

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ НВЧ В ПРОЦЕСІ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

Кунденко М. П., Кунденко О. М., Кравченко П. О.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка**Проведено аналіз існуючих способів впливу електромагнітних хвиль різної частоти на потік молока, з метою визначення ефективності дії електромагнітних хвиль НВЧ діапазону.*

**Постановка проблеми.** Особливості нагрівання молока в діапазоні НВЧ. У більшості випадків нагрівання молока проводиться шляхом передачі тепла із зовні усередину за рахунок теплопровідності. При раціональному доборі частоти коливань і параметрів камер, де відбувається перетворення НВЧ енергії в теплову, можна забезпечити відносно рівномірне виділення тепла по об'єму молока. При цьому слід зазначити простоту подачі НВЧ енергії до будь-якої ділянки молока, що нагрівається.

**Мета статті** - визначити ефективність дії електромагнітних хвиль НВЧ на обробку молока по всьому об'єму.

**Основні матеріали дослідження.** Виборче нагрівання ґрунтується на залежності втрат у молоці від довжини хвилі, тобто залежності тангенса кута діелектричних втрат як функції довжини хвилі. При цьому в багатокомпонентній суміші молока будуть нагріватися тільки ті частини, де високий тангенс кута діелектричних втрат.

Традиційно передача тепла здійснюється за рахунок конвекції, теплопровідності й випромінювання [1, 2]. Звідси неминучий температурний градієнт від поверхні в глибину продукту, причому тим більший, чим менше теплопровідність. За допомогою НВЧ енергії можна не тільки рівномірно нагрівати молоко по його об'єму, але й одержати будь-який заданий розподіл температур. Тому при НВЧ нагріванні багаторазово прискорюється технологічний процес обробки молока. НВЧ енергію необхідно підводити до оброблюваного молока через захисний діелектричний молокопровід з малими втратами.

Щоб застосування НВЧ енергії було економічно виправдане, необхідно вибирати такі НВЧ генератори, які мають високий ККД (0,7...0,9), високу вихідну потужність у безперервному режимі (більш 1 кВт), просту й надійну конструкцію, великий термін служби (2...5 тис. год.) і ефективно працюють при змінному навантаженні.

Робоча камера НВЧ установки, у якій відбувається вплив ЕМП на молоко, є електродинамічною системою [3]. Вона повинна забезпечувати: - задані параметри електромагнітного поля, тобто необхідну потужність і структуру поля; - виконання всіх вимог до ведення процесу незаражування молока; - реалізацію необхідних температурних режимів; - мати спеціальні вхідні й вихідні обладнання, що виключають випромінювання електромагнітного поля в навколишній простір при заливі й зливі молока з робочої камери.

Проектована електродинамічна система НВЧ установки, тобто робоча камера, у якій відбувається

вплив ЕМП на молоко - резонаторна. Основні завдання при розрахунках і конструюванні робочих камер полягають в узгодженні робочої смуги частот резонатора й генератора, і забезпеченні необхідної рівномірності нагрівання молока. Конструкція резонаторних камер повинна бути такою, щоб усередині них нагрівання було однакове в будь-якій частині внутрішнього об'єму, зайнятого молоком. Об'єм камер повинен бути досить великим, щоб обробляти значну кількість молока й повністю використовувати потужність НВЧ генератора.

Якщо резонатор повністю заповнимо молоком, що має високе значення діелектричної проникності (60...64) і великі втрати (0,22...0,16), то різко падає його навантажена добротність і погостить введення енергії, що забезпечує повну передачу НВЧ енергії від генератора в об'єм молока, простіше.

Складніше, якщо малий об'єм молока в резонаторі. У якості об'ємного резонатора рекомендуємо використовувати замкнені з обох кінців стінками відрізки хвилеводу прямокутного або круглого поперечних перерізів, довжиною рівною цілому числу півхвиль у хвилеводі. На надвисокій частоті неможливо створити коливальні системи із зосередженими постійними, що мають гарні, резонансні властивості, і тому тут застосовуються особливі коливальні системи, які називаються об'ємними або порожніми резонаторами [3, 4].

Позначення типів коливань, які можуть збуджуватися в порожніх резонаторах, схоже на прийняті позначення типів хвиль у хвилеводах. Таким чином,

$$i_{рез} = \rho \lambda_e / 2, \quad (1)$$

де  $\rho$  - ціле позитивне число.

У круглих циліндричних резонаторах використовуються коливання типу -  $H_{011}$  або  $E_{010}$ . Звичайно у НВЧ діапазоні основними параметрами резонатора вважають резонансну частоту  $\omega_0$  або власну резонансну довжину хвилі  $\lambda_0 = c / f_0 = 2\pi c / \omega_0$ , ненавантажену добротність  $Q_0$  і активну провідність  $G$ , що є мірою активних втрат у резонаторі.

У якості основних параметрів об'ємних резонаторів можна вибрати: резонансну частоту  $\omega_0$ , характеристичний опір  $\rho = \sqrt{L_{екв} / C_{екв}}$  і величину, що визначає втрати в резонаторі  $\delta = 1 / Q_0 = \rho G$  ( $\delta$  і  $Q_0$  є безрозмірними параметрами) [1].

