

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
76 НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
ВИКЛАДАЧІВ АКАДЕМІЇ**

**Одеса 2016**

## Наукове видання

Збірник тез доповідей 75 наукової конференції викладачів академії  
18 – 22 квітня 2016 р.

Матеріали, занесені до збірника, друкуються за авторськими оригіналами  
За достовірність інформації відповідає автор публікації

Під загальною редакцією Заслуженого діяча науки і техніки України,  
д-ра техн. наук, професора Б.В. Єгорова  
Укладач Л. В. Агунова

Редакційна колегія

Голова

Єгоров Б. В., д-р техн. наук, професор

Заступник голови

Капрельянц Л. В., д-р техн. наук, професор

Члени колегії:

Амбарцумянц Р. В., д-р техн. наук, професор  
Безусов А. Т., д-р техн. наук, професор  
Віннікова Л. Г., д-р техн. наук, професор  
Гапонюк О. І., д-р техн. наук, професор  
Жигунов Д. О., д-р техн. наук, доцент  
Іоргачева К. Г., д-р техн. наук, професор  
Коваленко О. О., д-р техн. наук, ст. наук. співробітник  
Крусір Г. В., д-р техн. наук, професор  
Мардар М. Р., д-р техн. наук, професор  
Мілованов В. І., д-р техн. наук, професор  
Осипова Л. А., д-р техн. наук, доцент  
Павлов О. І. д-р екон. наук, професор  
Плотніков В. М., д-р техн. наук, доцент  
Савенко І. І. д-р екон. наук, професор  
Тележенко Л. М. д-р техн. наук, професор  
Ткаченко Н. А., д-р техн. наук, професор  
Ткаченко О. Б., д-р техн. наук, доцент  
Хобін В. А., д-р техн. наук, професор  
Хмельнюк М. Г., канд. техн. наук, доцент  
Станкевич Г. М., д-р техн. наук, професор  
Черно Н. К., д-р тех. наук, професор

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАГРІВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ

**Бошкова І. Л., д-р техн. наук, доцент, Волгушева Н. В., канд. техн. наук, доцент  
Одеська національна академія харчових технологій**

Аналіз існуючих теоретичних уявлень про процеси перетворення енергії мікрохвильового поля у внутрішню енергію тіла свідчить про особливі складності моделювання тепловологопереносу при мікрохвильовому нагріванні. Особливий інтерес представляють моделі, що базуються на підходах А.В. Ликова, в основі яких лежить рівняння теплопровідності параболічного типу з урахуванням внутрішніх джерел теплоти. Об'ємний характер нагрівання матеріалу в мікрохвильовому полі дозволяє розглядати матеріал як середовище, у якому діють внутрішні позитивні джерела теплоти. Для перевірки відповідності фізичній моделі нагрівання в мікрохвильовому полі проведені обчислення по залежності 1, отриманої для середньої температури кулі в умовах, відповідних до режимів мікрохвильового нагрівання в реальних об'єктах:

$$\bar{\Theta} = \frac{t(\tau) - t_0}{t_c - t_0} = 1 + \frac{1}{15} Po \left( 1 + \frac{5}{Bi} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 + \frac{Po}{\mu_n^2} \right) B_n \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (1)$$

де  $Po = \frac{q_{v1} R^2}{\lambda(t_c - t_0)}$  — критерій Померанцева;

$q_{v1}$  — питома потужність внутрішніх джерел теплоти, Вт/м<sup>3</sup>;

$t_0$  — початкова температура матеріалу;

$t_c$  — температура навколишнього середовища.

Рішення (1) отримане при ГУ III роду. Для всіх рішень, що описують температурне поле при дії внутрішніх джерел теплоти, оговорена умова  $t_c > t_0$ , яка відповідає напрямку теплового потоку від навколишнього середовища до поверхні матеріалу, що при мікрохвильовому нагріванні виконується не завжди.

Процес сушіння шару зерна в мікрохвильовому полі доцільно представити як результат дії двох джерел теплоти: позитивного  $q_{v1}$  та негативного  $q_{v2}$ . Позитивні джерела виникають у матеріалі внаслідок взаємодії полярних молекул води з мікрохвильовим полем, а негативні визначаються випаром вологи з матеріалу в процесі сушіння. Для напівобмеженого масиву з урахуванням дії позитивного (мікрохвильове поле) і негативного (обумовленого потоком вологи, що випарувався) джерела отримана залежність при ГУ I роду (2):

