

УДК 621.317.39:578.087

## МЕТОД КОНТРОЛЮ ОБ'ЄМНОГО ВМІСТУ ВОЛОГИ В ЗЕРНІ

*Куцевол О. М*

*Куцевол М. О*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Предложен высокочастотный диэлектрический метод измерения, который позволяет находить математическое выражение зависимости влажности материала от информативных параметров измерительного преобразователя*

*The high-frequency dielectric method of measurement which allows to find mathematical expression dependence of humidity a material from informative parameters of the measuring converter is offered*

### **Вступ**

Вміст вологості є одним із показників, які визначають можливість тривалого зберігання зерна без псування і втрат. Розвиток мікроорганізмів, кліщів, комах і інших шкідників, життєдіяльність яких призводить до великих втрат зерна, пов'язано із вмістом вологості в зерні. За даними міжнародних організацій, всі види біологічних втрат зерна в світі при зберіганні складають 6-10% на рік. На одне лише дихання витрачається близько 25 млн. т сухої речовини зерна в рік. Разом із тим, хоча вологість повинна бути досить низька, щоб забезпечити якісне зберігання, надмірне висушування також є небажаним, оскільки надміру сухе зерно більш чутливе до ударів, які викликають тріщини та розломи, а це призводить до окислювальних процесів.

Кількісний вміст, стан і характер взаємодії вологості із тканинами зерна дуже сильно впливають на його технологічні особливості.

При переробленні зерна від його вологості залежить опір подрібненню і, як наслідок, питома витрата енергії та продуктивність борошномельного обладнання.

Схожість насінєвих матеріалів у значній мірі залежить від їх вологості в процесі зберігання.

Значення вологості враховується під час здавання і приймання, оскільки від нього залежить чиста вага зерна. При відхиленні вологості зерна від базисного значення здійснюються надбавки або скидки від фактичної ваги в розмірі 1% за кожен відсоток абсолютного відхилення від базису.

Вода є не тільки складовою частиною зерна, але й активним агентом, що приймає участь у біохімічних процесах, що постійно відбуваються у тканинах зерна. Серед процесів, що обумовлюють життєдіяльність зерна, ферментативна активність має дуже важливе значення, оскільки вона діє під час зберігання зерна навіть при вологості, меншій 10%.

Серед відомих методів визначення вологості зерна найпоширенішим виявився метод термогравіметрії, в основу якого покладено висушування зразка розмеленого зерна в сушильній шафі на протязі 40 хвилин за температури 130<sup>0</sup>С.

Основними недоліками методу термогравіметрії є: висока температура висушування, при якій з часточок зерна окрім вологості видаляються й інші речовини, складність одержання

стандартних розмірів розмелених часточок зерна, значні суб'єктивні похибки операторів при зважуванні вологих і сухих зразків зерна. Ці недоліки призводять до невизначеності при контролі вологості зерна. Не менш важливими є такі недоліки: велика енергозатратність та трудомісткість контролю.

Значно перспективнішими є непрямі електричні методи контролю, серед яких особливе місце займають методи високочастотної діелектрометрії.

Відомий метод вимірювання вологості [1], який полягає у тому, що у послідовному колі із ємнісного давача вологості і зразкового елемента вимірюється фазовий зсув між напругами на зразковому елементі і ємнісному давачі та подальшому визначенні вихідної напруги, пропорційної вологості, реалізований в ємнісному вологомірі. Цей метод має велику похибку, викликану неточністю визначення коефіцієнта пропорційності між значеннями вологості та вихідної напруги.

Значно кращим є метод вимірювання вологості капілярно-пористих матеріалів [2] шляхом вимірювання значення діелектричної проникності матеріалу на двох частотах, наприклад, за допомогою схеми з генератором високої частоти, причому на тих самих частотах додатково вимірюють тангенс кута діелектричних втрат, а вологість матеріалу визначають за різницею значень коефіцієнта діелектричних втрат на частотах  $f_1$  і  $f_2$ , за умови  $f_1 < f_2$ , за виразом:

$$W = B \cdot \Delta K = B(K_1 - K_2) = B(\varepsilon_1 \cdot \operatorname{tg} \delta_1 - \varepsilon_2 \cdot \operatorname{tg} \delta_2),$$

де  $B$  – коефіцієнт пропорційності;

$\Delta K$  – приріст коефіцієнта діелектричних втрат;

$K_1$  – коефіцієнт діелектричних втрат на частоті  $f_1$ ;

$K_2$  – коефіцієнт діелектричних втрат на частоті  $f_2$ ;

$\varepsilon_1$  – відносна діелектрична проникність на частоті  $f_1$ ;

$\varepsilon_2$  – відносна діелектрична проникність на частоті  $f_2$ ;

$\operatorname{tg} \delta_1$  – тангенс кута діелектричних втрат на частоті  $f_1$ ;

$\operatorname{tg} \delta_2$  – тангенс кута діелектричних втрат на частоті  $f_2$ .

Цей метод також має велику похибку, викликану неможливістю точного визначення коефіцієнта пропорційності у аналітичному виразі, що пов'язує вологість із різницею коефіцієнтів діелектричних втрат.

