

О. М. Куцевол

МЕТОД КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ З ВЕЛИКИМ ВМІСТОМ ВІЛЬНОЇ ВОЛОГИ

Запропоновано удосконалений метод високочастотної діелектрометрії, що базується на понятті уявної складової струму досліджуваного зразка матеріалу, яка знаходиться за допомогою інформативних параметрів вимірювального перетворювача, що складається із послідовно увімкнених зразкового та чутливого елементів, на двох робочих частотах.

Ключові слова: діелектричний, вимірювання, уявна складова, вимірювальний перетворювач, вологість, капілярно-пористий, матеріал.

Постановка проблеми

В Україні як основний метод визначення вологості зерна під час його виробництва і переробки використовують стандартний термогравіметричний метод [1]. При цьому зерно не очищують, оскільки на середню вологість впливають і домішки (особливо насіння буряків), вологість яких може різко відрізнитись від вологості зерна основних культур.

Під час висушування цілі зерна повільно віддають вологу, тому зерно подрібнюють. Розміри часточок обумовлюються стандартом, оскільки сильно впливають на процес висушування. Зерно із вологістю, більшою 18 %, погано розмелюється і в процесі розмелювання втрачає велику кількість води, що приводить до неоднозначних результатів у вимірюванні вологості.

Значно зручніше виконувати контроль вологості електронними вологомірами, які побудовані на основі електричних методів. До таких методів відносять: кондуктометричний, діелектрометричний, НВЧ-метод та ін.

Останнім часом велику увагу приділяють використанню діелектрометричних методів з огляду на відносну простоту їх реалізації.

Основними недоліками діелектрометричних методів є значні похибки, зумовлені нестабільністю гранулометричного складу та діелектричних втрат. У практичному застосуванні діелектрометричних вологомірів похибки значно перевищують допустимі норми, а іноді вимірювання дають неоднозначні результати. Існує навіть думка [2], 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 зі 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 давачу, із подальшим визначенням вихідної напруги чутливого елемента, пропорційної вологості, реалізований в ємнісному вологомірі [3]. Недоліком цього способу є залежність фазового зсуву між напругами на зразковому елементі і давачу 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 обсяг 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 Ю. П. Секанова, результати яких узагальнено в [4]. Ці дослідження були в основному спрямовані на удосконалення кондуктометричних та, частково, діелектрометричних вологомірів з метою зменшення похибок вимірювань, зумовлених нестабільним гранулометричним складом досліджуваних матеріалів,

шляхом ущільнення дослідних зразків та оптимізації конструктивних параметрів чутливих елементів. Проте задачу удосконалення методів контролю вологості, незалежних від нестабільних діелектричних втрат і пористості, так і не було розв'язано.

Подальший розвиток метод високочастотної діелектрометрії, пов'язаний із розробленням нових методів контролю вологості матеріалів із нестабільними пористістю, гранулометричним та хімічним складом, розглянуто в працях [5—8]. В цих публікаціях описано діелектрометричні методи контролю вологості, в яких на базі відомої електричної моделі діелектричного матеріалу [9] розроблена узагальнена електрична модель, що дозволяє умовно відокремити збурювальні чинники від основних інформативних параметрів чутливого елемента, що значно покращує метрологічні характеристики засобів контролю вологості. Всі ці методи мають як очевидні переваги, так і певні недоліки, зумовлені особливостями досліджуваних матеріалів.

Постановка завдання

Основною метою проведеного дослідження є поліпшення метрологічних характеристик чутливого елемента вологості та вологомірів під час контролю вологості зерна, яке є діелектричним матеріалом із нестабільними діелектричними втратами і пористістю.

Вирішення завдання

Експериментальні дослідження вологого зразка зерна показали, що його активний опір $R_{пр}$ знаходиться в межах 15...20 кОм та значними є діелектричні втрати, тому для аналізу доцільно використати еквівалентну схему чутливого елемента з послідовним увімкненням діелектричних втрат (рис. 1а). Векторну діаграму цієї схеми зображено на рис. 1б.

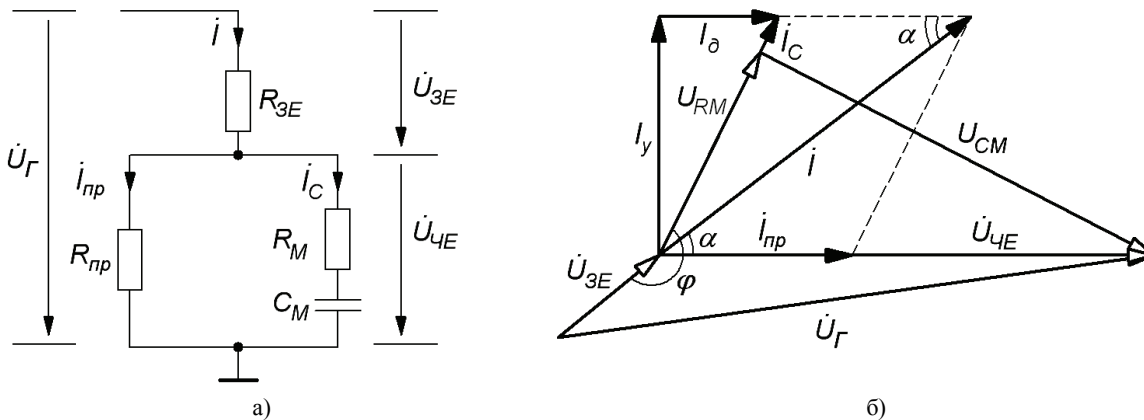


Рис. 1. Еквівалентна схема (а) та векторна діаграма (б) вимірювального перетворювача із сильнозволоженим зерном

Кут α між струмами $I_{пр}$ і I знаходиться за виразом

$$\alpha = 180^\circ - \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{ЧE}^2 - U_G^2}{2U_{3E}U_{ЧE}}, \quad (1)$$

де U_G — напруга генератора; $U_{ЧE}$ — напруга на чутливому елементі; U_{3E} — напруга на зразковому елементі.

