

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано математичну модель НВЧ вимірювача вологості зернових культур.

Ключові слова: зерно, зернові продукти, вологість, НВЧ.

Abstract

The paper proposed mathematical model of a microwave moisture meter for grain products.

Keywords: grain, bulk products, humidity, microwave.

У прийомі та технологічній переробці продуктів агропромислового комплексу беруть участь технологічні процеси, такі як сушка, кондиціонування, зволоження, пастеризація та зберігання. Серед параметрів контролю і управління технологічними процесами найважливішим параметром є вологість. Неналежний контроль вологості зернових культур призводить до небажаних наслідків, оскільки надмірна наявність вологи є каталізатором, що активує фізіологічні та фізико-хімічні процеси, такі як проростання, дихання, набухання, активізація ферментів, розщеплення біополімерів [1]. Тому контроль вологості продуктів агропромислового комплексу є найважливішою задачею, рішення якої необхідно для забезпечення їх якості.

На вітчизняному ринку відсутні вимірювачі, які б відповідали необхідним вимогам по ціні, точності, надійності і забезпечували б можливість контролю вологості зерна в режимі реального часу. Насамперед, головною задачею є підвищення точності вимірювання. Усі методи визначення вологості зерна можна розділити на три групи [2]:

- вимірювання зміни маси;
- вимірювання зміни електричних параметрів;
- поглинання різних видів енергії.

Серед усіх перерахованих вище методів найбільш оптимальним є діелектричний. На точність діелектричних вологомірів впливає багато чинників, оскільки ε об'єкта контролю є складною функцією багатьох параметрів [3].

$$\varepsilon = f(W, T, G, H, P, \dots)$$

де W, T, G, H, P – відповідно вологість, температура, гранулометричний склад проби, хімічний склад проби, електрохімічний критерій границі електрод – зерно. Оскільки відносна діелектрична проникність води дорівнює 81, а для більшості сухих речовин (у тому числі й зерна) вона лежить у межах від 2 до 10, то навіть незначна зміна вологості продукту викликає зміну діелектричної проникності.

На рис. 1 показана узагальнена модель випромінювання вологості зернових культур

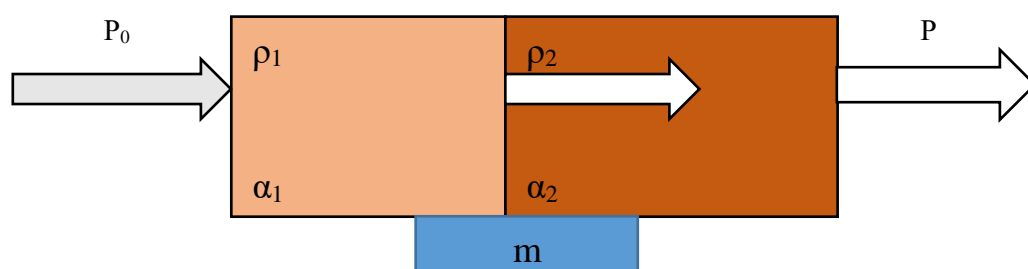


Рисунок 1 – Модель випромінювання вологості зернових культур

В роботі запропонована математична модель НВЧ вимірювального перетворення вологості зернових культур, суть якого полягає у поглинанні НВЧ сигналу, тобто у вимірюванні потужності

даного сигналу на виході хвилеводу при зміні вологості зерна шляхом використання біжучої хвилі [3].

Потужність випромінювання P затухає в результаті проходження біжучої хвилі по хвилеводу за законом:

$$P = P_0 \cdot e^{-\alpha \cdot l}, \quad (1.1)$$

де P_0 – вхідна потужність, що поширюється по хвилеводу;

l – довжина проходження НВЧ сигналу в досліджуваному середовищі;

α – загальний коефіцієнт поглинання, що дорівнює

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (1.2)$$

де α_1 – коефіцієнт поглинання для водяної пари;

α_2 – коефіцієнт поглинання для сухої речовини.

Коефіцієнт поглинання для водяної пари згідно визначається [3]:

$$\alpha_1 = \frac{2\pi l}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\varepsilon_B'^2 + \varepsilon_B''^2} - \varepsilon_B' \right)}, \quad (1.3)$$

$$\alpha_2 = \frac{2\pi l}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\sqrt{\varepsilon_C'^2 + \varepsilon_C''^2} - \varepsilon_C' \right)}, \quad (1.4)$$

де ε' – дійсна складова, ε'' – уявна складова, l – шлях, що проходить електромагнітна хвиля, λ – довжина хвилі.

Отже

$$m = m_1 + m_2, \quad (1.5)$$

де m_1 – маса вологої речовини, де m_2 – маса сухої речовини.