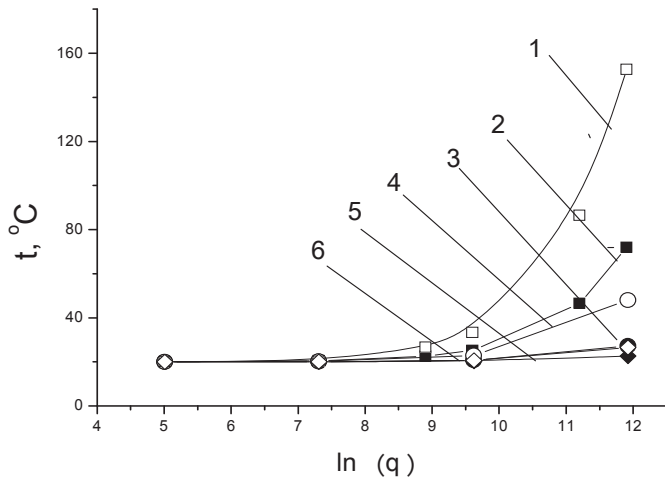
$$t(x, \tau) = \left( 1 - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) t_0 + \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \cdot t_{нов} - \frac{q_{v10}}{cra\gamma^2} \left[ e^{-\gamma x} - \frac{1}{2} e^{\gamma^2 a\tau - \gamma x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \gamma\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\gamma^2 a\tau + \gamma x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \gamma\sqrt{a\tau} \right) - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right] - \frac{q_{v20}}{cra\beta^2} \left[ e^{-\beta x} - \frac{1}{2} e^{\beta^2 a\tau - \beta x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \beta\sqrt{a\tau} \right) + \frac{1}{2} e^{\beta^2 a\tau + \beta x} \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \beta\sqrt{a\tau} \right) - \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right] \quad (2)$$

де  $a$  — коефіцієнт температуропровідності;

$\gamma$  — коефіцієнт поглинання електромагнітної енергії;

$\beta$  — коефіцієнт загасання негативного внутрішнього джерела, нижній індекс 0 при питомій потужності показує, що величина відноситься до максимального значення.

На рис. 1 наведені результати розрахунків температур зерна і води залежно від тривалості впливу МХ поля для початкової ділянки сушіння, тобто при  $q_{v20} = 0$ .



**Рис. 1 – Зміна температури тіла при мікрохвильовому нагріванні:**

- 1 — зерно,  $\eta=1$ ,  $\tau=360$  с; 2 — зерно  $\eta=1$ ,  $\tau=60$  с;  
 3 — вода,  $\eta=1$ ,  $\tau=60$  с; 4 — вода,  $\eta=1$ ,  $\tau=360$  с;  
 5 — зерно,  $\eta=0,47$ ,  $\tau=60$  с; 6 — зерно,  $\eta=0,47$ ,  $\tau=360$  с

льно використовувати дані по ККД мікрохвильової камери  $\eta$ . Відповідно до отриманих залежностей, які враховують обсяг завантаження камери та вид матеріалу, для зерна масою 100 гр ККД  $\eta=0,47$ . У цьому випадку розрахунки привели до вірного розподілу температурних кривих. Температура зерна (лінії 5, 6) розташовуються нижче, чим температура води, і їх значення задовільно корелюються з експериментальними.

Розрахунки зміни температури за глибиною масиву також показали відповідність аналітичної моделі реальному фізичному процесу, що демонструє можливість опису нагрівання матеріалів у мікрохвильовому полі точними аналітичними методами.

## СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ МІКРОХВІЛЬОВОМУ ПІДВЕДЕННІ ЕНЕРГІЇ

Волгушева Н. В., канд. техн. наук, доцент, Бошкова І. Л., д-р техн. наук, доцент  
 Одеська національна академія харчових технологій

Метою досліджень було визначення впливу тривалості продувки шару зерна ненагрітим і нагрітим повітрям на основні характеристики процесу сушіння і вибір оптимального режиму при циклічному підведенні мікрохвильової енергії. Методика експерименту полягала в наступному. У робочу камеру завантажувалося 100 г зерна (овес) з початковим вологовмістом 0,2 кг/кг. Сушіння зерна проходило в циклічному режимі. Тривалість періоду МВ нагрівання у всіх досвідах була однаковою й становила 10 с, вихідна потужність магнетрона становила 600 Вт. Тривалість періоду продувки була 10, 20 і 30 с. Результати обробки експериментальних даних, отриманих при продувці шару ненагрітим повітрям, у вигляді значень кінцевого для кожного з періодів вологовмістів  $u_k$  і питомих витрат енергії (розраховуючи на кілограм випаруваної вологи)  $Q_{num}$  наведені в табл. 1.