Струм I знаходиться за виразом

$$I = \frac{U_{3E}}{R_{3E}}, \quad (2)$$

де R_{3E} — опір зразкового елемента.

При цьому уявна складова струму досліджуваного зразка матеріалу, яка пропорційна його вологості і не залежить від нестабільних діелектричних втрат, знаходиться за виразом

$$I_y = I \cdot \sin \alpha = \frac{U_{3E}}{R_{3E}} \cdot \sin \alpha = \frac{U_{3E}}{R_{3E}} \cdot \sin \left(180^\circ - \arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{4E}^2 - U_{\Gamma}^2}{2U_{3E}U_{4E}} \right) =$$

$$= \frac{U_{3E}}{R_{3E}} \cdot \sin \left(\arccos \frac{U_{3E}^2 + U_{4E}^2 - U_{\Gamma}^2}{2U_{3E}U_{4E}} \right). \quad (3)$$

Від нестабільної пористості можна захиститись, застосувавши в якості інформативного параметра коефіцієнт відносного приросту уявної складової ємнісного струму зразка зерна

$$K_2 = \frac{100 \cdot (I_{y1} - I_{y2})}{I_{y1} + I_{y2}}, \quad (4)$$

де I_{y1} — уявна складова ємнісного струму зразка пшениці на частоті ω_1 ; I_{y2} — уявна складова ємнісного струму зразка пшениці на частоті ω_2 .

Вираз (4) може бути використаний для побудови приладу контролю вологості зі значним вмістом вільної вологи.

Висновки

Таким чином, розділення сумарного струму чутливого елемента [5] на активну і реактивну складові, які залежать від вологості, та знаходження за допомогою інформативних параметрів первинного перетворювача реактивної складової (3), незалежної від нестабільних діелектричних втрат [7] а також застосування додаткового інформативного параметра — коефіцієнта відносного приросту уявної складової ємнісного струму зразка зерна, приводить до зменшення абсолютної похибки вимірювання вологості.

Експериментальна перевірка методу та його порівняння з аналогом (діелектрометричним методом повної провідності) дала такі результати ($W = 31,4 \%$):

— діелектричний метод повної провідності — $\Delta W = 3,6 \%$;

— діелектрометричний метод визначення вологості капілярно — пористих матеріалів з великим вмістом вільної вологи — $\Delta W = 0,09 \%$.

Приведена похибка дослідного зразка вологоміра із $W_{\max} = 40 \%$ становить $0,225 \%$, що значно менше, ніж у серійних приладів ЦВ3-3А ($0,5 \%$), ЕВ-3 ($2,5 \%$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зерно. Метод определения влажности : ГОСТ 13586.5-93 [Действителен от 1993–10–21]. — М. : Межгосударственный стандарт, 1993. — 9 с.
2. Петров И. К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности / Игорь Константинович Петров. — М. : Агропромиздат, 1985. — 344 с.
3. А. с. 734548 СССР, МПК G 01 N 27/22. Ёмкостный влагомер / Б. А. Баховец, В. В. Васин, Г. П. Горюнов, В. И. Пастушенко, Я. В. Ткачук ; заявитель патентообладатель Украинск. ин-т водн. хоз. — № 2465253/18-25 ; заявл. 16.03.77 ; опубл. 15.05.80, Бюл. № 18. — 6 с.
4. Секанов Юрий Петрович. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов : моногр. / Ю. П. Секанов. — М. : ВИМ, 2001. — 190 с. — ISBN-5-7010-0283-7.
5. Пат. 75700 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / В. О. Поджаренко, М. О. Куцевол, О. М. Куцевол ; заявник патентовласник Вінницький національний технічний університет. — № 2004032000 ; заявл. 18.03.04 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. — 2 с.
6. 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.
7. Куцевол О. М. Радіочастотні методи вимірювання вологості зерна / Олег Миколайович Куцевол, Володимир Олександрович Поджаренко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2005. — № 3. — С. 5—7.
8. 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.
9. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы / Николай Петрович Богородицкий, Владимир Васильевич Пасынков, Борис Михайлович Тареев. — Л. : Энергия, 1977. — 308 с.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Куцевол Олег Миколайович — канд. техн. наук, e-mail: omkutsevol@mail.ru

O. M. Kutsevol

Control method of capillary and porous materials with high content of free moisture

The advanced method of high-frequency dielectric measurement which is based on concept of an imaginary component of current of the studied material sample which is received by means of informative parameters of the measuring converter which consists of consistently connected model and sensitive elements at two frequencies is offered in the paper.

Keywords: dielectric, measurements, imaginary component, measuring converter, humidity, capillary and porous, material.

Kutsevol Oleg M. — Cand. Sc. (Eng.), e-mail: omkutsevol@mail.ru

O. H. Куцевол

Метод контроля влажности капиллярно-пористых материалов с большим содержанием свободной влаги

Предложен усовершенствованный метод высокочастотного диэлектрического измерения, базирующийся на понятии мнимой составляющей тока исследуемого образца материала, которая находится с помощью информативных параметров измерительного преобразователя, который состоит из последовательно соединенных образцового и чувствительного элементов на двух рабочих частотах.

Ключевые слова: диэлектрический, измерения, мнимая составляющая, измерительный преобразователь, влажность, капиллярно-пористый, материал.

Куцевол Олег Николаевич — канд. техн. наук, e-mail: omkutsevol@mail.ru