

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПУЧИХ ПРОДУКТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведений аналіз та запропонована класифікація методів вимірювання вологості сипучих продуктів та виявлено найактуальніші варіанти для наступних досліджень. Досліджені методи й засоби контролю вологості зерна. Проведений аналіз і обрані значущі параметри, що впливають на вологість зерна. Результати аналізу дозволяють обрати найбільш придатний метод, що забезпечує високі метрологічні характеристики підвищення точності вимірювань та створення високоточної і надійної системи вимірювання вологості зерна.

Ключові слова: зерно, вимірювання, вологість, контроль вологості, методи вимірювання.

Abstract

The paper analyzes and proposes a classification of methods for measuring the humidity of bulk products and identified the most relevant options for further research. Methods and means of grain moisture control are investigated. The analysis is carried out and the significant parameters influencing grain moisture are selected. The results of the analysis allow you to choose the most suitable method that provides high metrological characteristics to improve the accuracy of measurements and create a high-precision and reliable system for measuring grain moisture.

Keywords: grain, measurement, humidity, humidity control, measurement methods.

Сучасні технологічні прийоми виробництва сільськогосподарських продуктів в значній мірі пов'язані з вмістом вологи. Надлишок або відсутність в матеріалі вологи відбивається на його фізико-хімічних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостях, а також на якісних показниках [1, 2]. Швидко і точно визначення вмісту води в тому чи іншому матеріалі, як в процесі виробництва, так і в період експлуатації є найважливішим завданням.

Для визначення вологості сипучих матеріалів розроблені різні методи, які поділяються на дві групи - прямі і непрямі. До прямих відносяться методи, в яких відбувається поділ матеріалу на суху речовину і воду. До непрямих відносяться методи, в яких вимірюються величини або властивості, функціонально пов'язаних з вологістю матеріалів. Прямі методи визначення вологості за принципом дії можна розбити на ряд груп [3]. Теплофізичні методи засновані на випаровуванні води з навішування аналізованого матеріалу. По різниці між масою матеріалу до висушування і залишеною масою сухої речовини обчислюють масу води, що випарувалася. Для висушування використовують різні прилади, що відрізняються як по конструкції, так і за формою передачі тепла матеріалу. Дистиляційні методи засновані на спільній відгонці з аналізованої речовини води і органічного розчинника, що не змішується з водою [4]. Хімічні методи - засновані на хімічній взаємодії води з деякими реактивами (металевим натрієм, реактивом Фішера). Вміст води в аналізованій пробі визначають по еквівалентній кількості речовини, що утворилась в результаті реакції.

З непрямих методів практичне застосування в харчовій промисловості отримали електрометричні методи, в яких вимірюються електропровідність і діелектрична проникність. У ході механічних вимірюють характеристики, що залежать від кількості вологи у матеріалі. Наприклад, визначають опір пшеничного зерна роздавлюванню [5, 6]. Або усадку матеріалу під тиском поршня, опір деформації або вдавлення конуса та інші. Механічні технології відрізняються простотою виконання та низькою точністю результатів, тому великого поширення вони не набули.

Набагато ширше використовуються фізичні методи. У ході їх проведення, вологість матеріалу перетворюється на іншу величину, зручнішу для вимірювання. Всі вони відносяться до двох категорій:

електричні та неелектричні. У першому випадку вимірюються електричні параметри зразка, що залежать від кількісного вмісту вологи. У другому – інші характеристики.

Серед неелектричних технологій найбільш популярними є способи, основою яких є застосування або вивчення:

- теплофізичні характеристики речовини,
- акустичні властивості матеріалу,
- нейтронів та гамма-променів (радіометричні методи),
- рентгенівського випромінювання,
- магнітний ядерний резонанс,
- інфрачервоного випромінювання та видимого світла (спектральні способи) [7].

У групі електричних методів найпопулярнішими є кондуктометричний та діелькометричний (ємнісний). Крім них, є й інші, засновані на вивченні інших характеристик вологовмісних речовин – електростатичного заряду, ЕРС гальванічної пари тощо. Але їхня поширеність вкрай низька.

При визначенні вологості кондуктометричним методом вимірюється електричний опір досліджуваної речовини, яке залежить від вмісту в ньому води. Пробу матеріалу 1 розташовують між електродами 2 перетворювача. Амперметр 3 показує силу, що проходить через зразок струму. Резистор R_0 потрібний для того, щоб точно виставити апарат на нульову позначку. Перші прилади, що працюють за цим способом, визначали вологість сипких речовин у діапазоні від 2 до 20%. Вище було проблематично, оскільки зі зростанням вологості знижується чутливість. Нижче – також, через складність виміру значних опорів.

