

## КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ 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 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.*

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

### *Abstract*

*The paper analyzes and proposes a classification of methods for measuring the moisture content of bulk products and identifies the most relevant options for further research. Methods 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 to choose the most suitable method that provides high metrological characteristics to increase the accuracy of measurements.*

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

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

Методи вимірювання вологості прийнято ділити на прямі і непрямі. У прямих методах відбувається безпосередній поділ матеріалу на суху речовину і вологу. У непрямих методах вимірюється величина, функціонально пов'язана з вологістю матеріалу. Непрямі методи вимагають попереднього калібрування з метою встановлення залежності між вологістю матеріалу і вимірюваною величиною. Найбільш поширеним методом є метод висушування (термогідралічний), що полягає в повітряно-тепловому сушінні зразка матеріалу до досягнення рівноваги з навколишнім середовищем. На практиці застосовується висушування до постійної ваги; найчастіше застосовують так звані прискорені методи сушіння. У термогідралічному методі сушіння закінчують, якщо два послідовних зважування досліджуваного зразка однакові або дуже близькі за результатом. Так як швидкість сушіння поступово зменшується, передбачається, що при цьому видаляється майже вся вода, що міститься в зразку. Тривалість визначення цим методом - від кількох годин до доби і більше. У прискорених методах, сушіння ведеться протягом певного, значно більш короткого проміжку часу при підвищеній температурі (наприклад, стандартний метод визначення вологості зерна сушінням розмеленого навішування при +130<sup>0</sup> С протягом 40 хвилин).

Визначенню вологості твердих матеріалів висушуванням притаманні такі методичні похибки: - при висушуванні органічних матеріалів поряд з втратами гігроскопічної води відбувається втрата летючих; одночасно при сушінні в повітрі має місце поглинання кисню внаслідок окислення речовини, а іноді і термічний розклад проби;

- припинення сушки відповідає не повному видаленню води, а рівновазі між тиском водяної пари в матеріалі і тиском водяної пари в повітрі;
- видалення зв'язаної води в колоїдних матеріалах неможливо без руйнування колоїдальних частки і не досягається при висушуванні;
- в деяких речовинах в ході сушіння утворюється водонепроникна кірка, що перешкоджає подальшому видаленню води.

Деякі із зазначених похибок можна зменшити сушінням у вакуумі при низькій температурі або в потоці інертного газу. Однак для вакуумної сушки потрібна більш громіздка і складна апаратура, ніж для повітряно-теплової. При найбільш поширеному методі сушіння (в сушильних шафах) є похибки, які залежать від апаратури і техніки висушування. Так, наприклад, результати визначення вологості залежать від тривалості сушіння, від температури і атмосферного тиску, при яких протікала сушка. Температура має особливо велике значення при використанні прискорених методів, коли зниження температури сильно впливає на кількість вилученої вологи. На результати висушування впливають також форма і розміри сушильної шафи, розподіл температури в сушильній шафі, швидкість руху повітря в ньому, можливість видалення пилу або дрібних частинок зразка. Для матеріалів, що піддаються подрібненню, велике значення має спад вологи в зразку в процесі подрібнення. Це зменшення особливо велике, якщо при подрібненні має місце нагрів зразка. В результаті висушування є суто емпіричний метод, яким визначається не справжня величина вологості, а умовна величина, більш-менш близька до неї. Значно більш точні результати дає вакуумне сушіння, яке виконується зазвичай в камері при тиску 25 мм рт. ст. і нижче до постійної ваги.

У дистиляційних методах зразок підігрівається в посудині з певною кількістю рідини, що не змішується з водою. Випари води разом з парами рідини піддаються відгонці і, проходячи через холодильник, конденсуються в вимірювальній посудині, в якій вимірюється обсяг або маса води.

Екстракційні методи засновані на витягненні вологи з досліджуваного зразка водовбирною рідиною і визначенні характеристик рідкого екстракту, що залежать від його вмісту вологи - щільності, показника заломлення, температури кипіння або замерзання.

Основою хімічних методів є обробка зразка реагентом, що вступає в хімічну реакцію тільки з вологою, що міститься в зразку. Кількість води в зразку визначається за кількістю рідкого або газоподібного продукту реакції. Так для зерна можна використовувати титрування за методом К.Фішера.

У непрямих методах оцінка вологості проводиться за зміною різних властивостей зразка.

Механічні методи засновані на вимірюванні механічних характеристик твердих матеріалів, що змінюються з вологістю.

Методи, засновані на вимірі неелектричних властивостей матеріалів:

- радіометричні методи;
- методу ядерного магнітного резонансу;
- оптичні методи;
- теплофізичні методи.

Радіометричні методи базуються в основному на сучасних способах дослідження складу, структури і властивостей речовини, що використовують взаємодію різних видів електромагнітних коливань і ядерних випромінювань з досліджуваною речовиною. У радіометричних (ядерно-фізичних) методах використовуються різні види ядерних випромінювань (гамма-промені, бета-частинки, швидкі нейтрони) і взаємодій (поглинання і розсіяння гамма-і бета-випромінювання, пружне розсіяння швидких нейтронів). В основі гамма-методів лежить ослаблення інтенсивності гамма-випромінювання твердою фазою і вологістю зерна в результаті розсіювання і поглинання атомами речовини.

В основі методу ядерного магнітного резонансу (ЯМР) лежить резонансне поглинання радіочастотної енергії ядрами атомів водню (протонами) води при приміщенні вологого матеріалу в постійне магнітне поле. Явище ЯМР пов'язано з квантовими переходами між зеемановськими енергетичними рівнями атомних ядер, що виникають в результаті взаємодії ядерного магнітного моменту з зовнішнім магнітним полем.

