

техн. наук: 05.11.05 / Львовский политехнический институт. – Львов, 1991. 5 Лагун А.Е. Автоматизированный структурный синтез число-импульсных функциональных преобразователей: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.05 / НУ “Львівська політехніка”.- Львів, 2001. 6. А.с. 1108441 СССР, МКИ G 06 F 7/556. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3509873/18-24; Заявл. 01.11.82; Опубл. 15.08.84. Бюл. № 30. 7. А.с. 1012269 СССР, МКИ G 06 F 17/31. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3313681/18-24; Заявл. 06.07.81; Опубл. 15.04.83. Бюл. № 14. 8. А.с. 1012269 СССР, МКИ G 06 F 17/31. Цифровой функциональный преобразователь / В.Б.Дудыкевич, В.И.Отенко, З.М.Стрилецкий (СССР).- № 3313681/18-24; Заявл. 06.07.81; Опубл. 15.04.83. Бюл. № 14.

УДК 621.317

Р.М. Івах, М.М. Дорожовець

Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЗАМІЩЕННЯ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

© Івах Р.М., Дорожовець М.М., 2004

Описано актуальність вимірювання вологості сипких матеріалів, проблеми, які виникають під час вимірювання. Запропоновано використовувати метод заміщення для зменшення впливу неінформативних параметрів під час вимірювання вологості зерна.

The urgency of measurement of humidity of bulk materials, problem is described, which one arise at measurement. The writers recommend for reduction (decreasing) influencing of not informative parameters during measurement of humidity of a grain to use a substitution method.

Вступ. Вологість притаманна практично усім твердим та сипким матеріалам та речовинам, і часто вона визначає їх технічні, хімічні та інші якісні характеристики. Вимірювання вологості сипких матеріалів, зокрема зерна, та проектування експрес-вологомірів є актуальною задачею для України, оскільки стратегічним напрямком аграрного комплексу є виробництво зерна та продуктів його переробки. Залежно від вологонасиченості повітря в сховищі зерно здатне поглинати воду або віддавати її у довкілля. Якщо відносна вологість і температура повітря залишаються сталими, то між зерном і повітрям настає стан гігроскопічної рівноваги, встановлюється рівноважна вологість.

Точний контроль вмісту вологи в зерні сприяє зниженню витрат, пов'язаних із сушінням і зберіганням. Можливість точного визначення вологості зерна в потрібний момент, а особливо під час збирання врожаю – є чинником, що відокремлює прибуток від збитків. Експрес-вологоміри застосовують під час приймання зерна від хлібоздавальників, при взаємних розрахунках, для контролю під час зберігання та переробки зерна. Можливість визначення вологості не тільки зернових і зернобобових культур, але і продуктів їхньої переробки (борошно, крупа тощо), дає змогу значно розширити діапазон застосування вологомірів.

Методи визначення вологості сипких матеріалів можна поділити на прямі, які ґрунтуються на розділенні досліджуваного матеріалу на вологу частину та на сухий залишок, та непрямі, коли вологість досліджуваного матеріалу визначають за результатами вимірювання інших фізичних величин, які функціонально з нею пов'язані [1].

Оскільки прямі методи визначення вологості є тривалими, то їх застосування для експрес-аналізу є проблематичним. Найперспективнішим з непрямих методів вимірювання вологості

сипких матеріалів є ємнісний (дієлькометричний) метод вимірювання, оскільки його реалізація дає змогу забезпечити високу швидкодію та точність вимірювального перетворення вихідного сигналу перетворювача, автоматизувати вимірювання та обробку інформації. Дієлькометричними називають вимірювання, основані на зміні діелектричної проникності діелектрика, який розміщено між обкладками конденсатора.

Постановка задачі (проблематика). Як відомо [2, 3], на діелектричні властивості зерна при вимірюванні його вологості впливає багато чинників, таких, як температура, гранулометричний склад (форма, розміри тощо), структура зерен, хімічний склад тощо.

Хімічний склад зерна істотно залежить від регіону та кліматичних умов його вирощування, від мінеральних добрив (органічних та неорганічних), які додають в ґрунт для отримання кращого врожаю. Всі ці чинники впливають на значення вимірюваної вологості сипкого матеріалу. Врахувати всіх названі чинники, розробляючи вторинні засоби вимірювання складно, а інколи і неможливо. З цього можна зробити такий висновок: для кожного поля необхідний вологомір з індивідуальним градуванням. Отож, постає проблема градування вологомірів. Ця проблема є актуальною ще й тому, що немає еталонів вологості зерна. Всі вологоміри градують експериментально або ж як еталон використовують імітатори вологості на основі епоксидних смол, вважаючи, що за складом та діелектричними властивостями вони подібні до зерна. Хоча насправді це далеко не так.

