

Оценка на влаговото съдържание в аграрна продукция, чрез измерване на електричните ѝ характеристики

Красимира Кърджилова

Evaluation moisture content in agricultural production, by measuring its electrical properties:

The paper presents specific methods for measuring of moisture content and analyzing the electrical properties of agricultural production – seeds. Viewed concise theoretical basis for developing the methods and specific apparatus for measuring. Presents experimental results obtained using the described methods.

Key words: *moisture content, electrical properties, electrical and gravimetric methods, equipment.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В аграрните науки изследванията на физичните характеристики на биологичните материали са важни както за съхранението на продукцията, така за обработката и при контрола качеството ѝ. Могат да се открият някои от по-важните физични характеристики като, такива свързани с масата, с водното съдържание на материалите, термофизични, електрични.

Физичните свойства на аграрната продукция оказват влияние върху точността на измерването на влагата. Влаговото съдържание се измерва директно с влагомери и по гравиметричен метод и индиректно, чрез познаване връзката между електрични характеристики на материала и съдържанието на влага.

Измерванията на електричните свойства на биологичните материали стават бързо и лесно, резултатите се използват за определяне на други характеристики на материалите. Най-голямо приложение има при измерване на влагосъдържанието на аграрната продукция (жито, семена и др.) или диелектричните загуби.

Изучаването на електричните свойства е важно за предсказването на поведението на биологичните материали в електрично поле, както и при свързването му в електрична верига.

Електричните свойства на биологичните материали се влияят от различни фактори. Най-важният от тях е съдържанието на вода (влажност) и нейното несиметрично разпределение в материала, температурата, обемната плътност, присъствие на вредители, механични повреди и др. [1].

Особено важни са и диелектричните свойства на материалите. Те се променят при поставянето на материала във високочестотно поле. Тези свойства имат връзка с процентното съдържание на влага в биологичния материал. Малки промени в абсорбираната вода в образеца могат да предизвикат големи изменения в електричните и диелектричните свойства на хигроскопичните материали.

Използването на връзката между електричните характеристики на биологичните материали и промяната на техни други характеристики (водно съдържание, примеси и др.) позволява разработването на качествени и точни измерителни прибори.

Една от положителните характеристики на физични методи за изпитване е факта, че те са много по-гъвкави и по-бързи, отколкото химичните методи. Анализ на свойствата на материалите направен чрез химични методи много случаи е по-точен, но е по - продължителен и проблематичен при прилагане при полевни условия. Голяма част от физичните методи и уредите разработени на тяхна база позволяват мобилното им използване.

Поради тези причини, настоящият обзор в областта на някои методи за изследване на електрични характеристики на аграрна продукция представя предпочитаните динамични спрямо статични методи за измерване, които дават възможност за голям брой измервания, за кратък период от време и с точност достатъчна за повечето нужди в редовната практика.

ИЗЛОЖЕНИЕ

А. Методи за измерване на влажност на аграрна продукция.

Влажността на аграрна продукция се определя от водното съдържание – мокра база. Определя се още като абсолютна влажност ω . Дефинира се с формулата

$$\omega = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1)$$

m_1 – масата на мокрия (влажния) материал; m_2 – масата на сухия материал;

$m_1 - m_2$ – масата на водата.

Абсолютната влажност показва каква част от масата на влажния материал е масата на водата в него.

За измерването на влаговото съдържание на аграрната продукция се използват:

Директни методи чрез:

Влагомер – електронен разработен на базата на индиректните методи, в които се знаят зависимости на електрични характеристики на материала от температурата и влагата. Обикновено са програмирани за измерването на влагата на определени образци – пшеница, ръж, рапица, овес и др. Пример за такъв е PFEUFFER, NON-EXPRESS HE 50. **Гравиметричен метод** – много точен и се използва в стандартизирането, но е продължителен (ако се използват инфрачервени лъчи се съкращава времето с 60 минути). При този метод се използва формулата (1) за определяне на абсолютна влажност на материала.

Измерва се масата m_1 на малка част от влажния материал. После се поставя в сушилня и при около 120 °C се суши 1–2 часа. След това се поставя в ексикатор за около 1 час за постигане на топлинно равновесие. Измерва се масата m_2 на изсушения материал. По формулата се изчислява каква е влажността. За по-голяма точност е добре да се работи с електронна везна за измерване на масата.

Индиректни методи чрез прилагане на:

Метод на проводимостта – използва се връзката между проводимостта и влажността. **Диелектрични методи** – използва се зависимостта между диелектричната проницаемост и влажността. При него с електрични методи се следи поведението на диелектрика (биологичния материал) във времето при промяна на електричното поле. Под влияние на електричното поле диелектрика се поляризира и диелектричната му проницаемост може да се измери, чрез измерване на капацитета при различни честоти на променливия ток.

Изследваният материал се поставя в специален сензор. Обикновено това е вид кондензатор. Ако кондензатора е плосък, то от $C = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ за кондензатор с диелектрик (биологично вещество) и $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ за въздушен кондензатор, то за относителната диелектрична проницаемост на веществото се получава

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

Последната формула (2) дава възможност при измерване на двата капацитета да се намери относителната диелектрична проницаемост на средата – биологичния материал, който е поставен между плочите на плосък кондензатор(сензора).