Оптичні методи засновані на залежності оптичних властивостей матеріалів від їх вмісту вологи. Для твердих матеріалів використовується інфрачервона і видима області спектра.

Теплофізичні методи засновані на залежності від вологості матеріалу його теплофізичних властивостей - коефіцієнта теплопровідності, питомої теплоємності і коефіцієнта температуропровідності.

Електричні методи вимірювання вологості - основою яких є залежність від вологості параметрів, що характеризують поведінку вологих матеріалів в електричних полях.

Кондуктометричні методи засновані на вимірюванні електричної провідності матеріалу на постійному струмі і змінному струмі промислової або звукової частоти. Вологомісткі матеріали, будучи в сухому вигляді діелектриками, в результаті зволоження стають напівпровідниками. Питомий опір змінюється, в залежності від вологості в надзвичайно широкому діапазоні, що охоплює 12-18

порядків. Неоднорідність діелектрика, наявність в ньому вологи позначаються не тільки на величині питомої провідності, але і на якісній особливості електропровідності: на її залежності від напруженості електричного поля та температури. Електропровідність твердого матеріалу визначається електролітами, розчиненими у воді; ці електроліти містяться головним чином в самому матеріалі. При цьому характер залежності питомої електропровідності матеріалу від вмісту вологи визначається розподілом вологи в ньому, що залежить в свою чергу від пористої структури матеріалу і характеру розподілу.

У дієлкометричному методі найчастіше використовується середньхвильовий і короткохвильовий діапазони частот або надвисокі частоти. Поведінка діелектрика в синусоїдальному електромагнітному полі характеризується величинами комплексної діелектричної та магнітної проникності.

При вимірюванні вологості використовуються наступні пари величин:

- матеріальна і уявна складові комплексної діелектричної проникності;
- діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат;
- діелектрична проникність і питома провідність.

НВЧ методи вимірювання вологості, класифікують на:

- методи, засновані на вимірі характеристик поля стоячих хвиль;
- методи, засновані на вимірі характеристик поля хвиль, що пройшли через вологий матеріал (оптичні методи).

До першої групи методів належать:

- 1) метод, заснований на вимірюванні поля стоячої хвилі в зразку досліджуваного діелектрика. Грунтується на обчисленні діелектричної проникності вологого матеріалу, яка є функцією вмісту вологи, за результатами вимірювання величини фазової частини постійного поширення. Практично вимірювання зводяться до визначення довжин хвиль в системі без діелектрика та з діелектриком.
- 2) метод, заснований на вивченні поля стоячих хвиль, що виникають при відбитті електромагнітної енергії від зразка досліджуваного матеріалу. Суть методу полягає у визначенні постійної поширення в зразку вимірюваного матеріалу, шляхом вивчення розподілу стоячої хвилі на ділянці лінії, що не заповнена діелектриком;
- 3) метод, заснований на використанні хвиль, відбитих від поверхні вимірюваного зразка. У цьому випадку для визначення діелектричної проникності використовують параметри хвилі, що виникла в результаті взаємодії падаючої і відбитої хвилі;
- 4) резонансний метод заснований на вимірюванні параметрів резонатора при внесенні до нього досліджуваного матеріалу. Вимірюючи частоти резонатора, визначають діелектричну проникність, а вимірюючи її добротність, визначають коефіцієнт втрат.

Друга група методів заснована на дослідженні характеристик електромагнітної хвилі, що пройшла через зразок випробуваного матеріалу, шляхом порівняння з характеристиками хвилі, що розповсюджується іншим шляхом, або хвилі, що розповсюджується по тому ж шляху, але при відсутності матеріалу. Вимірювання зводяться до визначення комплексного коефіцієнта передачі ділянки направляючої системи, заповненої досліджуваною речовиною. Такою системою може бути як хвилевід, частково або повністю заповнений матеріалом, так і область вільного простору, в якій поширюються електромагнітні коливання НВЧ.

Оптичні методи набули найбільшого поширення, оскільки їх характерною особливістю є безконтактність вимірювань, можливість інтегральної оцінки вологості в великих обсягах (велика інформаційна ємність методу). Останнє є важливою перевагою, так як в реальних виробничих умовах завжди спостерігається нерівномірний розподіл вологи в обсязі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлинер М.А. Приборы и системы управления. Влагомеры СВЧ / Берлинер М.А. - М.: Энергия, 1973. - 400 с.
2. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навчальний посібник / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
3. Викторов В.А., Лукин Б.В. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов. / В.А. Викторов, Б.В. Лукин - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 150с.

4. Кричевский Е.С., Волченко А.Г. Контроль влажности твёрдых и сыпучих материалов. / Е.С. Кричевский, А.Г. Волченко. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 200 с.
5. Фрадкин А.З., Рыжков Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. / А.З. Фрадкин, Е.В. Рыжков. - М.: Связь - 972 с.
6. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев - М.: Колос, 1997. - 1201 с.
7. Вишневський Е.П., Чепурин Г.В. Вплив вологості на властивості матеріалів / Е.П.Вишневський, Г.В. Чепурин. - Журнал С.О.К., № 3-4, 2010.
8. Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. ГОСТ 13586.3-83 — [Чинний від 1984-01-07].

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

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

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

*Yosyp Bilynsky - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of ENS, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia; Email: yosyp.bilynsky@gmail.com*