

$$\tau < 0,1 \frac{c\rho h}{2\alpha}$$

Для молочной сыворотки последнее неравенство принимает вид  $\tau < 20$  с.

В некоторых работах указывается, что в отличие от обычного нагрева при микроволновом нагреве скорость нагрева остается постоянной. Из (7) следует, что эта скорость равна

$$\frac{T}{\tau} = \frac{p_0}{c\rho}$$

#### **Влияние зависимости фактора потерь от температуры.**

При микроволновом нагреве могут наблюдаться некоторые эффекты, характерные только для этого вида нагрева. Рассмотрим один такой эффект.

Пусть фактор потерь  $\epsilon''$  зависит от температуры так, что с ростом температуры он резко возрастает. Будем считать, что размеры продукта выбраны таким образом, чтобы распределение поля внутри него было равномерным. Тогда вначале и распределение температур в продукте будет равномерным. В процессе нагрева  $\alpha''$  растет, следовательно, глубина проникновения уменьшается и поле в середине продукта становится меньше, чем в приповерхностных слоях. Температура в приповерхностных областях возрастает,  $\alpha''$  тоже растет и глубина проникновения поля еще больше уменьшается. Затем все сказанное повторяется. В результате, если вначале продукт грелся равномерно, то при высоких температурах прогреваться будет только тонкий приповерхностный слой.

При нагреве молочной сыворотки этот эффект не имеет места, поскольку зависимость фактора потерь молочной сыворотки от температуры незначительна.

#### **Выводы**

Установленные в работе закономерности распределения температур и электромагнитного поля могут быть использованы при конструировании аппаратов для термообработки пищевых продуктов в импульсном электромагнитном поле.

#### **Литература**

1. Бурдо О.Г. Инженерная методика расчета микроволнового нанопастеризатора / О.Г. Бурдо, О.Б. Рыбина // 36. наук. праць ОНАХТ, Вип.33, С. 78–82, Одеса 2008
2. Бурдо О.Г. Математическое моделирование процессов низкотемпературной пастеризации / О.Г. Бурдо, О.Б. Рыбина // 36. наук. праць ОНАХТ, Вип.30, Том 1, Одеса 2007, С. 54–57.

УДК 664.085.4-03

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

**Бурдо О.Г., професор; Яровий І.І., аспірант;  
Малашевич С.А., науковий співробітник; Ружицька Н.В., інженер  
Одеська національна академія харчових технологій**

*Наведено результати експериментальних досліджень з розробки вузла завантаження мікрохвильового апарату та рекомендації щодо його конструювання.*

*The results of experimental research of subassembly of microwave apparatus and recommendations concerning its construction has been discussed.*

**Ключові слова:** мікрохвильовий апарат, замежовий хвильовод, рівень випромінювання

**Вступ.** Перспективи створення потужної техніки для обробки харчової сировини в мікрохвильовому полі пов'язані із вирішенням ряду складних задач специфічної конструкції таких апаратів. По суті, апарати з мікрохвильовим підводом енергії є оригінальними електродинамічними системами, в яких мають здійснюватись зв'язані процеси гідродинаміки, тепло- та масообміну. Досить складні процеси комбінованої взаємодії механічних, термічних та дифузійних явищ в мікрохвильових апаратах (МХА) потребують додаткового урахування електромагнітних полів. Такі задачі не досліджувались, та, прак-

тично, і не ставились. Все це стримує впровадження високоефективних систем з МХА в технології переробки харчової сировини.

Одним із ключових питань при розробці безперервних ліній з МХА є конструкція надвисокочастотних шлюзів, вхідних вузлів для завантаження сировини та вихідних елементів. Конструювання таких елементів має вирішити протиріччя між необхідністю збільшувати живий переріз вузла (для забезпечення більшої потужності апарата) та вимогами його зменшення (для дотримання умов безпечної експлуатації обладнання). Принцип конструювання таких елементів відомий – це замежовий хвильовід (ЗХ), встановлені і обмеження рівня випромінювання МХА. Для промислових установок він не має перевищувати  $10 \text{ мкВт/см}^2$ . Але, ніяких загальноприйнятих рекомендацій по конструюванню вузлів завантаження та вивантаження із МХА в доступній літературі немає. Відомі джерела [1, 2, 3] обмежуються теоретичним аналізом схем замежових хвильоводів та не дають методів їх розрахунку, особливо при наявності в середині харчової сировини.

**Постановка задач дослідження.** Визначити вплив конструктивних параметрів ЗХ, потужності мікрохвильового поля та рівня завантаження МХА на розподіл електромагнітної енергії в ЗХ та на ступінь випромінювання в довкілля.