Відомо [4], що найвищої точності вимірювання фізичної величини можна досягти, застосовуючи методи (безпосереднього) порівняння з мірою. Отже, порівняння можна здійснити різними способами: безпосередньо різницевою чи нульовим методом, методом заміщення чи логометричним методом.

Для різницевого методу результат вимірювання визначають так:

$$X_p = X_m + X_n, \quad (1)$$

де X_m – значення вихідної величини міри, X_n – показ (різницевий) використовуваного вимірювального приладу, а точність вимірювання визначається точністю міри та вимірювальним приладом.

Для нульового методу необхідно мати регульовану міру і тоді $X_n = 0$, тобто $X_p = X_m$. Тут, крім точності міри, важливою є точність компенсатора.

У методі заміщення також використовується регульована міра і результат вимірювання визначається:

$$X_p = X_m. \quad (2)$$

Як і в попередньому випадку, важливою є чутливість вимірювального приладу.

Для логометричного методу результат вимірювання визначають із співвідношення

$$\frac{X_p}{X_m} = X_n, \text{ тобто } X_p = X_n \cdot X_m. \quad (3)$$

У такому разі міра може бути нерегульованою, а точність вимірювання визначається точністю міри та приладу. Його доцільно використовувати, якщо домінують мультиплікативні похибки.

Можна застосовувати також комбінований метод, наприклад, неповного заміщення [5] з нерегульованою мірою.

Як бачимо, у всіх випадках похибка результату вимірювання Δ_r передовсім визначається похибкою вихідної величини міри Δ_m , обмеженням чутливості пристроїв порівняння (компенсаторів) Δ_k , зокрема і похибкою квантування, а при застосуванні різницевого методу ще й похибкою вимірювання різницевого сигналу, а при застосуванні логометричного методу – похибкою вимірювання сигналу відношення.

Крім зазначених, обов'язковою складовою є методична похибка від неадекватності моделі вимірювального об'єкта $\Delta_{\text{мод}}$.

Враховуючи вищезгадані складові похибки, похибку результату вимірювання можна записати так:

$$\Delta_p = \Delta_m + \Delta_k + \Delta_{\text{мод}} \quad (4)$$

Остання складова значною мірою, як вже було відзначено, зумовлена невідповідністю внутрішньої структури (у широкому розумінні) досліджуваного зерна сипкого матеріалу та використовуваної міри. В такому разі постає питання: як неадекватність внутрішньої структури міри впливає на значення безпосередньо вимірюваного параметра (тут – ємності), а точніше, діелектричної проникності, зразка із досліджуваним зерном.

Очевидно: якщо як міру використовувати субстанцію іншої фізичної природи (наприклад, гранули епоксидної смоли), ніж фізична природа досліджуваного об'єкта (зерна), то таке розходження (невідповідність) може бути значним.

Якщо ж як міру використовувати аналогічну об'єктові фізичну субстанцію, то слід очікувати значно менші розходження між структурою та фізичними процесами, які відбуваються в обох середовищах.

Полегшити вирішення цієї проблеми можна так. Оскільки створення регульованої міри вологості зерна є проблематичним, то можна було б рекомендувати комбінований метод вимірювання, оскільки під час вимірювань істотними є одночасно як адитивні, так і мультиплікативні похибки. Тому доцільно застосовувати метод неповного заміщення як певний компроміс між застосуванням нерегульованої міри і можливість часткового коригування одночасно адитивної та мультиплікативної похибок.

Суть методу.

За наявності досліджуваного середовища ємність діелькометричного первинного перетворювача вологості визначається так

$$C_x = k_{\text{п}} \cdot \omega_x + C_{\text{нх}}, \quad (5)$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт перетворення давача, який характеризується мультиплікативною похибкою δ_k ;

ω_x – вологість, яку вимірюємо;

$C_{\text{нх}}$ – адитивна складова, яка враховує вплив різних неінформативних параметрів досліджуваного об'єкта.

Вираз (5) можна записати так:

$$C_x = k_{\text{п}} \left(\omega_x + \frac{C_{\text{нх}}}{k_{\text{п}}} \right) = k_{\text{п}} (\omega_x + \omega_{\text{нх}}), \quad (6)$$

де $\omega_{\text{нх}}$ – еквівалентна вологість, що зумовлена впливом неінформативних параметрів. Загалом вона невідома і може змінюватися у різних зразках досліджуваного середовища.

Досліджуємо лише методичні аспекти вимірювання (без урахування інструментальних похибок засобів вимірювання).