Б. Методи за измерване на електричните характеристики на биологични материали

Кратка теоретична база

Електричните свойства на живите клетки са пасивни и активни.

От микроскопична гледна точка вътрешността на клетката има йонна проводимост. Клетъчната мембрана има голяма съпротивление $10^8\text{-}10^9 \Omega$ и не е проводяща.

За различни тъкани и биологични материали електричните свойства са различни. При прилагане на променлив ток, биологичните материали имат не само съпротивление R , но и капацитет C , индуктивност L и общо съпротивление – импеданс Z , който е по-голям от R , определен от формулата

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3)$$

Където $\omega = 2\pi f$, а f е честотата на променливия ток.

Има изследвания [1,2], в които са получени какви са зависимостите на R , C и Z от честотата на променливия ток f . Зависимостта е монотонно намаляваща функция от вида

$$R = R_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n}; \quad Z = Z_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n} \quad C = C_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n} \quad (4)$$

В тези формули R_0, Z_0, C_0 са константи, а n е коефициент.

От макроскопична гледна точка в клетъчната мембрана съществуват всякакви канали, през които могат да преминават физиологични йони и аниони, както и частици носители на заряди.

$$\text{Плътността на електричния ток е:} \quad i_d = \sigma E + \frac{d(\varepsilon E)}{dt} \quad (5)$$

Където E е интензитетът на електричното поле, ε е диелектричната проницаемост на материала и $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$. В последната формула ε_r е относителната диелектрична проницаемост на веществото, а $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$ е диелектричната константа.

Направени са изследвания [3], които показват, че $\varepsilon_r = \varepsilon_r(f, t^0)$, както и от влаговото съдържание в материала $\omega\%$. Тази зависимост се предава и на ε . В наше изследване [7] са получени резултати от измерване електрични характеристики на рапицово семе при честоти от 20 kHz до 200 kHz, потвърждаващи зависимости от вида (4), както и е намерена зависимост за $\varepsilon_r = \varepsilon_r(f)$, която има

$$\text{същия вид, както (4), т. е.} \quad \varepsilon_r = \varepsilon_{r0} \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n}.$$

Изследвана е зависимостта на диелектричните свойства на овес за честоти 250 Hz до 12 GHz [6]. Налична е информация на резултати свързани със зависимостта на диелектричните свойства на пшеница и ориз при ниски честоти и за микровълнови честоти [7]. Проведените изследвания [7] при ниски честоти от 435 Hz до 1740 Hz за определяне на диелектричната константа и lossfactor (фактора на загубите) на оризови зърна показват, че $\varepsilon_r = \varepsilon_r(\omega\%, \rho, t^0, f)$. Изследвано е от Лауренс [5] приложението на радио-честотното загряване на биологични материали.

Един от методите за измерване на влага е диелектричния метод, който е в основата на диелектричните влагомери.

Метод на измерване

Измерването на електричните характеристики R, Z, C_x за всеки образец имащ различно съдържание на влага и C_0 могат директно и бързо да се проведат със съвременни уреди. Пример за такъв е LCR meter Good Will 8211, 819, 820, 821. С тези уреди може да се измери директно какви са стойностите на съпротивлението,

капацитета, импеданса и косвено, като се използва формула (2) да се пресметне относителната диелектрична проницаемост на изследвания обект. Апаратът може да измерва R, Z, L, C и Q фактора с точност до 0,05% и коефициента на разсейване D с точност до 0,0005%. Веригата предлага шест изпитателни метода $R/Q, C/D, C/R, L/Q, Z/Q, L/R$. Честотата може да се променя от $f = 1 \text{ kHz}$ до 200 kHz . Скоростта на измерване е 60 ms (за различните модификации на апарата честотния интервал е различен).

Сензор. За сензор може да се използва плосък кондензатор с медни плочи, които са кръгли с диаметър $37,78 \text{ mm}$ и разстоянието между тях е $49,2 \text{ mm}$. (могат да се изработят сензори и с други размери). Околната повърхност е от плексиглас с голямо съпротивление. На горната част на сензора има пружина така, че образеца е при постоянно механично налягане. Това осигурява и минимално съдържание на въздух между семената на образеца.

Тогава за определяне на диелектричната проницаемост може да се използва формулата $\varepsilon_r = \frac{C_x - C_p}{C_0 - C_p}$, където C_x е капацитета на кондензатора, пълен със семената, C_0 е капацитета на празния кондензатор – без семената, C_p е капацитета на въздушните пространства между семената. Ако приемем, че всички образци са под постоянно механично налягане, тогава може да не се отчита C_p .

За всяка една от пригответените проби уредът позволява бързо и точно измерване на определен брой (по желание на експериментатора) пъти R, Z, C_x и C_0 при различни стойности на честотите.