Відомо [1], що, коли електромагнітна хвиля проходить в середині хвильоводу, виконується умова:  $\lambda < \lambda_{\text{кр}}$ . Тобто, довжина хвилі ( $\lambda$ ) повинна бути меншою за критичне значення довжини хвилі ( $\lambda_{\text{кр}}$ ) для цього каналу. Але, такі умови визначено тільки для основного типу хвилі та при відсутності матеріалу в каналі. Для прямокутного каналу основний тип хвилі  $H_{10}$ , а для циліндричного –  $H_{11}$ . При пустому прямокутному каналі із довжиною широкій стінки (а) умови замежного хвильоводу (тобто, коли хвиля не ввійде до каналу) прості:  $\lambda > \lambda_{\text{кр}}$ , при  $\lambda_{\text{кр}} = 2a$ . Аналогічно для циліндричного каналу типу ЗХ критична довжина хвилі є функцією діаметра (d) і визначається як:  $\lambda_{\text{кр}} \approx 1,7d$ . Але, всі ці рекомендації коректні при:

- відсутності продукту в каналі;
- тільки для нижчого типу хвиль.

В реальних умовах роботи МХА канал для завантаження по-перше має в середині продукт, який суттєво впливає на значення  $\lambda_{\text{кр}}$ . По-друге, в каналі виникають інші, більш високі типи хвиль з іншою конфігурацією полів. Визначення електродинамічного стану у такій складній системі можливо тільки на основі експериментального моделювання.

#### Методика досліджень та експериментальний стенд.

Для проведення досліджень розроблено експериментальний стенд, який складається з НВЧ-камери, каналу-хвильоводу та калориметру.

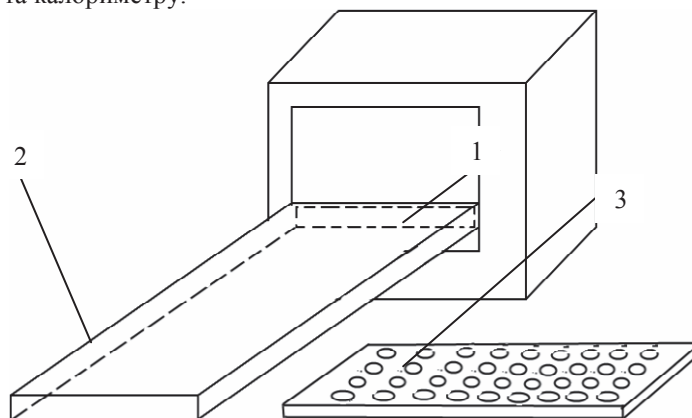


Рис.1 – Схема лабораторного стенду

Нагрузкою в камері (1) була вода об'ємом 0,5 л. У хвильовод (2) встановлювали калориметр(3) з 40 комірками об'ємом по 5 мл кожна. Під час дії мікрохвильового поля, вода у камері та комірках калориметра нагрівалась. Знаючи початкову та кінцеву температуру води в камері та калориметрі, можна визначити поглинуту водою енергію із матеріального балансу (1):

$$Q_i = \frac{c \cdot m_i \cdot \Delta t_i}{\tau}, \text{ Вт} \quad (1)$$

де  $Q_i$  – енергія, поглинута водою в окремій комірці калориметру, Вт;

$c$  – питома теплоємність води, Дж/(кг·К)

$m_i$  – маса води в окремій комірці калориметру, кг;

$\Delta t_i$  – зміна температури в окремій комірці калориметру, °С;

$\tau$  – тривалість дії мікрохвильового поля, с.

Аналогічно визначались значення енергії, що поглиналась продуктом у камері ( $Q_i$ )

Знаючи енергію, поглинуту в камері та каналі, можна визначити долю витрат у канал для завантаження:

$$\xi = \frac{Q_i}{Q_k} \times 100, \quad (2)$$

Визначали рівень випромінювання МХА на різних відстанях від камери, втрати енергії у канал та їх залежність від висоти зазору та висоти каналу. Частота хвиль складала 2450 МГц.

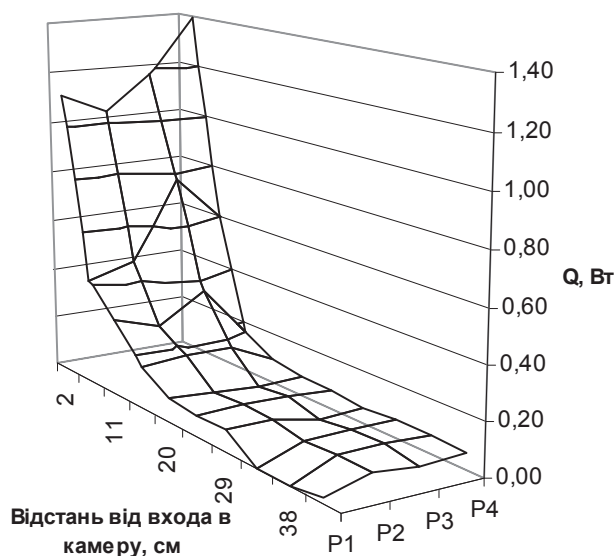
Діапазон експериментальних досліджень наведено у таблиці 1.

