

## **ЗАЛЕЖНІСТЬ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ ВІД ВОЛОГОСТІ**

*Сидорук Ю. К., доц.; Рибачук І. Г.; Васьковець В. М.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Виробництво різних харчових продуктів в сільському господарстві завершується після збору врожаю його очищенням та сушінням. Проблема сушіння є актуальною для північних регіонів країни, де кожного року доводиться сушити зернові і насіння пізньостиглих культур таких як кукурудза, соняшник, а інколи сушити доводиться і ранньостиглі культури, особливо тоді, коли у сезон збирання врожаю випадає велика кількість опадів.

У зв'язку з розвитком технологій, зріс інтерес до сушіння зерна, яке є основною технологічною операцією доведення його до стійкого стану для зберігання, проте це є один із найбільш трудомістких процесів у виробництві зерна. Саме через це перед виробником постає задача в організації поточної обробки зернових, що значно підвищить продуктивність роботи. Адже тільки після того, як із урожаю зерна буде видалена вся надлишкова волога і зерно доведено до сухого стану (його вологість повинна бути нижчою за критичну), можна вести мову про надійність його зберігання протягом тривалого часу.

Вміст вологи в продуктах значною мірою впливає на різні його характеристики, зокрема, на діелектричні властивості, і, як наслідок, на взаємодію з електричними полями високої частоти і надвисокої частоти. Тому дуже важливо знати залежності цих властивостей від вологості, що необхідно для проектування приладів, завданням яких є сушіння продуктів.

Енергія, яку продукт поглинає від електромагнітного поля, залежить від його діелектричних властивостей. Поглинуту енергію обчислюють за формулою [1]:

$$P = \sigma E^2 = 5,63 \cdot 10^{-12} f \varepsilon'' E^2$$

де  $P$  — потужність що розсіюється в одиниці об'єму, Вт/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  — електрична провідність, См/м;  $E$  — напруженість електричного поля в матеріалі, В/м;  $f$  — частота, Гц;  $\varepsilon$  — фактор діелектричних втрат [1].

Різні продукти можуть містити як вільні електрони так і зв'язані. Свіжі овочі та фрукти містять в собі багато вологи, це говорить про те, що в них багато вільних електронів, в той же час, в зерні вологість значно менша, а отже кількість вільних електронів менша.

Так як вологий матеріал являє собою складний діелектрик, що складається з часток сухої речовини та води, то в елементарному об'ємі такого діелектрика, на межі розподілу води й сухої речовини накопичуються заряди. Крім явної внутрішньої шарової поляризації в елементі води й елементі

сухої речовини подібне накопичення зарядів викликає появу структурної поляризації. Воду відносять до сильно полярних речовин. Її наявність змінює властивості матеріалу і впливає на сумарну поляризацію. Цей вплив проявляється у функціональному зв'язку між параметрами діелектричної проникності  $\epsilon$  і тангенса кута діелектричних втрат  $\text{tg}\Delta$  матеріалу та вологи. Цей зв'язок яскраво проявляється на надвисоких частотах в діапазоні сантиметрових хвиль, де діелектрична проникність води проходить через область аномальної дисперсії, коли діелектричні втрати мають максимальне значення і є набагато більшими, ніж у значної частини сухих матеріалів. У діапазоні частот 1–30 ГГц тангенс кута діелектричних втрат для води становить 0,15–1,2, а діелектрична проникність — 40–80. Для більшості сухих матеріалів тангенс кута діелектричних втрат дорівнює 0,001–0,05, а діелектрична проникність дорівнює 1–5.

При дослідженні двох зразків озимої пшениці з різним вмістом вологи — 11,2% та 25,0% в діапазоні частот від 10 МГц до 1,8 ГГц, виявилось, що їх діелектричні властивості дуже схожі, що проявляється в тому, що зі зміною частоти вони мають однаковий характер, що проявляється у зменшенні діелектричної проникності з ростом частоти [2]. Проте, у пшениці з вологістю 25% діелектрична проникність і фактор втрат набагато більші, ніж при вологості 11,2%.