Характеристичний опір є важливим параметром об'ємного резонатора. При конструюванні об'ємних

резонаторів необхідно прагнути, щоб значення опору було якнайбільше, тобто при даному  $\omega_0$ , а отже, і даному значенні добутку  $L_{екв} \cdot C_{екв}$  прагнуть зменшити ємність  $C_{екв}$  і збільшити  $L_{екв}$ . При цьому виявляється, що втрати НВЧ енергії в резонаторі, що йдуть на нагрівання металевих стінок, зменшуються, а ККД установки збільшується. Власна резонансна довжина хвилі  $\lambda_0$  визначається розмірами резонатора й типом коливань.

Для прямокутних резонаторів

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} + \frac{\rho^2}{i_{рез}^2}}}, \quad (2)$$

де  $a$  й  $b$  - розміри широкої й вузької стінок прямокутного хвилеводу;

$i_{рез}$  - відстань між металевими пластинами, заочислюючими відрізок прямокутного хвилеводу;

$m, n$  і  $\rho$  - цілі позитивні числа.

Об'ємним резонаторам властиві позитивні якості: відсутність втрат на випромінювання й втрат у діелектрику, мала величина втрат у металевих стінках. Це приводить до того, що резонатори в діапазоні НВЧ мають високу власну добротність  $Q_0$ . Орієнтовно власну добротність об'ємного резонатора можна розрахувати як подвоєне відношення об'єму, у якому запасється енергія електромагнітного поля, до об'єму, у якому вона витрачається, тобто до об'єму, займаного поверхневим шаром у всіх стінках резонатора:

$$Q_0 = 2V / (\Delta S), \quad (3)$$

де  $V$  - об'єм резонатора;

$\Delta$  - товщина поверхневого шару, мкм;

$S$  - площа внутрішньої поверхні стінок резонатора, м<sup>2</sup>.

Для немагнітних матеріалів:

$$\Delta = \frac{66\sqrt{\sigma_{міди} / \sigma}}{\sqrt{f \text{ (МГц)}}}, \text{ мкм,}$$

де  $f$  частота, МГц;

$\sigma_{міди} = 5,8 \cdot 10^7$  см/м - питома провідність міді;

$\sigma$  - питома провідність алюмінію (резонатор виконаний з алюмінію) становить  $2,979 \cdot 10^7$  см/м.

Магнітна проникність -  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Товщина поверхневого шару:

$$\Delta = \frac{66\sqrt{5,8 \cdot 10^7 / 2,979 \cdot 10^7}}{\sqrt{2450}} = 1,86 \text{ мкм.}$$

Площа внутрішньої поверхні стінок резонатора  $2 \cdot 3,14 \cdot 6,12^2 + 2 \cdot 3,14 \cdot 6,12 \cdot 12,24 = 705$  см<sup>2</sup>.

Добротність об'ємного резонатора  $Q_0 = 2 \cdot 2000 / (1,86 \cdot 10^{-2} \cdot 705) = 305$ .

**Висновки.** Встановлено, що на відміну від УФ, рентгенівського або гамма-випромінювання за допомогою НВЧ енергії можна не лише рівномірно нагрівати молоко по його об'єму, але й одержати будь-який заданий розподіл температур. Важливими перевагами НВЧ випромінювання при нагріванні водомістких об'єктів є те, що на відміну від усіх способів знезаражування вплив на об'єкт здійснюється зсередини, тобто за рахунок теплової енергії, що виділяється в об'ємі самого мікроорганізму.

#### Список використаних джерел

1. Зверев С. В., Лобанов А. В. Ультразвуковая техника в молочной промышленности. Переработка молока. 2005. № 1. С. 10.

2. Золотин Ю. П. Оборудование предприятий молочной промышленности. Москва : Агропромиздат, 1985. 270 с.

3. Кузьмичев А. В., Летаев С. А., Малышев В. В., Тихомиров Д. А. Комбинированный способ пастеризации молока инфракрасным и ультрафиолетовым излучением. *Материалы 7-й международной научно-технической конференции "Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике"*. Москва : ГНУ ВИЭСХ, 2010. С. 255.

4. Чагаровский В. П., Кручек И. Г. Исследование микрофлоры молока с увеличенным сроком хранения при разных технологиях его получения. *Микробиология*. 2004. Т. 66. № 2. С. 86-89.

#### Аннотация

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЧ В ПРОЦЕССЕ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

Кунденко Н. П. Кунденко А. Н.,  
Кравченко П. А.

*Проведен анализ существующих способов воздействия электромагнитных волн различной частоты на поток молока, с целью определения эффективности действия электромагнитных волн СВЧ диапазона.*

#### Abstract

### RESEARCH OF THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC WAVES OF UHF IN THE MILK PASTEURIZATION PROCESS

M. Kundenko, O. Kundenko,  
P. Kravchenko

*The analysis of the existing methods of influence of electromagnetic waves of different frequency on the milk flow, in order to determine the efficiency of electromagnetic waves of the microwave range.*