання зерна.

Показники вологості впливають не тільки на зберігання зерна, але й на його технологічні властивості, тобто на процес переробки та вихід готової продукції. Розмелювання і просіювання продуктів розмелювання із підвищеною вологістю спричиняє труднощі, втрати зерна, зменшення продуктивності механізмів, підвищення їх зносу та збільшує витрати енергії. Зерно з високою вологістю взагалі не розмелюється, а у занадто сухого оболонка втрачає еластичність, сильно подрібнюється і потрапляє у борошно.

За кількістю вологи в зерні розраховують зменшення зернової маси під час висушування і зберігання, визначають вихід готової продукції після переробки зерна.

Точне визначення вмісту вологи важливе з багатьох причин: і для порівняння одержаних результатів аналізів даних на єдиній базі (суха речовина), і для визначення товарної цінності зерна, його технологічних властивостей, і для вирішення питань про його розміщення та способах перероблення тощо.

Нині відомо багато методів визначення вологості. Найбільше розповсюдження знайшли різновиди термогравіметричного методу, за яких вологість визначають з виразу

$$W = \frac{M_B - M_c}{M_B} = \frac{\Delta M}{M_B}, \quad (1)$$

де M_B — маса вологого зразка; M_c — маса сухого залишку; ΔM — маса вологи в дослідному зразку.

Ці методи відрізняються один від одного часом та температурою висушування, аналізом цілого чи розмеленого зерна, а також ступенем подрібнення.

Результати досліджень

Сучасні високочастотні діелектрометричні методи покладені в основу побудови вологомірів капілярно-пористих матеріалів [1, 2, 3]. Вони мають непогані метрологічні характеристики (час одного виміру — 0,5...1 с, абсолютна похибка — 0,5...1 %), яка не завжди задовольняє потреби користувачів. Досить велика похибка зумовлена тим, що відсутня точна математична модель вологості від інформативних параметрів первинного перетворювача. Її приблизний характер зумовлений наявністю коефіцієнтів пропорційності, які визначаються експериментальним шляхом і для різних матеріалів різні. Неабияку долю в сумарну похибку вносить неоднорідність капілярно-пористих матеріалів.

В [4] описаний високочастотний метод контролю вологості, який використовує первин-

ний перетворювач із еквівалентною схемою, показаною на рис. 1, утворений з послідовно з'єднаними зразковим конденсатором C_3 і датчиком D ємнісного типу.

За умови стабілізації напруги U_0 , ємність C_0 обчислюється за виразом

$$C_0 = kU_3 \cos \phi, \quad (2)$$

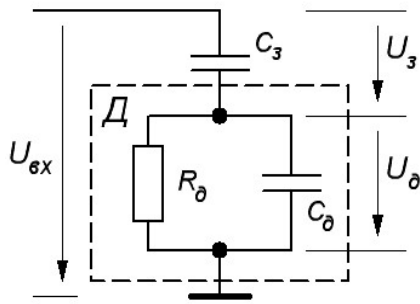
де k — коефіцієнт пропорційності (визначається експериментально); U_3 — напруга на зразковому елементі; ϕ — фазовий зсув між напругами U_3 і U_0 .

За твердженням авторів вологість може бути визначена з виразу

$$W = k_1 C_0, \quad (3)$$

де k_1 — ще один коефіцієнт пропорційності, який також визначається експериментально і для різних капілярно-пористих матеріалів буде різним.

Рис. 1. Еквівалентна схема первинного перетворювача вологості в електричний сигнал



Основним недоліком вказаного методу є необхідність визначати експериментально коефіцієнти пропорційності k і k_1 , що не дозволяє вимірювати вологість із високою точністю.

В основу проведеного дослідження покладена задача зменшення похибки за рахунок того, що додатково вимірюється струм зразкового елемента і відносна діелектрична проникність матеріалу ємнісного датчика вологості та знаходиться значення, яке безпосередньо визначається через вимірювані величини без коефіцієнта пропорційності, не залежить від пористості і об'ємної маси.

На рис. 2 показана еквівалентна схема послідовного кола із ємнісного датчика вологості і зразкового елемента, а на рис. 3 — його векторна діаграма.

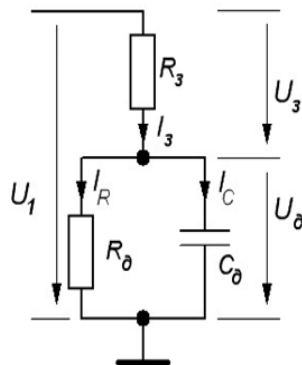


Рис. 2. Еквівалентна схема послідовного кола із ємнісного датчика вологості і зразкового елемента

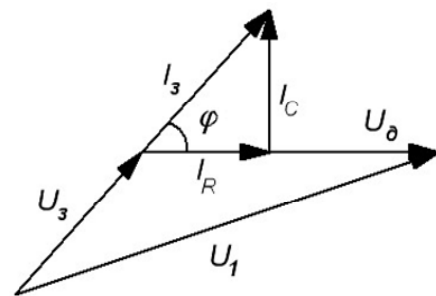


Рис. 3. Векторна діаграма вимірювального перетворювача вологості

Використовуючи виміряні фазовий зсув ϕ та струм, що протікає через зразковий елемент, знаходимо струм діелектричних втрат I_R та ємнісний струм вологого матеріалу I_C з діаграми рис. 3:

$$I_R = I \cdot \cos \phi;$$

$$I_C = I \cdot \sin \phi.$$

І перша, і друга складові струму I залежать від вологості досліджуваного капілярно-пористого матеріалу.

Знаходимо їх відношення A , значення якого також буде залежати від вологості, а також від масової долі вологи та сухого залишку у вологому капілярно-пористому матеріалі,

$$A = \frac{I_R}{I_C}.$$

Від масової долі вологи і сухого залишку у вологому капілярно-пористому матеріалі буде залежати також значення відносної діелектричної проникності цього матеріалу.

З огляду на це, можна скласти систему рівнянь, яка характеризує вологий капілярно-

пористий матеріал,

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\text{в.м.}} &= \frac{m_{\text{с.з.}}}{m_{\text{в.м.}}} \varepsilon_{\text{с.з.}} + \frac{m_{\text{в.}}}{m_{\text{в.м.}}} \varepsilon_{\text{в.}}; \\ A_{\text{в.м.}} &= \frac{m_{\text{с.з.}}}{m_{\text{в.м.}}} A_{\text{с.з.}} + \frac{m_{\text{в.}}}{m_{\text{в.м.}}} A_{\text{в.}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $A_{\text{с.з.}}$ — відношення струму діелектричних втрат до ємнісного струму сухого залишку; $A_{\text{в.м.}}$ — відношення струму діелектричних втрат до ємнісного струму вологого матеріалу; $A_{\text{в.}}$ — відношення струму діелектричних втрат до ємнісного струму води; $\varepsilon_{\text{с.з.}}$ — відносна діелектрична проникність сухого залишку; $\varepsilon_{\text{в.м.}}$ — відносна діелектрична проникність вологого матеріалу; $\varepsilon_{\text{в.}}$ — відносна діелектрична проникність води.

Розв'язуючи систему (4), знаходимо відношення $\frac{m_{\text{в.}}}{m_{\text{в.м.}}}$:

$$\frac{m_{\text{в.}}}{m_{\text{в.м.}}} = \frac{A_{\text{с.з.}} \cdot \varepsilon_{\text{в.м.}} - A_{\text{в.м.}} \cdot \varepsilon_{\text{с.з.}}}{A_{\text{с.з.}} \cdot \varepsilon_{\text{в.}} - A_{\text{в.}} \cdot \varepsilon_{\text{с.з.}}} \quad (5)$$

Оскільки за визначенням вологість — це

$$W = \frac{m_{\text{в.}}}{m_{\text{в.м.}}} \cdot 100 \%,$$

то, помноживши вираз (5) на 100, отримаємо значення вологості у відсотках

$$W = \frac{A_{\text{с.з.}} \cdot \varepsilon_{\text{в.м.}} - A_{\text{в.м.}} \cdot \varepsilon_{\text{с.з.}}}{A_{\text{с.з.}} \cdot \varepsilon_{\text{в.}} - A_{\text{в.}} \cdot \varepsilon_{\text{с.з.}}} \cdot 100. \quad (6)$$

Очевидно, що вираз (6) безпосередньо пов'язує вологість капілярно-пористого матеріалу із вимірюваними величинами: фазовим зсувом ϕ між напругами на ємнісному датчику вологості, струмом зразкового елемента та відносною діелектричною проникністю. Вологість, визначена за виразом (6), не залежить від маси досліджуваного капілярно-пористого матеріалу та неточності коефіцієнта пропорційності, який в цьому виразі відсутній, а це дає можливість проводити вимірювання із високою точністю.

Висновок

Запропонований метод контролю вологості капілярно-пористих і сипких матеріалів відрізняється від існуючих відсутністю коефіцієнта пропорційності у виразі, який пов'язує вологість з інформативними параметрами, та незалежністю результатів від нестабільної маси досліджуваного зразка, що суттєво підвищує точність і об'єктивність вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент 75699 UA, МКІ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. — № 2004031999; заявл. 18.03.2004; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. — 3 с.
2. Патент 75700 UA, МКІ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. — № 2004032000; заявл. 18.03.2004; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. — 2 с.
3. Патент 75443 UA, МКІ G01N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. — № 2004031485; заявл. 01.03.2004; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. — 2 с.
4. А.с. 734548 СССР, МКІ G01N 27/22. Ёмкостный влагомер / Б. А. Баховец, В. В. Васин, Г. П. Горюнов, В. И. Пастушенко, Я. В. Ткачук (СССР). — № 2465253/18-25; заявл. 16.03.77; опубл. 15.05.80, Бюл. № 18. — 6 с.

Рекомендована кафедрою екології і екологічної безпеки

Надійшла до редакції 19.09.11
Рекомендована до друку 21.10.11

Куцевол Олег Миколайович — доцент, **Куцевол Микола Олександрович** — доцент.

Кафедра тракторів, автомобілів і електротехнічних систем, Вінницький національний аграрний університет
Петрук Василь Григорович — завідувач кафедри екології та екологічної безпеки.

Вінницький національний технічний університет