При діелькометричному методі ємнісний вологомір служить для вимірювання у великому діапазоні частот діелектричних властивостей матеріалу. При цьому робота на надвисоких частотах має деякі суттєві відмінності, через що її іноді розглядають як окремий спосіб.

Метод електропровідності або кондуктометричний метод заснований на залежності електричного опору зерна від ступеня його вологості: чим вище вологість, тим менше питомий опір матеріалу, і тим вище його, електропровідність. Метод діелектричної проникності або ємнісний метод заснований на значному розходженні величин діелектричної проникності води ($\epsilon = 81$) і сухих речовин (для сухого зерна, наприклад, ϵ коливається в межах 3-5), отже, зі збільшенням вологості матеріалу збільшується його діелектрична проникність. Метод вимірювання вологості за допомогою ядерного магнітного резонансу (ЯМР) заснований на поглинанні сильним постійним магнітним полем енергії слабшого змінного радіочастотного поля, обумовленим магнетизмом ядер аналізованої речовини. При цьому вміст водню в зразку визначається за інтенсивністю та конфігурацією кривої вихідного сигналу. Метод, з використанням надвисоких частот (НВЧ) заснований на поглинанні енергії водою, що знаходиться в зразку, вміщеному в простір між стінкою генератора НВЧ – випромінювань та приймачем [8]. Найважливішими достоїнствами вологомірів НВЧ є: можливість безконтактних вимірювань (у вільному просторі), висока чутливість, малий вплив на результати вимірювань хімічного складу матеріалу. Існуючі НВЧ-методи діляться на: методи вільного простору - досліджуваний матеріал поміщається між двома антенами; резонаторні методи - досліджуваний матеріал поміщається в резонатор; хвилеводні методи - досліджуваний матеріал поміщається в відрізок хвилеводної лінії; зондові методи - зонд занурюють в досліджуваний матеріал.

Зростаючі вимоги до якості і конкурентоспроможності вітчизняної сільськогосподарської продукції висувають нові запити до приладів і пристроїв експресного контролю вологості в більшості технологічних процесів. У сучасних технологічних процесах потрібні універсальні прилади, що контролюють вологість широкого кола сільськогосподарських матеріалів. Цілком очевидно, що широке впровадження необхідних засобів та приладів контролю вологості в народне господарство і їх правильна експлуатація дадуть відчутний техніко-економічний ефект.

Попередньо можна зробити висновок, що визначення та контроль вологості зерна являє собою одну з найважливіших технічних проблем, пов'язану з визначенням одного з параметрів багатокomпонентної, багатофазної гетерогенної системи, якими і є зерновий потік.

Майже всі вологоміри даного типу мають ідентичні конструктивні рішення, аналогічні вузли і принципи роботи, але жоден з них не задовольняє вимоги підприємств харчової зернопереробної галузі промисловості, тому що універсальної конструкції для різних матеріалів не розроблено. Крім того, товщина шару матеріалу для різних приладів коливається від 1 до 19 см. Що є занадто маленьким діапазоном вимірювання. Для рідин і плівок зручні вологоміри, що працюють на просвіт, для сипучих

і капілярно-пористих матеріалів зручніше застосування вологомірів з принципом відбиття. Все це обмежує дію ГЧ вологомірів і відкриває перспективу пошуку способів вимірювання вологості при дії інших видів випромінювань, для яких неоднорідність матеріалу не є настільки критична, але вони мають здатність виборчого впливу на складові цього матеріалу [8, 9].

Таблиця 1. Класифікація засобів вимірювання вологості

Засіб вимірювання	Діапазон вимірювання, %	Точність вимірювання, %	Збіжність, %	Похибка вимірювання, %	Температура оточуючого середовища, °C
Фермер	5-38	0,25	0,05...0,20	0,5-1,2	+10...+35
Farm Pro	5-50	0,3	0,1	0,02-0,2	-10...+30
Дніпро-3К	6-40	0,3	0,15	1-2,5	+10...+30
Мікрорадар-101	0-20	0,2	0,1...0,2	0,05-0,5	+10...+35
Коп'є	2-40	0,2	0,1	1-3	-40...+120
LMA 310SA	0,5-60	0,25	0,15	0,01-0,1	-20...+65
Super Pro	5-50	0,3	0,1	0,02-0,25	-10...+60
HE Lite	5-30	0,2	0,05...0,20	0,2-0,4	-10...+40
Wile 55	8-35	0,35	0,1...0,25	0,3-0,6	-20...+50

Серед засобів вимірювань вологості потоку поширені вологоміри, засновані на залежності електричних параметрів матеріалів, розміщених в електричному полі, від змісту в них води. У фізиці діелектриків основні процеси, що виникають в матеріалі при дії електричного поля, пов'язують з поляризацією молекул речовини. Існує кілька видів поляризації: електронна, іонна і інші. Про явища, обумовлених поляризацією, судять за значеннями діелектричної проникності, величиною кута діелектричних втрат, питомої електричної провідності [10].

