

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.317.39:578.087

О. М. Куцевол, асп.; В. О. Поджаренко, д. т. н., проф.

РАДІОЧАСТОТНІ МЕТОДИ ВІМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ЗЕРНА

Обґрунтовано актуальність проблеми. Описано радіочастотні методи вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів, до яких відноситься і зерно пшениці, що використовують нові інформативні параметри, інваріантні до основних дестабілізуючих факторів. Приділено увагу вимірюванню зв'язаної вологи в капілярно-пористих матеріалах.

Вступ

Україна є одним з провідних світових виробників зерна. Щорічно його виробляється від 20 до 50 млн. тон. Оскільки зерно є стратегічним товаром, продукти його переробки впливають на національну безпеку будь-якої країни, а його виробництво є важливим і постійним напрямом економіки держави.

Вологість є одним з основних показників якості зерна, об'єктивна інформація про яку необхідна як виробникам, так і споживачам, оскільки дає змогу правильно організувати технологічний процес зберігання й переробки та запобігти збиткам.

Відомі методи та засоби вимірювання вологості є або трудомісткими та енергозатратними й непридатними для експресного контролю (метод термогравиметрії) або такими неточними, що дають неоднозначні результати (кондуктометричний, резонансний методи).

У зв'язку з цим створення нових методів експресного контролю вологості зерна, знаходження нових інформативних параметрів, незалежних від основних факторів збурення, які дозволили б отримувати однозначні результати є актуальною науково-технічною задачею.

Дослідження, що базуються на діелектричних властивостях зерна в діапазоні високих частот, проведені авторами в 1998–2003 рр., дозволили знайти нові підходи до розв'язання основної задачі високочастотних вимірювань вологості — зменшення похибки від нестабільності діелектричних втрат і пористості.

1. Двочастотний метод вимірювання вологості

Цей метод передбачає визначення параметрів досліджуваного матеріалу на двох частотах f_1 і f_2 . Досліджуваний матеріал розміщують в ємнісний перетворювач (ЄП), який в свою чергу під'єднують до первинного перетворювача (ПП), що дозволяє неелектричний параметр — вологість перетворити в електричний сигнал (напругу або струм). Отримані значення електричних величин дозволяють визначити вологість досліджуваного матеріалу за виразом [1]

$$W = a + b \left(\frac{U_1}{U_{\text{вх}1}} - \frac{U_2}{U_{\text{вх}2}} \right), \quad (1)$$

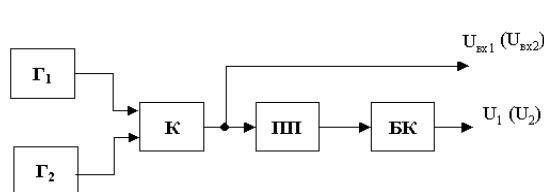


Рис. 1. Структурна схема вимірювального перетворювача вологості

де a і b — коефіцієнти, що визначаються шляхом багатофакторного експерименту і для різних матеріалів різні; $U_{\text{вх}1}$ і $U_{\text{вх}2}$ — значення напруги на вході ПП на частотах f_1 і f_2 відповідно; U_1 і U_2 — значення напруги на виході ПП на частотах f_1 і f_2 відповідно.

Вказаний метод реалізується структурною схемою (рис. 1) вимірювального перетворювача.

Гармонічні сигнали f_1 і f_2 однакової амплітуди від генераторів Γ_1 і Γ_2 за допомогою комутатора K по чергово подаються на первинний перетворювач ПП. З виходу ПП через буферний каскад БК знімається вихідна напруга U_1 або U_2 (в залежності від того, який із генераторів живить первинний перетворювач).

2. Вимірювання вологості сипких органічних матеріалів методом високочастотної діелектрометрії

Під час вимірювання вологості сипких матеріалів органічного походження виникають значні похибки, що обумовлені нестабільністю діелектричних втрат і пористості. Спроби виміряти відносну діелектричну проникність як носія інформативного параметра на одній частоті призводять до неоднозначних результатів. Дане дослідження проведено з метою одержання достовірної інформації про вологість сипких матеріалів під час вимірювань. Відомо [2–4], що діелектрична проникність матеріалів, які знаходяться під дією змінного високочастотного електричного поля — комплексна величина

$$\underline{\epsilon} = \epsilon_1 + j\epsilon_2, \tag{2}$$

де ϵ_1 — дійсна складова комплексної діелектричної проникності, викликана струмами зміщення в діелектрику; ϵ_2 — уявна складова комплексної діелектричної проникності, викликана наявністю струму активної провідності діелектрика. Це говорить про те, що досліджуваний матеріал в первинному перетворювачі має властивості як реактивної b_M так і активної g_M провідності.