Густина вологості та густина сухої частини речовини при відповідному об'ємі кювети визначається, відповідно:

$$\rho_{\text{абс.в.}} = \frac{m_1}{V}, \quad (1.6)$$

$$\rho_{\text{абс.с.}} = \frac{m_2}{V}, \quad (1.7)$$

Густина сухої частини проби, виходячи з (1.5)-(1.7) визначається

$$\rho_{\text{абс.с.}} = m - \rho_{\text{абс.в.}} \quad (1.8)$$

Діелектрична проникність пропорційна густині водяної пари:

$$\frac{\rho_{\text{в.}}}{\rho_{\text{абс.в.}}} = \frac{\varepsilon_{\text{в.}}}{\varepsilon_{\text{абс.в.}}}, \quad (1.9)$$

де $\rho_{\text{в.}}$ – густина води;

$\rho_{\text{абс.в.}}$ – абсолютна вологість водяної пари;

$\varepsilon_{\text{в.}}$, $\varepsilon_{\text{абс.в.}}$ – діелектрична проникність води та абсолютна діелектрична проникність водяної пари.

Відповідно діелектрична проникність пропорційна густині сухої речовини [4]:

$$\frac{\rho_{\text{с.}}}{\rho_{\text{абс.с.}}} = \frac{\varepsilon_{\text{с.}}}{\varepsilon_{\text{абс.с.}}}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{\text{с.}}$ – густина сухої речовини;

$\rho_{\text{абс.с.}}$ – абсолютна вологість сухої речовини;

$\varepsilon_{\text{с.}}$, $\varepsilon_{\text{абс.с.}}$ – діелектрична проникність сухої речовини та абсолютна діелектрична проникність сухої речовини.

Значення коефіцієнтів поглинання (1.3), (1.4) та (1.8) може бути перераховано із урахуванням температурного коефіцієнту [5], де $T_0=273^\circ\text{K}$ – температура при нормальних умовах:

$$k = \frac{T}{T_0}, \quad (1.11)$$

за формулою

$$\alpha_1 = \frac{2\pi l}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{\rho_{\text{абс.в.}}}{\rho_{\text{в}}} \cdot (\sqrt{\varepsilon_{\text{в}}'^2 + \varepsilon_{\text{в}}''^2} - \varepsilon_{\text{в}}')}, \quad (1.12)$$

$$\alpha_2 = \frac{2\pi l}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot k \cdot \frac{m - \rho_{\text{абс.в.}}}{\rho_{\text{с}}} \cdot (\sqrt{\varepsilon_{\text{с}}'^2 + \varepsilon_{\text{с}}''^2} - \varepsilon_{\text{с}}')}, \quad (1.13)$$

Визначимо значення зміни потужності вихідної до вхідної потужності від абсолютної вологості з урахуванням (1.1), (1.8), (1.12) і (1.13), отримаємо:

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{2\pi l}{\lambda} \sqrt{\frac{1}{2} k \frac{\rho_{\text{абс.в.}}}{\rho_{\text{в}}} (\sqrt{\varepsilon_{\text{в}}'^2 + \varepsilon_{\text{в}}''^2} - \varepsilon_{\text{в}}')} + \sqrt{\frac{1}{2} k \frac{m - \rho_{\text{абс.в.}}}{\rho_{\text{с}}} (\sqrt{\varepsilon_{\text{с}}'^2 + \varepsilon_{\text{с}}''^2} - \varepsilon_{\text{с}}')}}} \quad (1.14)$$

Висновки

В роботі запропоновано математична модель вимірювання вологості сипучих продуктів, яка однозначно пов'язує потужність вихідного сигналу з вологістю сипучого продукту. Така модель дає змогу розробити портативний вимірювач вологості, який не вимагає попереднього висушування досліджуваного продукту та проводити вимірювання в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О. В. Заболотний, Розвиток теорії дієлкометричної вологометрії та алгоритмічних методів підвищення точності вимірювання вмісту вологи речовин [Електронний ресурс], автореферат, НТУ Харків. політехн. ін-т, с. 4, 2019.
2. Ю. В. Крушевський, Я. О. Бородай, Вплив масообміну води на точність вимірювання вологості зерна, Вісник ВНТУ, 2007.
2. Г. М. Йордан, Методи та обладнання для визначення вологості, що використовуються в засобах автоматизації процесів висушування, Квалілогія книги Збірник наукових праць, №2 (18), с. 67-77, 2010.
- В. В. Пеклер, Г. М. Мамонтов, Состояние и перспективы развития гигрометров и средств их метрологического обеспечения, Датчики и системы, Недр, №1, с. 33-38, 2006.
3. Ю. Готра, В. Вуйцік, О. З. Готра Мікроелектронні сенсори фізичних величин : науково-навчальне видання, Том 2, Львів: Ліга, Прес, с. 595, 2003
4. Л. А. Міхєєнко, І. І. Синявський, Аналіз оптичних систем малогабаритних віддзеркалювальних вологомірів, Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 4, с. 27—31, 2000.
5. M. Kunze, J. Merz, W.-J. Hummel, H. Glosch, S. Messner, and R. Zengerle, A micro dew point sensor with a thermal detection principle, Measurement science and technology, vol. 23, pp. 1-10. 2012. doi:10.1088/0957-0233/23/1/014004.

Йосип Йосипович Білинський – доктор техн.наук, проф. кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Марина Олегівна Скалецька – аспірант кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: maryna.skaletska@gmail.com

Bilynsky Yosyp — Doctor of Technical Sciences, Prof. Department of Physics, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Maryna Skaletska – postgraduate the Department of Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maryna.skaletska@gmail.com