Отже, показ засобу вимірювання (вимірювача ємності) описується виразом (6). Як міру у такому разі доцільно використати пробу зерна, яка взята з конкретного поля, дійсне значення вологості міри $\omega_{\text{мд}}$ якої визначено класичним, проте досить точним методом сушіння (термогравіметричним) з похибкою δ_m . Похибка міри має дві складові: перша, зумовлена властивостями зразкових засобів вимірювання, а друга – враховує розкид значень між зразками. Очевидно, що домінує друга складова. Така проба зерна з відомим значення вологості герметизується в спеціальній посудині і її маркують, вказуючи значення вологості та поле, з якого ця проба взята. Аналогічно заготовляємо кілька таких однозначних нерегульованих мір з різних полів.

Для коригування методичних похибок у другому вимірюванні під'єднуємо міру (пробу зерна з відомою вологістю) і отримуємо показ міри $C_{\text{пм}}$

$$C_{\text{пм}} = k_{\text{п}} (\omega_{\text{мд}} + \omega_{\text{нм}}), \quad (7)$$

де $\omega_{\text{мд}}$ – дійсне значення вологості міри;

$\omega_{\text{нм}}$ – неінформативна складова проби зерна, яку використовуємо як міру.

Оскільки вимірювана та зразкова (міра) проби зерна однотипні, то для їх неінформативних складових можна записати

$$\begin{aligned}\omega_{\text{HX}} &= \omega_{\text{H}} + \Delta\omega_{\text{HX}} \\ \omega_{\text{HM}} &= \omega_{\text{H}} + \Delta\omega_{\text{HM}},\end{aligned}\quad (8)$$

де ω_{H} – стала (однакова) неінформативна складова досліджуваної проби і міри;

$\Delta\omega_{\text{HX}}, \Delta\omega_{\text{HM}}$ – змінні для різних зразків неінформативні складові.

З (6) і (7) з урахуванням (8) можна записати

$$\begin{cases} \omega_{\text{X}} = \frac{C_{\text{ПХ}}}{k_{\text{П}}} - \omega_{\text{H}} - \Delta\omega_{\text{HX}} \\ \omega_{\text{МД}} = \frac{C_{\text{ПМ}}}{k_{\text{П}}} - \omega_{\text{H}} - \Delta\omega_{\text{HM}} \end{cases}\quad (9)$$

де $C_{\text{ПХ}}$ – значення невідомої ємності досліджуваного зразка

З (9) отримаємо рівняння вимірювання вологості запропонованим методом

$$\omega_{\text{X}} = \omega_{\text{МД}} + \frac{C_{\text{ПХ}} - C_{\text{ПМ}}}{k_{\text{П}}} - (\Delta\omega_{\text{HX}} - \Delta\omega_{\text{HM}})$$

Аналіз рівняння вимірювання

Орієнтовно оцінимо ефективність запропонованого методу. Нехай неінформативна складова вологості ω_{H} становить частину α від вимірюваної ω_{X} , тобто $\omega_{\text{H}} = \pm \alpha \cdot \omega_{\text{X}}$, а розкид значень неінформативних складових $\pm \omega_{\text{H}}$ становить β від ω_{H} , тобто $\Delta\omega_{\text{H}} = \pm \beta \cdot \omega_{\text{H}} = \alpha \cdot \beta \cdot \omega_{\text{X}}$. Тоді граничне значення відносної похибки оцінювання вологості запропонованим методом таке

$$\delta_{\text{M}} = \frac{\Delta\omega_{\text{H}}}{\omega_{\text{X}}} = \pm \alpha \beta$$

Припустимо, наприклад, що $\alpha = \pm 5\%$ та $\beta = \pm 5\%$, тоді $\delta_{\text{M}} = \frac{5\% \cdot 5\%}{100\%} = \pm 0,25\%$.

Нехай $\alpha = \pm 2\%$ та $\beta = \pm 2\%$, тоді $\delta_{\text{M}} = \frac{2\% \cdot 2\%}{100\%} = \pm 0,04\%$.

Отже, як ми бачимо, запропонований метод забезпечує істотне підвищення точності вимірювання вологості.

Переваги і висновки

Використання міри тієї самої фізичної природи, що і досліджуваний об'єкт, забезпечує такі самі значення неінформативних параметрів, внаслідок чого радикально підвищується точність вимірювання вологості зерна.

Завдяки тому, що досліджуваний та зразковий об'єкти під'єднуються до однієї і тієї самої частини вимірювального кола вологоміра, точнісні можливості вимірювання значно підвищуються. Похибка вимірювання визначається похибкою міри, тобто похибкою вимірювання вологості при термогравіметричному методі.

1. Івах Р., Дорожовець М., Питель І. Систематизація методів вимірювання вологості сипких матеріалів // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003. – Вип. 62. С. 97–101. 2. Кричевский Е.С., Волченко А.Г., Галушкин С.С. Контроль влажности твердых и сыпучих материалов. М., 1987. 3. Берлинер М.А. Измерения влажности. М., 1973. 4. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). 5-е изд., перераб. и доп. – К., 1986. 5. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин // Под ред. Е.С. Полищука. – К., 1984.