Оскільки ємність давача з матеріалом

$$C_M = C_0 \underline{\epsilon}, \tag{3}$$

то її провідність буде

$$b_M = j\omega C_M = j\omega C_0 \underline{\epsilon} = j\omega C_0 (\epsilon_1 - j\epsilon_2). \tag{4}$$

З урахуванням (4) комплексна амплітуда струму в матеріалі

$$\dot{I}_m = \dot{U}_m j\omega C_0 (\epsilon_1 - j\epsilon_2) = \dot{U}_m \omega C_0 \epsilon_2 + j\dot{U}_m \omega C_0 \epsilon_1 = I_{\partial M} + jI_{yM}. \tag{5}$$

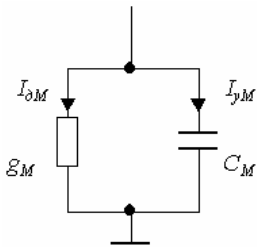


Рис. 2. Еквівалентна схема первинного перетворювача з досліджуваним матеріалом

Отже ϵ_2 входить у вираз для дійсної складової комплексної амплітуди струму, яка знаходиться в фазі з прикладеною до матеріала напругою. Дійсна складова діелектричної проникності ϵ_1 входить у вираз для уявної складової струму матеріалу і випереджає прикладену напругу на кут 90° . У відповідності з комплексною амплітудою струму в матеріалі еквівалентна схема первинного перетворювача з матеріалом буде паралельним з'єднанням провідності діелектричних втрат g_M і ємності C_M з реактивною провідністю b_M (рис. 2).

І дійсна, і уявна складові комплексної амплітуди струму матеріалу є інформативними параметрами під час вимірювання вологості, але $I_{\partial M}$ має значну температурну нестабільність, а також залежність від хімічного складу матеріалу, який є також величиною нестабільною.

Значно кращі температурні характеристики має уявна складова комплексного струму I_{yM} , яка і може використовуватись як інформативний параметр у високочастотній діелектрометричній вологометрії навіть у вимірюваннях на одній частоті.

3. Метод вимірювання зв'язаної вологи в капілярно-пористих матеріалах

Капілярно-пористі матеріали (до яких належить і зерно) характеризуються значним вмістом зв'язаної вологи $W_3 = (5...15 \%)$, яка за своїми діелектричними властивостями відрізняється від вільної вологи. Діелектрична проникність вільної вологи $\epsilon_b = 80...81$, тоді як зв'язана волога має $\epsilon_{зв} = 2...5$, що мало відрізняється від діелектричної проникності сухого залишку [5, 6]. Така велика кількість зв'язаної вологи в капілярно-пористих

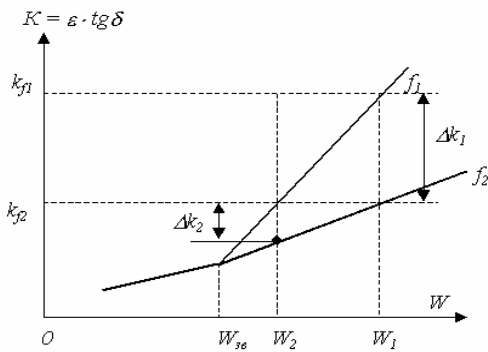


Рис. 3. Залежність коефіцієнта діелектричних втрат матеріалу від вологості

коли $\Delta k = 0$, вільна волога повністю випарувалась, значення $k_{f1} = k_{f2}$ відповідає кількості зв'язаної вологи в досліджуваному капілярно-пористому матеріалі і може бути використаний як ефективний інформативний параметр.

4. Висновок

Розглянуто нові методи вимірювання вологості зерна, інваріантні до температурного впливу навколишнього середовища та нестабільного хімічного складу зерна, які можуть бути покладені в основу побудови вологомірів зерна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куцевол М. О., Куцевол О. М. Двочастотний метод вимірювання вологості капілярно-шпаристих матеріалів зі значними втратами // В кн. «Контроль і управління в складних системах». Матеріали МНТК. Т. 2. — Вінниця, 1999. — С. 185—188.
2. Бугров А. В. Высокочастотные емкостные преобразователи и приборы контроля качества. — М.: Машиностроение, 1982. — 94 с.
3. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 1977. — 479 с.
4. Де Лоор. Диэлектрические свойства гетерогенных влагосодержащих смесей // Приборы и системы управления. 1974. — № 9. — С. 19—22.
5. Лыков А. В. Теплопроводность и диффузия. — М.: ГИТТЛ, 1941. — 476 с.
6. Лыков А. В. Теория сушки капиллярно-пористых коллоидных материалов пищевой промышленности. — М.: ГИТТЛ, 1946. — 344 с.
7. Берлинер М. А. Измерения влажности. — М.: Энергия, 1973. — 400 с.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Надійшла до редакції 22.12.04
Рекомендована до друку 14.01.05

Куцевол Олег Миколайович — аспірант, **Поджаренко Володимир Олександрович** — завідувач кафедри.

Кафедра метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет