

**МЕТОД КОНТРОЛЮ ВМІСТУ ЗВ'ЯЗАНОЇ ВОЛОГИ
В КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛАХ**

Особливістю капілярно-пористих матеріалів є наявність в них як вільної, так і зв'язаної вологи. Наявність вільної вологи в зерні як характерному представнику капілярно-пористих матеріалів шкідливо впливає на його зберігання, оскільки вільна волога сприяє протіканню в зерні складних біологічних та хімічних процесів, завдяки яким виділяється тепло і в результаті чого зерно втрачає свої споживчі властивості.

В статті описано досить простий метод контролю вмісту зв'язаної вологи в капілярно-пористих матеріалах, який базується на вимірюванні коефіцієнта діелектричних втрат на двох частотах для різних температур.

Ключові слова: волога, контроль, пористий, втрати, діелектричний, зерно.

O.M. KUTSEVOL
Vinnytsia, Ukraine

**CONTROL METHOD OF THE CONTENT OF THE CONNECTED MOISTURE
IN CAPILLAR-POROUS MATERIALS**

Feature of capillary and porous materials is availability in them of both free, and connected moisture. Availability of free moisture in grain as to the characteristic representative of capillary and porous materials harmfully influences his storage as free moisture renders assistance to course in grain of difficult biological and chemical processes thanks to which heat is allocated and therefore grain loses the consumer properties.

In article quite simple control method of contents of the connected moisture in capillary and porous materials which is based on measurement of coefficient of dielectric losses at two frequencies for different temperatures is described.

Keywords: moisture, control, porous, losses, dielectric, grain.

Постановка задачі

Одним із важливих параметрів більшості технологічних процесів, за яким визначають якість готової продукції, є вологість. Дослідження, спрямовані на удосконалення та розроблення нових методів контролю вологості та приладів на їх основі, проводяться у всьому світі. Широкий спектр досліджень у галузі контролю вологості викликаний практичними потребами народного господарства в експресних та високоточних методах та засобах вологометрії, що забезпечують високу достовірність вимірювальної інформації.

Одним із перспективних напрямів даних досліджень є високочастотна діелектрометрія, яка дозволяє відносно простими засобами здійснювати експресний контроль вологості із високою достовірністю. Застосування методу високочастотної діелектрометрії ускладнюється при контролі вологості капілярно-пористих матеріалів, характерними представниками яких є зерно пшениці та інших злакових культур.

Зерно пшениці та інших злакових культур є складною капілярно-пористою системою із значним вмістом живої білкової речовини. В таких системах волога знаходиться як у вільному, так і у зв'язаному стані.

Вільна і зв'язана волога сильно відрізняється своїми діелектричними параметрами. Відносна діелектрична проникність вільної вологи приблизно дорівнює 81, тоді як у зв'язаної вологи вона не перевищує 2...3.

Вільна волога сильно впливає на умови зберігання зерна, інтенсифікує протікання біохімічних процесів, завдяки яким підвищується температура, що в свою чергу призводить до ще більшої інтенсивності біохімічних реакцій. При цьому якість зерна погіршується, а в деяких випадках відбувається "самозаймання" зерна.

Найкращою умовою зберігання капілярно-пористих матеріалів, зокрема зерна та зернопродуктів, є наявність в них тільки зв'язаної вологи, тому одним із особливо важливих завдань є пошук методів, що дозволили б визначати вміст в капілярно-пористих матеріалах саме зв'язаної вологи. Основною метою проведеного дослідження є розроблення діелектрометричного методу контролю вмісту зв'язаної вологи в капілярно-пористих матеріалах, до яких відноситься зерно пшениці та інші злакові культури.

Аналіз досліджень та публікацій

Значний об'єм науково-дослідних робіт, спрямованих на розвиток теорії електричних методів вологометрії, узагальнено в працях Кричевського Є. С. [1], Секанова Ю. П. [2], Берлінера М. А. [3] та ін. Проте, їхні роботи спрямовані на розроблення та удосконалення методів та засобів контролю повної вологості в досліджуваних матеріалах.

