

станцій, автовокзалів, залізничних вокзалів, кінотеатрів та інших місць, які характеризуються великим накопиченням потенційних споживачів бутербродної продукції. Вендінг-автомати „Palma H” забезпечують необхідну температуру зберігання (2...5° С), програмування дати, після якої продаж продукції є неможливим; вони відрізняються зручністю та простотою використання, відсутністю черг і цілодобовою роботою.

**Висновки.** Таким чином, розширення виробництва бутербродної продукції дозволить поповнити сегмент готової їжі на українському ринку. Використання вендінг-автоматів для реалізації готових бутербродів підвищує якість, розширює асортимент продукції та додатково залучає потенційних споживачів.

#### *Список літератури*

1. Данилкин И. Правило премиального бутерброда // Бизнес-журнал. – 2007. – № 3. – С. 62–67.
2. Ряшко Г. М. Бутербродомания / Г. М. Ряшко, Г. В. Попова // Хлебопекарное и кондитерское дело. – 2009. – № 1. – С. 16–17.
3. Соуси, спеції, бутерброди, страви з бекону. – К. : Голов. спец. ред. літ. мовами нац. меншин України, 1994. – 400 с.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <[www.vending.com.ua/ru/vend\\_about.htm](http://www.vending.com.ua/ru/vend_about.htm)>.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <[vendex.com.ua/vending\\_biznes.php](http://vendex.com.ua/vending_biznes.php)>.

Отримано 01.02.2013.ХДУХТ, Харків.  
© Н.О. Афукова, М.В. Листопадна, 2013.

УДК 664.8.047-035.66

**С.В. Михайлова**, асист.

### **РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ НВЧ-КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА НВЧ-СУШІННЯ СУМІШІ ПОДРІБНЕНИХ КОРЕНІВ ПРЯНИХ ОВОЧІВ**

*Наведено розрахунок кількості енергії для НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібнених коренів пряних овочів та тривалості процесів залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування.*

*Приведен расчет количества энергии для СВЧ-концентрирования и СВЧ-сушки смеси измельченных корней пряных овощей и продолжительности процессов в зависимости от энергетических факторов и глубины вакуумирования.*

*The calculation of energy amount for microwave concentration and microwave drying of mixture of ground roots of spicy vegetables and process duration depending on energy factors and penetration depth is fulfilled.*

**Постанова проблеми у загальному вигляді.** Одним з ефективних методів отримання концентрованої та сушеної харчової продукції є використання мікрохвильових (НВЧ) технологій. Температура харчового продукту, швидкість НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння значною мірою залежать від частоти та напруженості електромагнітного поля, геометричних розмірів та діелектричної проникності продукту. У той же час висока температура в процесі концентрування та сушіння є шкідливим чинником, оскільки внаслідок теплового впливу руйнуються корисні компоненти і погіршуються фізико-хімічні властивості харчового продукту.

Під час НВЧ-нагрівання в процесі зневоднювання змінюються діелектричні характеристики та зменшується кількість теплоти, що виділяється в продукті. Тому коректне управління тепловим режимом в процесах НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння сприятиме ефективній роботі генератора НВЧ-нагріву та підведенню до харчового продукту питомої потужності заданої величини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що зі збільшенням частоти електромагнітного поля зростає швидкість нагрівання, проте при цьому зменшується глибина його проникнення в продукт і, відповідно, втрачається ефект об'ємного прогрівання. Для збереження об'ємного прогрівання продукту, забезпечення ефективної роботи НВЧ-генератора та підведення заданої величини питомої потужності, НВЧ-нагріву слід піддавати вироби певної товщини, яка не перебільшує глибину проникнення електромагнітного поля [1-2].