**Таблиця 1 – Діапазон експериментальних досліджень**

		Q, Вт			
$\delta_{\text{зазору}}, \text{ мм}$		14	16	18	20
$\delta_{\text{каналу}}, \text{ мм}$					
14		30, 50, 70, 100% НВЧ			
20		30, 50, 70, 100% СВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ
30		30, 50, 70, 100% НВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ	30, 50, 70, 100 % НВЧ

**Результати експериментального моделювання**

Розподілення мікрохвильової енергії в хвильоводі довжиною 50 см наведено на рис.2



**Рис. 2 – Розподілення мікрохвильової енергії в хвильоводі**

Як видно з рис.2, основна частина енергії поглинається в калориметрі на відстані від 0 до 25 см від входу в канал. Сумарні втрати енергії в канал наведено на рис. 3.

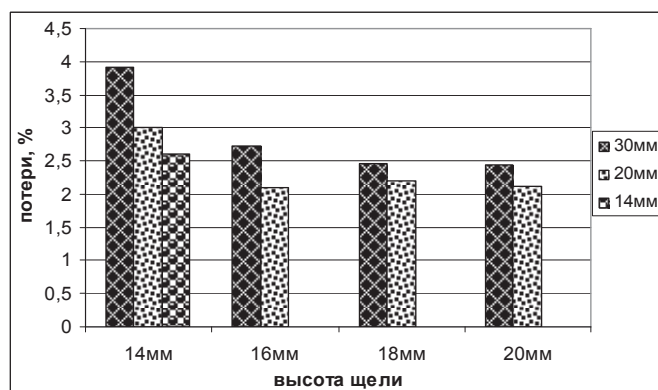


Рис.3 – Втрати енергії в канал вхідного вузла довжиною 50см.

Конструкція каналу з висотою 20 мм має в 1,5...2 рази менші втрати енергії, ніж з висотою 30 мм (рис. 3). Висота зазору 16 мм, 18 мм та 20 мм також впливає на втрати енергії.

Як видно з діаграми, найменші втрати спостерігалися при висоті зазору 20 мм, та висоті каналу 20 мм. Такі параметри є оптимальними як за конструктивними вимогами, так і з позиції зменшення енерговитрат.

Розподілення рівня випромінювання МХА по довжині каналу в залежності від висоти зазору наведено на рис.4

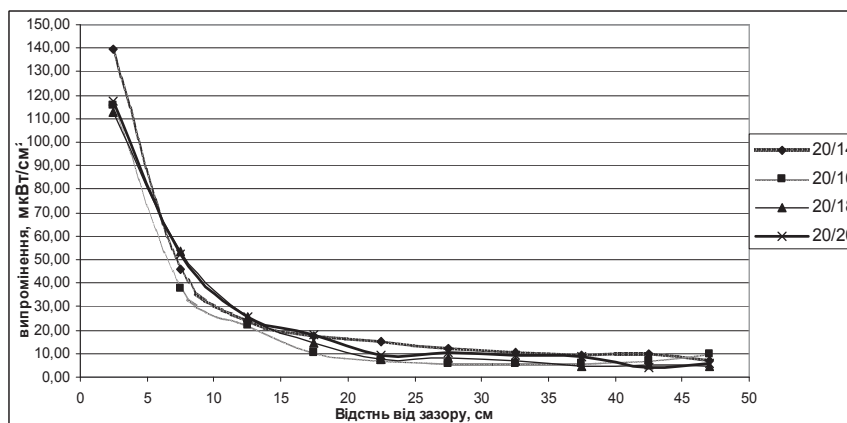


Рис. 4 – Розподілення рівня випромінювання по довжині каналу хвильовода

В усіх досліджених випадках, рівень випромінювання з вхідного вузла не перевищувало допустимого значення 10 мкВт/м<sup>2</sup>.

Було проведено дослідження для каналу завантаження довжиною 22 см та каналу розвантаження з ІК-камери, довжиною 28 см. Втрати енергії в канали склали відповідно 3,7% та 4,3%. Розподілення випромінювання наведено на рис. 5.