Формулювання цілей

Основною метою проведеного дослідження є розроблення діелектрометричного методу контролю вмісту зв'язаної вологи в капілярно-пористих матеріалах, до яких відноситься зерно пшениці та інші злакові культури.

Результати досліджень

Капілярно-пористі матеріали характеризуються значним вмістом зв'язаної вологи $W_{зв} = 5...15\%$, яка за своїми діелектричними властивостями відрізняється від вільної вологи. Діелектрична проникність вільної вологи $\varepsilon_{в} = 80...81$, тоді як зв'язана волога має $\varepsilon_{зв} = 2...3$, що незначно відрізняється від

діелектричної проникності сухого залишку [4]. Така велика кількість зв'язаної води в капілярно-пористих матеріалах пояснюється наявністю в них значної площі внутрішньої поверхні шпарин, на якій утримується зв'язана вода у твердому стані.

Дослідження характеристик капілярно-пористих матеріалів [5] показали, що є можливість визначати як повну вологість матеріалів, так і кількість в них зв'язаної води. В основу метода покладена залежність коефіцієнта діелектричних втрат k від вологості W (рис. 1). Коефіцієнт діелектричних втрат вимірюється на двох радіочастотах f_1 та f_2 . При цьому вологості W_1 відповідатиме $\Delta k_1 = k_{1f1} - k_{1f2}$. Із дією на матеріал теплового поля вологість буде зменшуватись, зменшуватиметься також Δk . В момент часу, коли $\Delta k = 0$, вільна вода повністю випарувалась, значення $k_{f1} = k_{f2}$ відповідатиме кількості

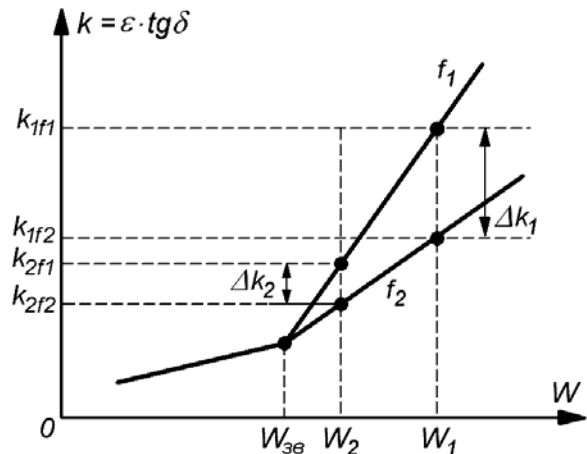


Рис. 1. Залежність коефіцієнта діелектричних втрат матеріалу від вологості

зв'язаної води в досліджуваному капілярно-пористому матеріалі і може бути використаним в якості ефективного інформативного параметра при її контролі.

Рівняння прямої, що проходить через дві точки (рис. 2)

$$y_1 - y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} (x_1 - x)$$

шляхом нескладних перетворень отримує вигляд

$$y = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \cdot x + \frac{y_2 \cdot x_1 - y_1 \cdot x_2}{x_1 - x_2} = k \cdot x + b.$$

Рівняння прямої в загальній формі $Ax + Bx + C = 0$ також легко перетворюється до вигляду (2):

$$y = -\frac{A}{B}x - \frac{C}{B}.$$

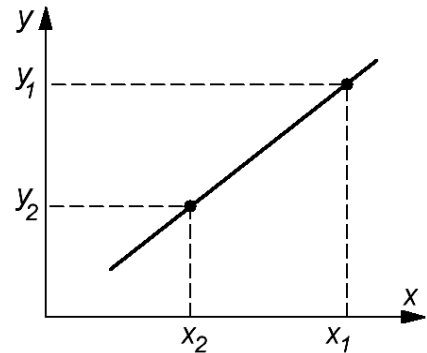


Рис. 2. Визначення рівняння прямої

З виразів (2) і (3) очевидно, що

$$B = x_1 - x_2; A = y_1 - y_2; C = y_2 \cdot x_1 - y_1 \cdot x_2. \tag{4}$$

Графіку $k(f_1)$ (рис. 3) відповідає загальне рівняння:

$$A_1 \cdot W + B_1 \cdot k + C_1 = 0, \tag{5}$$

а графіку $k(f_2)$ – рівняння:

$$A_2 \cdot W + B_2 \cdot k + C_2 = 0. \tag{6}$$

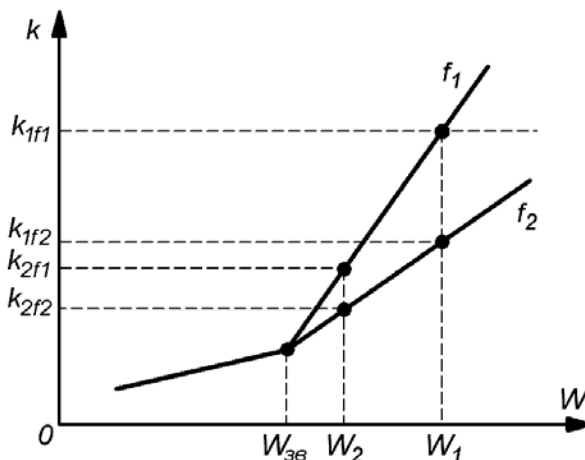


Рис. 3. Залежність коефіцієнта діелектричних втрат від вологості для різних частот

Враховуючи вирази (4), (5) і (6) запишемо рівняння (5) і (6) в координатах вологості і коефіцієнта діелектричних втрат, об'єднуючи їх в систему:

$$\begin{cases} (k_{1f1} - k_{2f1}) \cdot W + (W_1 - W_2) \cdot k + (k_{2f1} \cdot W_1 - k_{1f1} \cdot W_2) = 0, \\ (k_{1f2} - k_{2f2}) \cdot W + (W_1 - W_2) \cdot k + (k_{2f2} \cdot W_1 - k_{1f2} \cdot W_2) = 0. \end{cases} \tag{7}$$

Визначаємо абсцису точки перетину цих графіків, яка є значенням зв'язаної вологості в матеріалі:

$$W_{36} = \frac{(k_2 f_2 \cdot W_1 - k_1 f_2 \cdot W_2) - (k_2 f_1 \cdot W_1 - k_1 f_1 \cdot W_2)}{(k_1 f_1 - k_2 f_1) - (k_1 f_2 - k_2 f_2)} \quad (8)$$

Враховуючи, що в системі (7) $B_1 = B_2$, спростуємо вираз (8):

$$W_{36} = \frac{W_1 \cdot (k_2 f_2 - k_2 f_1) + W_2 \cdot (k_1 f_1 - k_1 f_2)}{(k_1 f_1 - k_2 f_1) - (k_1 f_2 - k_2 f_2)} \quad (9)$$

Отриманий вираз (9) є математичною моделлю, яка кількісно пов'язує зв'язану вологість з коефіцієнтом діелектричних втрат матеріалу.

Процес знаходження значення зв'язаної вологості передбачає визначення дійсної діелектричної проникності

$$\varepsilon_M = \frac{C_M}{C_0},$$

та тангенса кута діелектричних втрат

$$\text{tg } \delta = \sqrt{\frac{C_6}{C_0} - 1},$$

де C_6 – досліджувана ємність матеріалу;

C – сумарна ємність, яка складається з дійсної ємності C_M і початкової ємності чутливого елемента C_0 .

За допомогою цих інформативних параметрів знаходиться коефіцієнт діелектричних втрат на частотах f_1 і f_2 при початковій температурі, визначається приріст коефіцієнта діелектричних втрат та повний вміст вологі в матеріалі. Під дією теплового поля підсушується досліджуваний зразок, а контрольні операції повторюються до того часу, поки ΔK не стане дорівнювати нулю. Значення вологості в цей момент відповідатиме вмісту зв'язаної вологі в матеріалі.

Враховуючи це, послідовність контрольних та допоміжних операцій буде наступною (рис. 4).

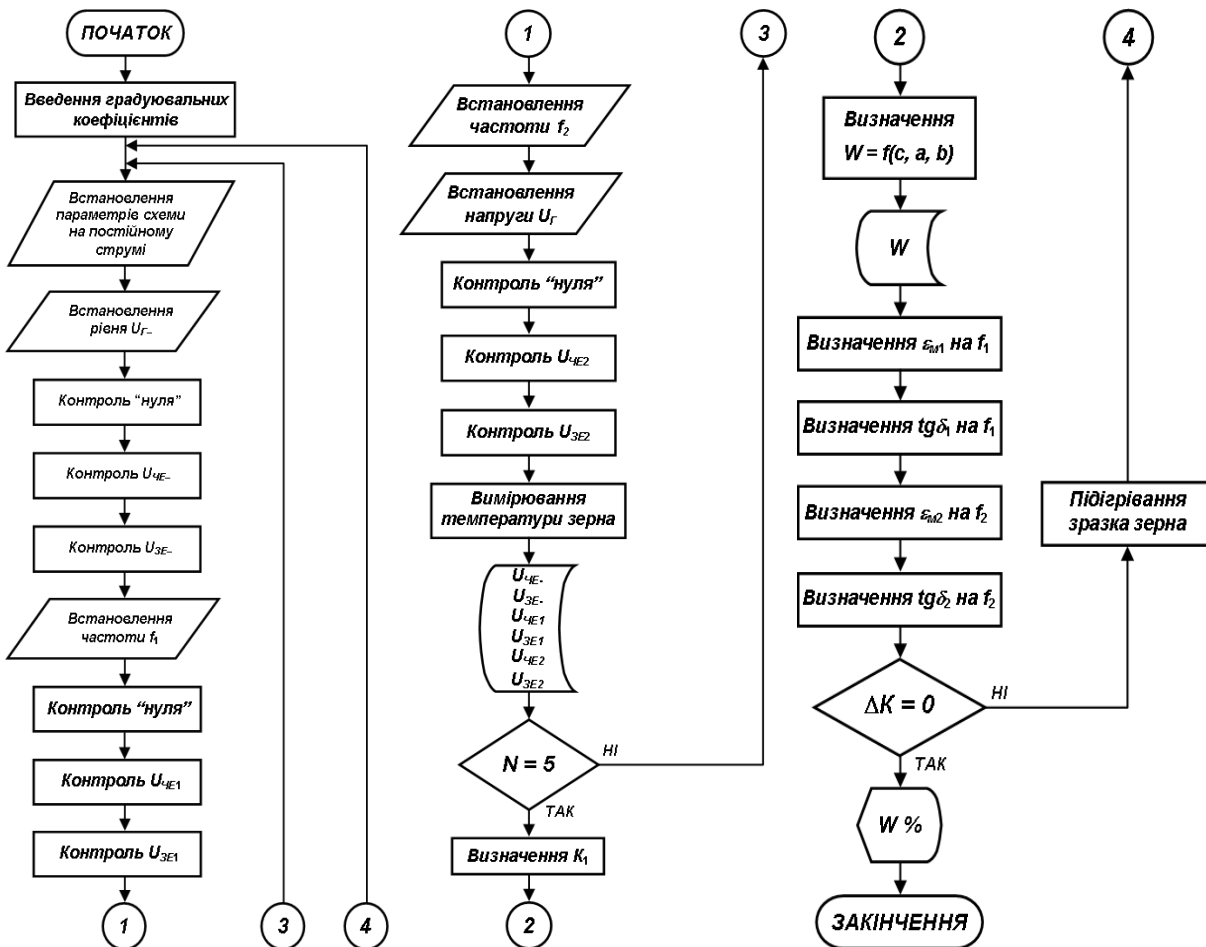


Рис. 4. Алгоритм контролю вмісту зв'язаної вологі

Реалізація розробленого алгоритму (рис. 4) передбачає наявність двох генераторів гармонічних

коливань з вихідними сигналами f_1 і f_2 , оскільки в основу побудови засобу контролю вологості покладений двочастотний метод визначення вологості, генератор напруги постійного струму $\Gamma 3$ та термостат $ТС$. Головним елементом засобу контролю вологості є первинний перетворювач, в якому інформація про вологість перетворюється в пропорційний електричний сигнал. Аналогові гармонічні сигнали $U_{\Gamma 1}$ і $U_{\Gamma 2}$ з частотами f_1 і f_2 відповідно за допомогою комутатора $K1$ мають по черзі подаватись на первинний перетворювач $ПП$, що утворений послідовно з'єднаними зразковим та чутливим елементом ємнісного типу, в якому знаходиться досліджуваний зразок зерна. Інформативні параметри: напруга генератора U_{Γ} , напруга зразкового елемента U_{3E} та напруга чутливого елемента $U_{\text{ЧЕ}}$ через буферні каскади $БК$ потрапляють на мікроконтролер.

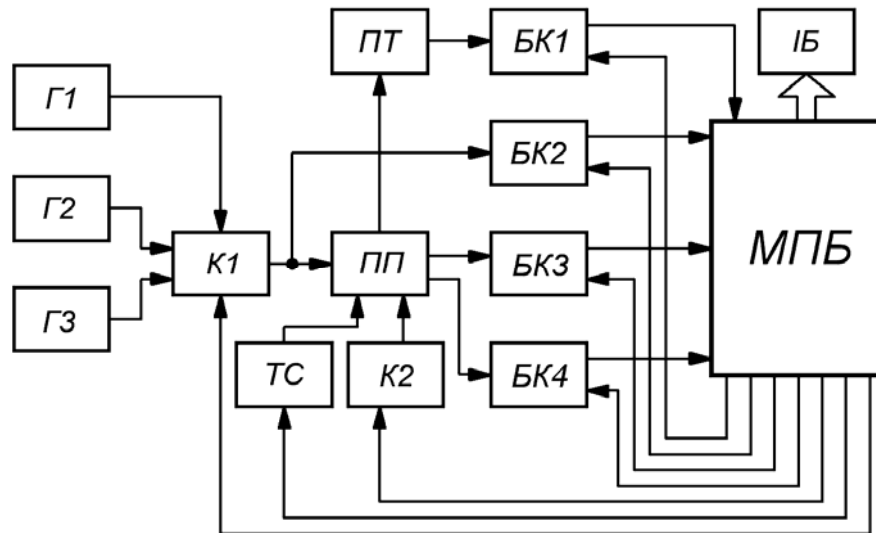


Рис.5. Структурна схема засобу контролю зв'язаної вологості

Для усунення похибки засобу контролю за рахунок зміни температури навколишнього середовища до його структурної схеми додається перетворювач температури $ПТ$, інформація з якого у вигляді рівня напруги потрапляє на мікроконтролер.

Для виконання операції встановлення “нуля” в $ПП$ передбачене коло імітації порожнього чутливого елемента, яке вмикається комутатором $К2$.

Висновки

Отримані теоретичні обґрунтування, математична модель, блок-схема алгоритму та структура можуть бути покладені в основу побудови вологоміра зв'язаної вологи. Результати проведеного дослідження також можуть бути використані в науково-дослідних установах аграрної та суміжних галузей.

Література

1. Кричевский Е. С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых / Е. С. Кричевский. – М. : Недра, 1972. – 215 с.
2. Секанов Ю. П. Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов : монография / Ю. П. Секанов. – М. : ВИМ, 2001. – 190 с. – ISBN-5-7010-0283-7.
3. Берлинер М.А. Измерения влажности / М. А. Берлинер. – М. : Энергия, 1973. – 400 с.
4. Федоткин И. М. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности / И. М. Федоткин, В. П. Клочков. – К. : Техніка, 1974. – 320 с.
5. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.

References

1. Krichevskiy E. S. Vvisokochastotnyiy kontrol vlazhnosti pri obogaschenii poleznyih iskopaemyih. Moscow, Nedra, 1972. – 215 c.
2. Sekanov Y. P. Vlagometriya syipuchih i voloknistyih rastitelnyih materialov : monografiya. Moscow, VIM, 2001. – 190 c.
3. Berliner M. A. Izmereniya vlazhnosti. Moscow, Energiya, 1973. – 400 c.
4. Fiziko-tehnicheskie osnovyi vlagometrii v pischevoy promyishlennosti / I. M. Fedotkin, V. P. Klochkov. Kyiv, Tehnika, 1974. – 320 c.
5. Lyikov A.V. Teoriya sushki. Moscow, Energiya, 1968. – 472 c.

Рецензія/Peer review : 26.1.2015 р.

Надрукована/Printed :26.1.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Паламарчук І. П.