Теплота, що виділяється в харчовому продукті, витрачається на його нагрівання до температури кипіння води, а також на її випаровування. Оскільки волога всередині продукту знаходиться в замкненому середовищі, то з початком її кипіння починає зростати надлишковий тиск і, відповідно, температура кипіння. Надлишковий тиск залежить від кількості теплоти, що виділяється, в'язкості вологи за даної температури, відстані до поверхні продукту. За умов рівномірного виділення теплоти надлишковий тиск намагається досягти рівноважного, тому саме перепадом тиску переважно визначається інтенсивність переміщення вологи до поверхні продукту.

Створити перепад тиску можна шляхом розміщення продукту під пресом, або навпаки – у вакуумованому середовищі. Так, на основі НВЧ-нагріву за умов вакуумування розроблено кілька способів виробництва харчової продукції у вигляді соусів, паст, порошків на

основі подрібненої суміші прямих овочів (петрушки, пастернаку, селери, кропу) [3-4]. Для отримання продукції високої якості, а також досягнення ефектів інтенсифікації та енергозбереження необхідно використовувати раціональні параметри, визначення яких потребує низки теоретичних та експериментальних досліджень. У межах даної роботи пропонується розрахунковим шляхом встановити раціональні значення тривалості НВЧ-обробки залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування робочого середовища. Отримання таких даних та їх аналіз дозволять передбачити хід кінетики НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння під час експериментальних досліджень.

**Метою статті є** отримання розрахункових даних щодо тривалості процесу НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші подрібнених коренів прямих овочів за різних значень енергетичних чинників та глибини вакуумування робочого середовища.

Основними завданнями роботи є визначення кількості потрібної енергії для НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння суміші та енергетичних параметрів (питомої потужності, напруженості електричного поля), а також їх використання як початкових даних для розрахунку тривалості процесів за умов вакуумування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для розрахунку НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів прямих овочів (петрушки, пастернаку, селери) приймаємо такі початкові дані: початкова вологість суміші  $\omega_1$  – 85 %; кінцева вологість суміші  $\omega_2$  – 50 %; питома теплоємність суміші ( $c=3400$  Дж/(кг·К)); насипна щільність суміші –  $500$  кг/м<sup>3</sup>; геометричні параметри зразка – площа  $S=5 \cdot 10^{-2}$  м<sup>2</sup>, висота  $h=4 \cdot 10^{-2}$  м; потужність НВЧ-нагріву – від  $500$  до  $3000$  Вт.

Об'єм зразка становить

$$V = S \cdot h, \quad (1)$$

$$V = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

а його маса ( $m$ , кг) дорівнює

$$m = \rho \cdot V, \quad (2)$$

$$m = 500 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1 \text{ кг}.$$

Розрахуємо кількість теплоти, необхідну для нагрівання зразка до температури кипіння в ньому води

$$Q_n = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де  $\Delta t$  – різниця температур, К ( $\Delta t = t_k - t_n$ ),

$t_k$ ,  $t_n$  – відповідно, початкове та кінцеве значення температури зразка; ° С, (початкове значення температури приймаємо  $20^\circ$  С, кінцеве за абсолютного тиску  $10^5$  Па –  $100^\circ$  С).

Тоді за формулою (3)

$$Q_n = 1 \cdot 3400 \cdot (100 - 20) = 272 \text{ кДж.}$$

Кількість теплоти, необхідну для покриття втрат на випаровування вологи визначаємо за формулою

$$Q_e = r \cdot \Delta W, \quad (4)$$

де  $r$  – теплота пароутворення, Дж/кг (за атмосферного тиску  $P = 10^5$  Па  $r = 2261$  Дж/кг);

$\Delta W$  – зменшення кількості вологи, кг.