Властивості свіжої курячої грудки, при частоті опромінення від 10 МГц до 1,8 ГГц, виявилися аналогічними властивостям пшениці в тому, що діелектрична проникність зменшується зі збільшенням частоти [3]. Однак діелектрична проникність грудки набагато вища ніж у пшениці з вологістю 25,0%. Вміст вологи в м'ясі складає 76%, що практично в три рази більше ніж у зерна. Крім того відбувається зміна знаку температурного коефіцієнту діелектричної проникності, на частоті 200 МГц, чого не було зафіксовано при дослідженні зерна.

Для яблук з вологістю 85%, діелектрична проникність і фактор втрат, в тому ж діапазоні частот, мають значно нижчі значення, в порівнянні з курячою грудкою. Зміна знаку температурного коефіцієнту для діелектричної проникності має місце при частоті трохи вищій за 20 МГц [4].

Проаналізувавши всі отримані данні діелектричних властивостей і їх поведінку залежно від вологості для різних харчових продуктів можна зробити такі висновки, що діелектрична проникність завжди спадає зі зростанням частоти. У пшениці з вологістю нижче 25% діелектрична постійна і фактор втрат збільшуються з ростом температури в діапазоні частот від 10 МГц до 1800 МГц. Для інших досліджуваних харчових продуктів з вологістю вище 70% дані параметри зростають з підвищенням температури на частотах менше 20 МГц, але в певний момент, в діапазоні від 20 МГц до 200 МГц, температурний коефіцієнт діелектричної постійної змінюється і діелектрична проникність зменшується зі зростанням температури на більш високих частотах.

Зміна знаку температурного коефіцієнта діелектричної проникності в діапазоні 20–200 МГц, пояснюється домінуванням механізмів діелектричних втрат, що наявні в даних продуктах. На більш низьких частотах, велика частка втрат припадає на поляризацію, пов'язану з механізмом іонізації, яка зменшується зі збільшенням частоти, і вище точки, в якій діелектрична проникність не залежить від температури. Поляризація і діелектричні втрати, пов'язані з переорієнтацією диполів, стають домінуючими.

Результати отримані в дослідженнях, які були описані вище, дають змогу обрати оптимальну частоту для сушіння продуктів з певним вмістом вологості. І, як наслідок, можуть бути використані під час проектування нових типів НВЧ сушарок в харчовій промисловості.

#### **Перелік посилань**

1. Nelson, S. O. Electrical properties of agricultural products — A critical review. // Transactions of the ASAE. — 1973. — № 16(2). — pp. 384–400.
2. Егоров Г. Термодинамическое взаимодействие зерна с водой. // Хлебопродукты. — 2004. — №2. — С. 22–23
3. Nelson, S.O. and S. Trabelsi Dielectric spectroscopy of wheat from 10 MHz to 1.8 GHz. // Measurement Science and Technology. — 2006. — №17. — pp. 2294–298.
4. Zhuang, H., S. O. Nelson, S. Trabelsi and E. M. Savage Dielectric properties of uncooked chicken. // 2007.

#### **Анотація**

Розглянуто залежність діелектричних властивостей сільськогосподарських продуктів від вмісту вологи під час опромінення полем високої і надвисокої частоти, зокрема тангенс кута діелектричних втрат та діелектричну проникність. Було виявлено, що значення діелектричної проникності завжди зменшується із зростанням частоти.

Ключові слова: обробка, діелектричні властивості, вміст вологи, частота опромінення.

#### **Аннотация**

Рассмотрена зависимость диэлектрических свойств сельскохозяйственных продуктов от содержания влаги во время облучения полем высокой и сверхвысокой частоты, в частности тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость. Было обнаружено, что значение диэлектрической проницаемости всегда уменьшается с ростом частоты.

Ключевые слова: обработка, диэлектрические свойства, содержание влаги, частота облучения.

#### **Abstract**

The dependence of the dielectric properties of agricultural products on the moisture content during the irradiation field of high and ultra-high frequency, in particular the dielectric loss tangent and dielectric constant. It was found that the dielectric constant is always decreases with increasing frequency.

Keywords: processing, dielectric properties, moisture content, frequency of irradiation.