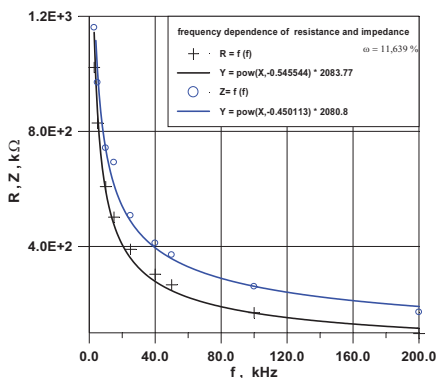
Със специална програма за обработка на резултатите (една такава може да бъде програмата Графер) се построяват графиките $R = f(f)$, $Z = f(f)$ и $C = f(f)$ със средноаритмитичните стойности от измерванията. Пресмята се относителната диелектрична проницаемост по формулата (2), чрез средните стойности за капацитетите за всяка проба при различни честоти и се построява $\varepsilon_r = f(f)$. Програмата позволява да се определят вида на функциите, съответните коефициенти и коефициента на детерминация.

С описаните методи и апарати са получени резултати от измерването на електрични характеристики на рапицово семе реколта 2008 година (фиг.1 и фиг.2). Те са само една малка част от изследванията в областта на физични характеристики на биологични материали, направени от екип - авторът и колеги от катедра „Физика“ на Словашки Агротехнически Университет в Нитра, Словакия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от измерванията и направените проучвания показват, че е необходимо да се познават електричните характеристики и параметри по време на промени на съдържанието на влага, тъй като тя е един от най-важният фактор, който определя качеството на селскостопанските материали.

Изследването на електрическите характеристики на биологични материали, както и резултатите могат да се използват при конструирането на апарати за измерване на съдържанието на влага на базата на електрически и диелектрични свойства на материалите. Познаването на тези зависимости ще позволи да се намери оптимален и точен метод за измерване на съдържанието на влага в селскостопанското производство и позволява подобряването на техническите параметри на влагомерите за директно измерване на влагата, както и тяхното програмиране за нови видове аграрна продукция.



Фиг.1. Зависимост на съпротивлението и импеданса на рапичово семе от честотата

Fit 1: Alternate equation:

$$Y = \text{pow}(X, -0.545544) * 2083.77$$

$$R = R_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} ; R_0 = 2083.77 \text{ k } \Omega$$

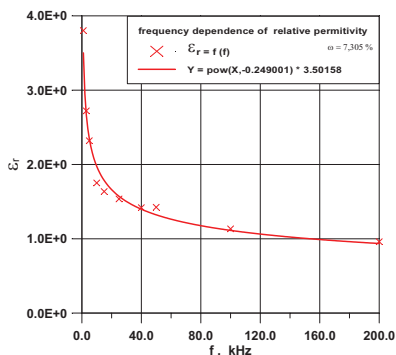
$$n = 0.545544 ; R^2 = 0.985002$$

Fit 10: Alternate equation:

$$Y = \text{pow}(X, -0.450113) * 2080.8$$

$$Z = Z_0 \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} ; Z_0 = 2080.8 \text{ k } \Omega$$

$$n = 0.450113 ; R^2 = 0.987188$$



Фиг.2. Зависимост относителната диелектрична проницаемост на рапичово семе от честотата

Fit 10: Alternate equation:

$$Y = \text{pow}(X, -0.249001) * 3.50158$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{r0} \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} ; \epsilon_{r0} = 3.50158$$

$$n = 0.249001 ; R^2 = 0.976216$$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hlavacova, Z. 1999. Some electrical properties of amaranthus seeds. Zemedelska tehnika, 45,1999(3), p. 99-104.
- [2] Hlavacova, Z. 1994. Physical properties of plant material in view point of accuracy of moisture measuring. Zemedelska tehnika, 40,1994(2), p. 81-86.
- [3] Hlavacova, Z. 2003. Low frequency electrical properties utilization in agricultural and food treatment. RES.AGR.ENG., 49,2003(4). p.125-136. ISSN 1212-9151.
- [4] Kardjilova, K. - Hlavacova, Z. - Ketzner, A. Measurement of electrical characteristics of rapeseed seeds with LCR meter Good Will8211, International Journal of Applied Science and Technology, Vol.2 No.8, ISSN 2162-139X (Print), ISSN 2162-142X (Online), 2012, p.35-44.
- [5] Lawrence, K.C. – Nelson, S. O. – Kraszewski, A. 1992. Temperature dependence of dielectric properties of pecans. Trans.ASAE, vol.35,1992,no.1,p. 251-255.
- [6] Nelson, S.O. 1999. Dielectric properties measurement techniques and applications. Trans.ASAE, vol.42,1992,no.2,p. 523-529.
- [7] You, T.S.- Nelson, S.O. 1988. Microwave dielectric properties of rice kernels. J. Microwave Power and Electromagnetic Energy, vol.23, 1988, no.3, p. 150-159.

За контакти:

гл.ас. д-р Красимира Кърджилова, Катедра „ Физика”, ТУ-Варна , тел.: 052-383 351, e-mail: kardjilova@yahoo.com

Научните изследвания, част от резултатите, които са представени в настоящата публикация, са извършени по проект №16/2013 (Договор № 534 ПФ) в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

Докладът е рецензиран.