Зменшення кількості вологи можна визначити за рівнянням

$$\Delta W = m_1 \cdot \left( \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2} \right), \quad (5)$$

$$\Delta W = 1 \cdot \left( \frac{85 - 50}{100 - 50} \right) = 0,7 \text{ кг.}$$

Тоді

$$Q_e = 2261 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 1583 \text{ кДж.}$$

Загальна кількість енергії, що необхідна для НВЧ-концентрування продукту, складає

$$Q_{заг} = Q_n + Q_e, \quad (6)$$

$$Q_{заг} = 272 + 1583 = 1855 \text{ кДж.}$$

Приймаємо, що втрати теплоти  $Q_{вт}$  у доквілля складають близько 5 %, тоді

$$Q_{вт} = 0,05 \cdot 1855 = 93 \text{ кДж,}$$

$$Q_{заг} = 1855 + 93 = 1948 \text{ кДж.}$$

Відповідно до наведеного вище прикладу також було проведено розрахунки кількості потрібної енергії для НВЧ-концентрування за різних значень глибини вакуумування, результати яких наведено в табл. 1.

З отриманих результатів виходить, що зі збільшенням глибини вакуумування витрати на нагрівання зразка зменшуються. Так, якщо за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па витрати на нагрівання 1 кг зразка складають 272 кДж, то за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па – 207 кДж, тобто на 24 % менше. У разі подальшого зниження тиску витрати на нагрівання стають набагато меншими і за тиску  $0,1 \cdot 10^5$  Па складають лише 88 кДж, тобто в 3,1 рази менше.

У той же час витрати на випаровування вологи зі збільшенням глибини вакуумування несуттєво збільшуються. Так, по відношенню до витрат на випаровування 1 кг вологи за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па, що складають 1583 кДж, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па вони дорівнюють 1614 кДж,

тобто спостерігається збільшення витрат на 1,9%, а за тиску  $0,1 \cdot 10^5$  Па – 1672 кДж, тобто збільшення витрат на 5,6%.

**Таблиця 1 – Результати розрахунку кількості енергії для НВЧ-концентрування суміші подрібнених коренів прямих овочів**

| $p \cdot 10^{-5}$ Па | $t_n$ , °C | $t_k$ , °C | $g$ , Дж/кг | $Q_n$ , кДж | $Q_b$ , кДж | $Q_{вт}$ , кДж | $Q_{заг}$ , кДж |
|----------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-----------------|
| 1                    | 20         | 100        | 2261        | 272         | 1583        | 93             | 1948            |
| 0,8                  | 20         | 93         | 2277        | 248         | 1594        | 92             | 1934            |
| 0,6                  | 20         | 86         | 2295        | 224         | 1607        | 92             | 1923            |
| 0,5                  | 20         | 81         | 2306        | 207         | 1614        | 91             | 1912            |
| 0,4                  | 20         | 76         | 2319        | 190         | 1623        | 91             | 1904            |
| 0,3                  | 20         | 69         | 2335        | 167         | 1635        | 90             | 1892            |
| 0,2                  | 20         | 60         | 2357        | 136         | 1650        | 89             | 1875            |
| 0,1                  | 20         | 46         | 2389        | 88          | 1672        | 88             | 1848            |

Витрати енергії на випаровування вологи значно перевищують витрати енергії на нагрівання зразка, причому різниця стає більш суттєвою зі збільшенням глибини вакуумування. Так, якщо за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па витрати енергії на випаровування вологи перевищують у 5,8 разів по відношенню до витрат на нагрівання зразка, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па – у 7,8 разів, за  $0,2 \cdot 10^5$  Па – у 12,1 разів, а за  $0,1 \cdot 10^5$  Па – у 19 разів.

У цілому слід зазначити, що загальна кількість потрібної для НВЧ-концентрування енергії зменшується зі збільшенням глибини вакуумування. По відношенню до значення цього показника за  $1 \cdot 10^5$  Па, що складає 1948 кДж, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па він дорівнює 1912 кДж, тобто зменшується лише на 2%, а при  $0,1 \cdot 10^5$  Па – 1848 кДж, тобто зменшується на 5,1%.

Таким чином, незважаючи на закономірну тенденцію до зменшення кількості потрібної енергії на концентрування зі зниженням тиску, збільшення глибини вакуумування дає позитивний результат не лише в напрямі енергоефективності, але й з точки зору зниження температурних параметрів процесу, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини.

Далі наведено результати розрахунку тривалості процесу НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування.