### Результати досліджень

Діелектричні параметри вологої суміші ( $\varepsilon_{\text{в.с.}}$  і  $\operatorname{tg} \delta_{\text{в.с.}}$ ) залежать від об'ємної долі води в ній. Виходячи з цього, можна записати:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\text{в.с.}} &= \frac{V_{\text{м}}}{V_{\text{в.с.}}} \varepsilon_{\text{м}} + \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{в.с.}}} \varepsilon_{\text{в}} \\ \operatorname{tg} \delta_{\text{в.с.}} &= \frac{V_{\text{м}}}{V_{\text{в.с.}}} \operatorname{tg} \delta_{\text{м}} + \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{в.с.}}} \operatorname{tg} \delta_{\text{в}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $V_{\text{м}}$  – об'єм сухого матеріалу;

$V_{\text{в}}$  – об'єм води;

$\operatorname{tg} \delta_{\text{м}}$  – тангенс кута діелектричних втрат сухого матеріалу, який разом із водою утворює вологу суміш (довідникова величина);

$tg\delta_{\theta}$  – тангенс кута діелектричних втрат води (довідникова величина);

$tg\delta_{\theta.c.}$  – тангенс кута діелектричних втрат вологої суміші (вимірювана величина);

$V_{\theta.c.}$  – об'єм вологої суміші (вимірювана величина);

$\varepsilon_M$  – відносна діелектрична проникність сухого матеріалу (довідникова величина);

$\varepsilon_{\theta}$  – відносна діелектрична проникність води (довідникова величина);

$\varepsilon_{\theta.c.}$  – відносна діелектрична проникність вологої суміші (вимірювана величина).

Розв'язуючи систему (1), приходимо до виразу:

$$V_{\theta} = V_{\theta.c.} \frac{tg\delta_M \cdot \varepsilon_{\theta} - tg\delta_{\theta} \cdot \varepsilon_M}{tg\delta_M \cdot \varepsilon_{\theta.c.} - tg\delta_{\theta.c.} \cdot \varepsilon_M}. \quad (2)$$

Вираз (2) може бути використано для градування діелектрометричного вологоміра об'ємного вмісту води в зерні.

Метод вимірювання об'ємного вмісту води реалізується наступним чином.

Спочатку вимірюється діелектрична проникність та тангенс кута діелектричних втрат вологої суміші, потім додатково вимірюється об'єм вологої суміші, а об'ємний вміст води визначається непрямым виміром за виразом (2).

Приклад промислової реалізації запропонованого методу при вимірюванні, наприклад, об'ємного вмісту води в зерні пшениці:

а) довідникові величини:

$$\varepsilon_{\theta} = 81; \quad tg\delta_{\theta} = 0,52; \quad \varepsilon_M = 2,64; \quad tg\delta_M = 1,7007 \cdot 10^{-2};$$

б) виміряні величини:

$$V_{\theta.c.} = 159,46 \text{ см}^3; \quad \varepsilon_{\theta.c.} = 4,86; \quad tg\delta_{\theta.c.} = 1,0015 \cdot 10^{-4}.$$

Об'ємний вміст води в зерні із вологістю 11,308% визначають непрямым методом за виразом (2) (вологість виміряна за арбітражним методом у відповідності із ГОСТ 29144-91)

$$V_{\theta} = V_{\theta.c.} \frac{tg\delta_M \cdot \varepsilon_{\theta} - tg\delta_{\theta} \cdot \varepsilon_M}{tg\delta_M \cdot \varepsilon_{\theta.c.} - tg\delta_{\theta.c.} \cdot \varepsilon_M} = 159,46 \frac{1,7007 \cdot 10^{-2} \cdot 81 - 0,52 \cdot 2,64}{1,7007 \cdot 10^{-2} \cdot 4,86 - 1,0015 \cdot 10^{-4} \cdot 2,64} = 9,226 \text{ см}^3.$$

Порівняльні дані визначення об'ємного вмісту води приведені в табл.1.

Таблиця 1.

Порівняльні дані визначення об'ємного вмісту води

№ п/п	Арбітражний метод (ГОСТ 29143-91 $V_{\theta.c.} = 9,8 \text{ см}^3$ )			Робочий метод (ГОСТ 29143-91 $V_{\theta.c.} = 9,8 \text{ см}^3$ )				Запропонований метод ( $V_{\theta.c.} = 159,46 \text{ см}^3$ )		
	масова воло- гість, %	об'єм- ний вміст води, см <sup>3</sup>	об'ємна воло- гість, %	масова воло- гість, %	об'єм- ний вміст води, см <sup>3</sup>	Об'ємн а воло- гість, %	абсолютна похибка за об'ємною вологістю, % води	об'єм- ний вміст води, см <sup>3</sup>	об'ємна воло- гість, %	абсолютна похибка за об'ємною вологістю, % води
1	11,308	0,565	5,76	10,8	0,54	5,5	0,26	9,226	5,785	-0,025
2	14,074	0,704	7,18	13,6	0,68	6,9	0,28	11,454	7,183	-0,003
3	17,451	0,873	8,91	17,1	0,86	8,8	0,11	14,211	8,912	-0,002

### *Висновок*

Аналізуючи вираз (2), можна зробити висновок, що об'ємний вміст вологи безпосередньо залежить тільки від значень  $\varepsilon_{в.с.}$ ,  $tg\delta_{в.с.}$  і  $V_{в.с.}$ , які вимірюються із високою точністю відомими способами [3,4,5], а  $tg\delta_{м.}$ ,  $\varepsilon_{м.}$ ,  $tg\delta_{г.}$  і  $\varepsilon_{г.}$  – довідникові величини. Отже вимірювання об'ємного вмісту вологи не потребує експериментального визначення коефіцієнта пропорційності, що дає можливість проводити контроль із високою точністю.

### *Література*

1. Петров И. К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – 2-е изд. –М.: Агропромиздат, 1985. – 344 с.
2. 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.
3. Бугров А. В. Высокочастотные ёмкостные преобразователи и приборы контроля качества. –М.: Машиностроение, 1982. – 94 с.
4. Котур В. И. и др. Электрические измерения и электроизмерительные приборы: Учебник для техникумов / В. И. Котур, М. А. Скомская, Н. Н. Храмова. –М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с.
5. Можегов Н. А. Автоматические средства измерений объёма, уровня и пористости материалов. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с.