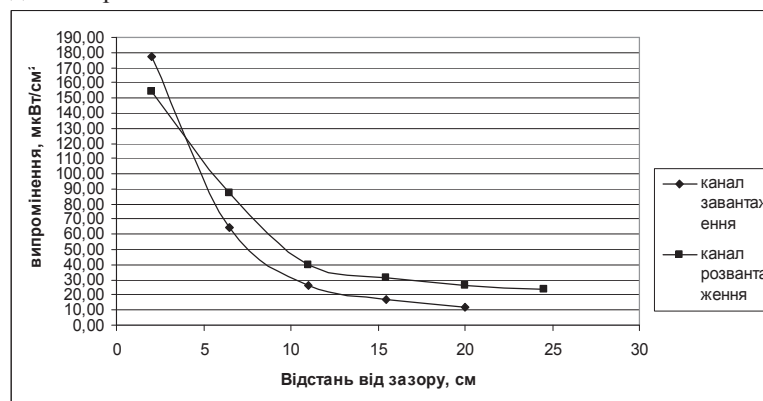


Рис. 5 – Залежність випромінювання від відстані від зазору

Як видно з графіків, випромінювання перевищувало допустимі норми.

#### Висновки

З проведених дослідів встановлено, що для установки, що розробляється, доцільне значення висоти зазору та каналу вузла завантаження продукту, дорівнює 20 мм. Результати планується використати при розробці екстракторів [4] та сушарок [5] нового покоління.

#### Література

1. Технологическое оборудование пищевых производств./Под ред. Б.М.Азарова.- М.: Агропромиздат, 1988.- 463с.
2. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. М., 1981. – 200 с.
3. Е.А.Воробьев Экранирование СВЧ конструкций.- М.: Сов. Радио, 1979.- 136с.
4. Бурдо О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств. – Одесса: «Полиграф», 2008. – 244с.
5. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одесса: «Полиграф», 2010. – 368с.

УДК 662.756.3

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ЕКСТРАГУВАННЯ ОЛІЇ ІЗ ШРОТУ РІПАКА

**Буйвол С.М., аспірант; Светлічний П.І., к.т.н., доцент; Саламаха В.І., ктн, доцент  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса  
Бандура В.М. к.т.н., Вінницький державний аграрний університет, м. Вінниця**

*Розглянуто особливості існуючої та перспективної технології отримання біодизельного палива в країнах ЄС та в Україні. Проведено дослідження кінетики шроту ріпаку при різних температурах процесу.*

*Features of existing and perspective technology of extraction of biodiesel fuel in the EU countries and in Ukraine are considered. Researches are conducted of kinetics of shot raps about different process temperature.*

**Ключові слова:** біодизельне паливо, гліцерин, кінетика, екстрагування.

У багатьох країнах світу сьогодні істотно активізувалися дослідницькі роботи зі створення альтернативних (не нафтових) моторних палив, які відповідають вимогам високих експлуатаційних показників та нормативам екології. Одним із альтернативних на сьогодні є біодизельне паливо. Впродовж останніх років у США, Канаді та країнах Єврозоюзу істотно зріс комерційний інтерес до біодизельного палива – моноалкільних естерів жирних кислот, одержаних із рослинних олій чи тваринних жирів. Сьогодні у Франції та Італії вже існують потужності з виробництва біодизельного палива, а в Австрії на його частку припадає близько 5% від загального ринку дизельного палива. Навіть у США розгортаються програми щодо використання рослинних олій як моторних палив.

Біодизель можна виробляти з будь – якої рослинної олії методом етерифікації. Адже за своєю хімічною природою жири рослинного походження – це композиція складних ефірів триатомного спирту (гліцерину) і багатьох жирних кислот [2]. Гліцерин в жирах можна замінити молекулами метилового та етилового спирту і також отримати ефір, але з меншою температурою застигання і в'язкістю. Ці метилові (етилові) ефіри жирних кислот (естери) і є дизельним біопаливом.

В літературних джерелах описано, що при отриманні дизельного біопалива з рослинних олій справедливе наступне приблизне співвідношення [2]:

100 кг рослинної олії+10 кг метанолу → 100 кг біодизеля+10 кг гліцерину.

Водночас слід підкреслити, що, окрім основної продукції — біопалива, розглядувана технологічна лінія вироблятиме ріпаковий шрот та гліцерин. Ці продукти також можуть реалізовуватися на ринку та давати прибуток. Отже, з 3050 кг насіння ріпаку вологістю 7–8 % можна одержати:

- біодизельне паливо — 1 т;
- шрот (із вмістом олії 12–14 %) —1,950 т;
- гліцерин, 50% — 0,2 т.

Основною технологією вилучення олії з насіння ріпаку є використання процесу пресування. В результаті одержаний шрот містить ще значну частину олії, яку можна вилучати лише шляхом екстрагування.