Питома теплова потужність, що виділяється в результаті НВЧ-нагріву в дослідному зразку ( $P_n$ , Вт/м<sup>3</sup>)

$$P_n = \frac{P}{V}, \quad (7)$$

де  $P$  – потужність генератора НВЧ-нагріву, Вт.

$$P_n = 0,556 \cdot 10^{-10} E^2 f \varepsilon' t g \delta, \quad (8)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля, В/м;

$f$  – частота змінного електромагнітного поля, Гц ( $f=2450$  МГц);

$\varepsilon'$  – відносна діелектрична проникність зразка;

$\delta$  – кут діелектричних втрат.

При цьому  $\varepsilon' \cdot t g \delta = \varepsilon''$  – коефіцієнт поглинання (для досліджуваної суміші за результатами попередніх експериментів приймаємо  $\varepsilon''=6$ ). Тоді напруженість електричного поля за об'ємом зразка можна визначити за формулою

$$E = \sqrt{\frac{P_n}{0,556 \cdot 10^{-10} \cdot f \cdot \varepsilon''}}. \quad (9)$$

Зокрема за потужності НВЧ-нагріву  $P=500$  Вт та з урахуванням об'єму зразка  $V=2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup> за формулою (7)  $P_{num} = 250 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup>. Тоді за формулою (9)

$$E = \sqrt{\frac{250000}{0,556 \cdot 10^{-10} \cdot 2450 \cdot 10^6 \cdot 6}} = 553 \text{ В/м.}$$

Розрахунок тривалості ( $\tau$ , с) НВЧ-концентрування залежно від потужності нагріву та глибини вакуумування здійснювався за формулою

$$\tau = \frac{Q}{P}, \text{ с.} \quad (10)$$

Зокрема, за потужності НВЧ-нагріву  $P=500$  Вт та з урахуванням кількості потрібної притиску  $p=1 \cdot 10^5$  Па для НВЧ-концентрування 1 кг зразка енергії  $Q=1948$  кДж, тривалість процесу  $\tau=64,9$  хв.

Результати розрахунку тривалості НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування наведено в табл. 2.

Аналіз наведених результатів свідчить про те, що зі збільшенням питомої потужності нагрівання у межах  $(250 \dots 1500) \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup> зростає відповідно і напруженість електричного поля (у межах 553...1355 В/м), чим зумовлене скорочення тривалості НВЧ-концентрування. Так, якщо за питомої потужності нагріву

250 кВт/м<sup>3</sup> тривалість процесу, залежно від глибини вакуумування, становить (61,6...64,9)·60 с, за 1000 кВт/м<sup>3</sup> – (15,4...16,2)·60 с, а при 1500 кВт/м<sup>3</sup> – (10,3...10,8)·60 с. Тобто, за вищевказаних значень питомої потужності нагрівання тривалість процесу скорочується у 4 та 6 разів відповідно.

**Таблиця 2 – Результати розрахунку тривалості НВЧ-концентрування залежно від енергетичних чинників та глибини вакуумування**

| Потужність Р, Вт                  | Питома потужність, Р <sub>п</sub> ·10 <sup>-3</sup> , Вт/м <sup>3</sup> | Напруженість електричного поля, E, В/м | Тиск p·10 <sup>-5</sup> , Па             |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-----------------------------------|---|--|--|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                                   |   |  | 1,0                                      | 0,8  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,1  |  |
|                                   |   |  | кількість енергії Q <sub>заг</sub> , кДж |      |      |      |      |      |      |      |  |
|                                   |   |  | 1948                                     | 1934 | 1923 | 1912 | 1904 | 1892 | 1875 | 1848 |  |
| тривалість τ·60 <sup>-1</sup> , с |   |  |  |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 500                               | 250   | 553                                    | 64,9                                     | 64,5 | 64,1 | 63,7 | 63,5 | 63,0 | 62,5 | 61,6 |  |
| 1000                              | 500   | 782                                    | 32,4                                     | 32,2 | 32,1 | 31,9 | 31,7 | 31,5 | 31,3 | 31,0 |  |
| 1500                              | 750   | 958                                    | 21,6                                     | 21,5 | 21,4 | 21,2 | 21,1 | 21,0 | 20,8 | 20,5 |  |
| 2000                              | 1000  | 1106                                   | 16,2                                     | 16,1 | 16,0 | 15,9 | 15,8 | 15,7 | 15,6 | 15,4 |  |
| 2500                              | 1250  | 1237                                   | 13,0                                     | 12,9 | 12,8 | 12,7 | 12,7 | 12,6 | 12,5 | 12,3 |  |
| 3000                              | 1500  | 1355                                   | 10,8                                     | 10,7 | 10,7 | 10,6 | 10,6 | 10,5 | 10,4 | 10,3 |  |