Дослідження сушіння зерна при продувці попередньо нагрітим повітрям проводилося по наведеній вище методиці, при цьому у зерно подавалося повітря, нагріте встановленим на вході електронагрівником. Температура зерна в період продувки нагрітим повітрям знижу-

Матеріал — зерно пшениці і вода. Вихідні дані для розрахунків наступні: початкові температури матеріалу і середовища:  $t_c=t_0=20$  °С, коефіцієнт поглинання для води  $\gamma_w=125$  м<sup>-1</sup>, коефіцієнт поглинання для зерна  $\gamma_z=30$  м<sup>-1</sup>. Розрахунки температури води та зерна при однаковій ефективності перетворення мікрохвильової енергії у внутрішню енергію тіла (у цьому випадку ККД камери  $\eta=1$ ) показали, що температурні криві для води (лінії 3, 4) розташовуються нижче кривих для зерна (лінії 1, 2). Це пояснюється тим, що для коректного зіставлення температур слід враховувати значення діелектричних характеристик матеріалу (так, для води при 20°С  $\epsilon''=82$ , для зерна  $\epsilon''=2,6$ ). Із цією метою доці-

ВПЛИВ САМОСТІЙНИХ ЗАНЯТЬ ФІЗИЧНИМИ ВПРАВАМИ НА ЗМІЦНЕННЯ ЗДОРОВ'Я МОЛОДІ	
<b>Цапенко Л. М., Васильєв В. П.</b> .....	<b>302</b>
ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОКАЗНИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СТУДЕНТІВ ПЕРШИХ КУРСІВ	
<b>Яготі Р. С., Лаговська Н. Г.</b> .....	<b>303</b>
ЗДОРОВИЙ СПОСІБ ЖИТТЯ ЯК ОБОВ'ЯЗКОВА УМОВА ПІДВИЩЕННЯ ДІЄЗДАТНОСТІ СТУДЕНТІВ ОНАХТ	
<b>Халайджі С. В., Болтоматіс Д. В.</b> .....	<b>304</b>
САМООЦІНКА СТАНУ ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТІВ	
<b>Сергєєва Т. П., Волкова Т. В.</b> .....	<b>306</b>
СПОРТИВНИЙ ТУРИЗМ ЯК ДІЄВИЙ ЗАСІБ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТІВ ОНАХТ	
<b>Болтоматіс Д. В., Гончарук В. В.</b> .....	<b>308</b>
ФІЗИЧНА РЕАБІЛІТАЦІЯ ТА АДАПТИВНЕ ФІЗИЧНЕ ВИХОВАННЯ МОЛОДІ	
<b>Павлюк О. В., Захлевська Т. В.</b> .....	<b>309</b>
<b>СЕКЦІЯ</b>	
<b>ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА ТА ТРУБОПРОВІДНИЙ ТРАНСПОРТ ЕНЕРГОНОСІЇВ</b>	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛЮ ШВИДКОСТІ ПРИ ЛАМІНАРНОМУ РУСІ ФЛЮІДІВ В ОКОЛИЦІ КРИТИЧНОЇ ТОЧКИ	
<b>Бошкова І. Л., Лук'янова О. С.</b> .....	<b>310</b>
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАГРІВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПОЛІ	
<b>Бошкова І. Л., Волгушева Н. В.</b> .....	<b>312</b>
СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ МІКРОХВИЛЬОВОМУ ПІДВЕДЕННІ ЕНЕРГІЇ	
<b>Волгушева Н. В., Бошкова І. Л.</b> .....	<b>313</b>
ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ГРАНУЛЬОВАНИХ НАСАДОК ТЕПЛООБМІННИКА-УТИЛІЗАТОРА	
<b>Солодка А. В.</b> .....	<b>315</b>
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСТРАГУВАННЯ ЗА УМОВ ДІЇ МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ	
<b>Георгієш К. В.</b> .....	<b>317</b>
ТЕПЛООБМІН І ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ПОТОКУ В НАГНІТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИНАХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ	
<b>Кологривов М. М., Пригула В. В., Андерсон А. Ю.</b> .....	<b>319</b>
АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ В РЕГЕНЕРАТОРІ З ДИСПЕРСНОЮ НАСАДКОЮ	
<b>Потапов М. Д.</b> .....	<b>321</b>
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИПКОГО БІОПАЛИВА	
<b>Волчок В. О.</b> .....	<b>322</b>
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТИСКУ КИПІННЯ МАСЛО-ХЛАДОНОВОГО РОЗЧИНУ ISO 15 И R 410A	
<b>Лапардін М. І., Геллер В. З.</b> .....	<b>323</b>
УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЩІЛЬНОГО ШАРУ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ	
<b>Дементьєва Т. Ю.</b> .....	<b>325</b>
РОЗРОБКА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВОДООХОЛДЖУВАЧІВ ВИПАРНОГО ТИПУ І АНАЛІЗ ЇХ ПРИНЦИПОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ	
<b>Дорошенко А. В., Дем'яненко Ю. І.</b> .....	<b>326</b>

Наукове видання

**Збірник тез доповідей  
76 наукової конференції  
викладачів академії**

Головний редактор акад. Б. В. Єгоров  
Заст. головного редактора акад. Л. В. Капрельянц  
Відповідальний редактор акад. Г. М. Станкевич  
Укладач Л. В. Агунова