До числа дієлькометричних відносяться вологоміри, електричними моделями яких виступають смісні датчики вологості, включені в коло змінного струму конденсаторні датчики з досліджуванним матеріалом. Індуктивні датчики являють собою котушку індуктивності, в електромагнітному полі якої знаходиться досліджуваний матеріал.

Датчики і інші елементи вимірювальних приладів, що застосовуються в дієлькометричних методах, мають менші довжини хвиль і їх можна розглядати як системи з зосередженими параметрами.

Різноманіття параметрів дозволяє вибрати оптимальний параметр контролю для конкретної задачі, і забезпечити ефективне технічне рішення.

Принцип дії непрямих методів полягає в реєстрації зміни електричного сигналу, що проходить крізь досліджуваний матеріал. Вони більш продуктивні ніж прямі методи, характерні меншим часом проведення аналізу, що дозволяє проведення досліджень за допомогою систем автоматичного контролю.

Метод дослідження за допомогою інфрачервоного випромінювання характеризується високою точністю вимірювань, та безперервним неруйнівним контролем. Але недоліками цього методу є товщина досліджуваного шару матеріалу від 1 до 19 см, що значно скорочує діапазон вимірювань та потребує підготовки спеціальної проби матеріалу.

Використання електромагнітного поля високих та надвисоких частот для визначення вологості зерна значно зменшує енергозатрати; скорочує час дослідження; дозволяє повністю автоматизувати весь технологічний процес; можна виготовити високо мобільне обладнання [11].

З розглянутих вище методів бачимо, що проблема визначення вологості матеріалів має вирішення. Незважаючи на недоліки НВЧ методу вимірювання він є значно ефективнішим ніж інші. Тому подальша розробка і удосконалення НВЧ сушарок матиме позитивний вплив на зберігання і подальше використання не тільки зернових продуктів а й інших сипучих матеріалів а також для створення високоточної і надійної системи вимірювання вологості зерна, здатної працювати в складних експлуатаційних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Приборы и системы управления. Влагомеры СВЧ / [Берлинер М.А.] - М.: Энергия, 1973.- 400 с.
2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навчальний посібник / [С. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк]. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
3. Вплив вологості на властивості матеріалів / [Вишневецький Е.П., Чепурин Г.В.]. - Журнал С.О.К., № 3-4/2010.
4. ГОСТ 13586.3-83 – Зерно. Правила приемки и методы отбора проб.
5. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва / [Скалецька Л.Ф.] – К.: Вища школа, 1994. – 25 с.
6. A formal functional representation methodology for conceptual design of material-flow processing devices [Y. Chen, M. Zhao, Y. Liu, Y. Xie] - AI EDAM, 2016, Volume 30, Issue 4, pp. 353-366.
7. Moisture Content Measurements in Solids-Limitations and Improvements with Modern Technology Third workshop on «Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances». / [Jachowicz R.S.] - Athens, USA, 1999. P. 32-41.
8. Determination of Moisture Content in Wheat Using an Artificial Neural Network Third workshop on «Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances». / [Bartly P. G., Nelson S. O., McClendon R. W., Trabelsi S.] - Athens, USA, 1999. P. 74-78.
9. Artificial Intelligence for Instruments and Measurement Applications / [Alippi C., Ferrero A., Pinri V.] - IEEE Instr.& Meas. Magazine. Vol. 47, N. 1. 1998.
10. Физика диэлектриков. Теория электрической поляризации в постоянном и переменном электрическом поле / [Губкин Л.Н.] - М., 1971.
11. The Control of Moisture of Rocks by Methods of Microwave Aquametry. 4th International Conference on «Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances» / [Renhart I.] - Weimar, 2001. P. 372-379.

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

Білінський Йосип Йосипович – доктор технічних наук, професор кафедри фізики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Maryna Skaletska - post-graduate student at the Department of Physics, Vinnitsa National Technical University, e-mail: maryna.skaletska@gmail.com

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