Суттєвого скорочення тривалості процесу НВЧ-концентрування залежно від значення тиску не встановлено. Так, за тиску 0,5·10<sup>5</sup> Па за питомої потужності (250...1500)·10<sup>3</sup> Вт/м<sup>3</sup> тривалість є меншою лише на 1,5...1,9% по відношенню до тривалості процесу за тиску 1·10<sup>5</sup> Па, а за 0,1·10<sup>5</sup> Па – на 4,3...5,4%.

У наступній частині роботи наведено розрахунок НВЧ-сушіння досліджуваної суміші, для чого прийнято такі початкові дані: початкова вологість суміші ω<sub>1</sub> – 50%; кінцева вологість суміші ω<sub>2</sub> – 10%; питома теплоємність суміші (с=2600 Дж/(кг·К)); насипна щільність суміші – 330 кг/м<sup>3</sup>; коефіцієнт поглинання ε<sup>//</sup>=2; геометричні параметри зразка – площа S=6·10<sup>-2</sup> м<sup>2</sup>, висота h=5·10<sup>-2</sup> м; потужність НВЧ-нагріву – від 500 до 3000 Вт.

За таких початкових даних об'єм зразка за формулою (1) становить V=3·10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>, а його маса за формулою (2) дорівнює 1 кг, а зменшення кількості вологи за формулою (5) – 0,4 кг. Розрахунок кількості енергії для НВЧ-сушіння суміші подрібнених коренів прямих овочів (табл. 3) здійснювався за формулами (3) та (6). Питома потужність, напруженість електричного поля та тривалість НВЧ-сушіння (табл. 4) визначали за формулами (7) та (9).

**Таблиця 3 – Результати розрахунку кількості енергії для НВЧ-сушіння суміші подрібнених коренів прямих овочів**

| $p \cdot 10^{-5}$ Па | $t_n$ , °C | $t_k$ , °C | $g$ , Дж/кг | $Q_n$ , кДж | $Q_v$ , кДж | $Q_{вт}$ , кДж | $Q_{заг}$ , кДж |
|----------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-----------------|
| 1                    | 20         | 100        | 2261        | 208         | 904         | 56             | 1168            |
| 0,8                  | 20         | 93         | 2277        | 190         | 911         | 55             | 1156            |
| 0,6                  | 20         | 86         | 2295        | 172         | 918         | 55             | 1145            |
| 0,5                  | 20         | 81         | 2306        | 159         | 922         | 54             | 1135            |
| 0,4                  | 20         | 76         | 2319        | 146         | 928         | 54             | 1128            |
| 0,3                  | 20         | 69         | 2335        | 127         | 934         | 53             | 1114            |
| 0,2                  | 20         | 60         | 2357        | 104         | 943         | 52             | 1099            |
| 0,1                  | 20         | 46         | 2389        | 68          | 956         | 51             | 1075            |

**Таблиця 4 – Результати розрахунку тривалості НВЧ-сушіння залежно від енергетичних параметрів та глибини вакуумування**

| Потужність $P$ , Вт                 | Питома потужність, $P_n \cdot 10^{-3}$ , Вт/м <sup>3</sup> | Напруженість електричного поля, $E$ , В/м | Тиск $p \cdot 10^{-5}$ , Па       |      |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------------------|--|---|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|                                     |  |   | 1,0                               | 0,8  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,2  | 0,1  |  |
|                                     |  |   | кількість енергії $Q_{заг}$ , кДж |      |      |      |      |      |      |      |  |
|                                     |  |   | 1168                              | 1156 | 1145 | 1135 | 1128 | 1114 | 1099 | 1075 |  |
| тривалість $\tau \cdot 60^{-1}$ , с |  |   |                                   |      |      |      |      |      |      |      |  |
| 500                                 | 250  | 958                                       | 38,9                              | 38,5 | 38,1 | 37,8 | 37,6 | 37,1 | 36,6 | 35,8 |  |
| 1000                                | 500  | 1355                                      | 19,4                              | 19,2 | 19,0 | 18,9 | 18,8 | 18,5 | 18,3 | 17,9 |  |
| 1500                                | 750  | 1659                                      | 12,9                              | 12,8 | 12,7 | 12,6 | 12,5 | 12,4 | 12,2 | 11,9 |  |
| 2000                                | 1000   | 1916                                      | 9,7                               | 9,6  | 9,5  | 9,4  | 9,4  | 9,2  | 9,1  | 8,9  |  |
| 2500                                | 1250   | 2142                                      | 7,8                               | 7,7  | 7,6  | 7,6  | 7,5  | 7,4  | 7,3  | 7,2  |  |
| 3000                                | 1500   | 2346                                      | 6,5                               | 6,4  | 6,4  | 6,3  | 6,2  | 6,2  | 6,1  | 6,0  |  |

З отриманих результатів (табл. 3) виходить, що зі збільшенням глибини вакуумування витрати на нагрівання зразка зменшуються. Так, якщо за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па витрати на нагрівання 1 кг зразка складають 208 кДж, то за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па – 159 кДж, тобто на 24% менше. За подальшого зниження тиску витрати на нагрівання стають набагато меншими і за тиску  $0,1 \cdot 10^5$  Па складають лише 68 кДж, тобто в 3,1 рази менше.

Витрати на випаровування вологи зі збільшенням глибини вакуумування несуттєво збільшуються. Так, по відношенню до витрат на випаровування 1 кг вологи за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па, що складають 904 кДж, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па вони дорівнюють 922 кДж, тобто



спостерігається збільшення витрат на 2%, а за тиску  $0,1 \cdot 10^5$  Па – 956 кДж, тобто збільшення витрат на 5,8%.

Витрати енергії на випаровування вологи значно перевищують витрати енергії на нагрівання зразка, причому різниця стає більш суттєвою зі збільшенням глибини вакуумування. За тиску  $1 \cdot 10^5$  Па витрати енергії на випаровування вологи перевищують у 4,3 рази по відношенню до витрат на нагрівання зразка, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па – у 5,8 разів, за  $0,2 \cdot 10^5$  Па – у 9,1 разів, а за  $0,1 \cdot 10^5$  Па – у 14,1 рази.

Загальна кількість потрібної для НВЧ-сушіння енергії зменшується зі збільшенням глибини вакуумування. По відношенню до значення цього показника за  $1 \cdot 10^5$  Па, що складає 1168 кДж, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па він складає 1135 кДж, тобто зменшується лише на 2,8%, а за  $0,1 \cdot 10^5$  Па – 1075 кДж, тобто зменшується на 8,0%.

Зі збільшенням питомої потужності нагрівання у межах  $(250 \dots 1500) \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup> зростає відповідно і напруженість електричного поля (у межах 958...2346 В/м), чим зумовлене скорочення тривалості НВЧ-концентрування. Так, якщо за питомої потужності нагріву 250 кВт/м<sup>3</sup> тривалість процесу, залежно від глибини вакуумування, становить  $(35,8 \dots 38,9) \cdot 60$  с, за 1000 кВт/м<sup>3</sup> –  $(8,9 \dots 9,7) \cdot 60$  с, а за 1500 кВт/м<sup>3</sup> –  $(6,0 \dots 6,5) \cdot 60$  с. Тобто, за вищевказаних значень питомої потужності нагрівання тривалість процесу скорочується у 4 та 6 разів відповідно.

Суттєвого скорочення тривалості процесу НВЧ-сушіння залежно від значення тиску не встановлено. Так, за тиску  $0,5 \cdot 10^5$  Па за питомої потужності  $(250 \dots 1500) \cdot 10^3$  Вт/м<sup>3</sup> тривалість є меншою лише на 2,6...3,1% по відношенню до тривалості процесу за тиску  $1 \cdot 10^5$  Па, а за  $0,1 \cdot 10^5$  Па – на 7,7...8,3%.

**Висновки.** 1. Зі збільшенням глибини вакуумування в межах  $(1,0 \dots 0,1) \cdot 10^5$  Па витрати на нагрівання зразка за НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння зменшуються за обох випадків у 3,1 рази, а на випаровування вологи несуттєво збільшуються – на 5,6...5,7%. Витрати енергії на випаровування вологи перевищують витрати енергії на нагрівання зразка у 5,8...19,0 разів та 4,3...14,1 разів відповідно, причому різниця стає більш суттєвою зі збільшенням глибини вакуумування. Загальна кількість потрібної для НВЧ-концентрування енергії зменшується до 5,1 та 8,0% відповідно зі збільшенням глибини вакуумування в межах  $(1,0 \dots 0,1) \cdot 10^5$  Па.

2. Зі збільшенням питомої потужності нагрівання зростає напруженість електричного поля. У межах питомої потужності нагрівання  $250 \dots 1500$  кВт/м<sup>3</sup> тривалість НВЧ-концентрування та НВЧ-сушіння скорочується у 6 разів за обох випадків. У той же час

збільшення глибини вакуумування в межах  $(1,0...0,1) \cdot 10^5$  Па приводить до скорочення тривалості процесу до 4,3...5,4% та 7,7...8,3% відповідно.

3. Збільшення глибини вакуумування дає позитивний результат не лише з напрямку інтенсифікації та енергоефективності під час концентрування та сушіння, але й з точки зору зниження температурних параметрів процесу, що дозволить більш повно зберегти харчову та біологічну цінність сировини. Раціональним можна вважати діапазон глибини вакуумування  $(0,4...0,6) \cdot 10^5$  Па, за якого температура концентрування та сушіння дорівнюватиме  $76...86^\circ\text{C}$ .

#### *Список літератури*

1. Рогов И. А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов / И. А. Рогов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 272 с.
2. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – Х. : ХДУХТ, 2002. – 420 с.
3. Пат. 45999 Україна, МПК А23L 1/01. Спосіб приготування пасти з пряно-ароматичних овочів / О. І. Черевко, Ю. І. Єфремов, В. М. Михайлов, С. В. Михайлова, В. П. Волошин, Р. В. Голуб ; заявник і патентовласник ХДУХТ. – № u200903539 ; заявл. 13.04.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.
4. Пат. 58158 Україна, МПК А23L 1/01. Спосіб приготування порошкоподібного напівфабрикату на основі прямих овочів / О. І. Черевко, Ю. І. Єфремов, В. М. Михайлов, С. В. Михайлова, К. В. Кострова ; заявник і патентовласник ХДУХТ. – № u201008082 ; заявл. 29.06.2010 ; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.  
© С.В. Михайлова, 2013.

УДК 637.528

**Ю.Д. Храмичка**, магістрант

### **АНАЛІЗ КІНЕТИКИ ВПЛИВУ ГІДРОДИНАМІЧНОГО МОДУЛЯ СИСТЕМИ «ВОДА–М'ЯСНА СИРОВИНА» НА ПРОЦЕС ЗНЕЗАРАЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ ХВИЛЯМИ**

*Досліджено вплив гідродинамічного модуля на ефективність процесу знезараження м'ясної сировини ультразвуковими хвилями. Вивчено зміни показника відносної кількості КУО/г під час обробки м'ясної сировини.*