

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ,  
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ  
І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

УДК 663.933.061 – 027.332:537-962

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ІННОВАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЯХ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ  
APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC ENERGY SOURCES IN INNOVATIVE  
TECHNOLOGIES OF FOOD RAW MATERIALS PROESSING**

<sup>1</sup>Бурдо О. Г., д-р техн. наук, професор, <sup>1</sup>Альхурі Юсеф, аспірант, <sup>2</sup>Давар Ростами Пур,  
<sup>1</sup>Левтринська Ю. О., аспірант

<sup>1</sup>Одеська національна академія харчових технологій

<sup>2</sup>Виробнича фірма D. R. P. Group, м. Тегеран, Іран

<sup>1</sup>Bourdo O. G., <sup>1</sup>Alkhourie Uysef, <sup>2</sup>Davar Rostami Pur, <sup>1</sup>Levtrinskaya J. O.

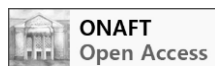
<sup>1</sup>Odessa National Academy of Food Technologies

<sup>2</sup>Production company D. R. P. Group, Tehran, Iran

Copyright © 2016 by author and the journal “Scientific Works”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Обговорюються технологічні проблеми одного із ключових процесів харчових технологій — концентрування розчинів (соків, екстрактів, тощо). Аналізуються енерготехнології традиційних випарних апаратів. У статті формулюються проблеми та наукові протиріччя. Пропонується гіпотеза можливості використання електромагнітних джерел енергії для адресної доставки енергії безпосередньо до вологи у розчині. Методами енергетичного менеджменту проведено порівняльний аналіз обох технологій та показано перспективність використання електромагнітного впливу. Обговорюються схеми конверсії енергії палива при традиційній технології термічного концентрування та інноваційної установки на основі електромагнітних генераторів енергії. Розглянуто параметричну і теплофізичну моделі процесу випарювання у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті. Сформульовано завдання і проведено аналітичне моделювання теплового стану елементів мікрохвильового вакуум-випарного апарату за умов впливу електромагнітного поля.

Методами теорії подібності отримано модель трансформації у критеріальній формі, що описує кінетику процесу випарювання в умовах електромагнітного поля. Безрозмірна продуктивність мікрохвильовому вакуум-випарного апарату виражена залежністю від числа енергетичного впливу та безрозмірного параметричного комплексу — відносного об'ємного вмісту вологи. Подано результати експериментального моделювання кінетики випарювання екстрактів кави, шипшини, гранатового соку, соку ехінацеї у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті. Показано, що такий апарат є ефективним інструментом вдосконалення технологій концентрування соків і екстракт шляхом випарювання.

**Abstract.** The technological issues of one of the key processes of food technologies — concentration of solutions (juices, extracts, etc.) — are discussed. Energy technologies of conventional evaporators are analyzed. The article discusses issues and scientific contradictions of these processes, ways of development of technology, particularly, evaporators. The hypothesis of the possibility of using electromagnetic energy sources for targeted delivery of energy directly to moisture in a solution is proposed. A deep comparative analysis of the technology of evaporation against conventional energy supply and microwave energy generators, demonstrating the prospect of using electromagnetic effects, have been performed by the methods of energy management. Schemes of conversion of fuel energy with the traditional technology of thermal concentration and the innovative installation based on electromagnetic energy generators are discussed. The parametric and thermophysical models of the evaporation process in a microwave vacuum evaporator are considered. A scientific contradiction and terms of reference are formulated; analytical modeling of the thermal state of elements of the microwave vacuum evaporator is performed under conditions of the electromagnetic field effect.

A mathematical model of transformation in the criterion form describing the kinetics of the evaporation process under conditions of the electromagnetic field is obtained using the theory of similarity and methods of the dimensional analysis. Dimensionless productivity of the microwave vacuum evaporator is expressed in dependence on the number of energy effect and the dimensionless parametric complex relative volumetric moisture content. The results of experimental modeling of evaporation kinetics of extracts from coffee, hips, pomegranate juice, and Echinacea juice in the

## СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

*microwave vacuum evaporator are presented. The research results comprehensively show that such a device is an effective tool for improving the technology of concentration of juices and extracts by means of evaporation.*

**Ключові слова:** енергія, харчові технології, моделювання, концентрування соків, екстракт, випарювання, електромагнітне підведення енергії.

**Key words:** energy, food technologies, modeling, concentration of juices, extract, evaporation, electromagnetic energy supply.

**Вступ.** Сучасні технології харчових та фармацевтичних виробництв розвиваються на основі концепції максимального отримання в готовому продукті споживного потенціалу сировини, мінімальних втрат в процесі переробки цільових компонентів. Насамперед, такі втрати мають місце при термічній обробці сировини. При цьому, саме теплова обробка сировини є ключовою в цих виробництвах. Якість готового продукту визначається, в значній мірі, температурним режимом процесів екстрагування та зневоднення. Такі проблеми виникають як при виробництві харчових концентратів (ХК), так і при отриманні фітопрепаратів (ФП). В традиційних технологіях для збереження харчового та цілющого потенціалу сировини зменшують рівень термічної дії, що веде до збільшення часу технологічного процесу, скорочення продуктивності виробництва. Сокам, екстрактам, напоям присвячено багато науково—технічної літератури. Глибоко розглянуті питання технологій їх виробництва [1 — 4], медичні та лікувально—профілактичні аспекти [5]. Зростає інтерес до концентрування соків [5]. Наукові засади концепції функціонального харчування досить глибоко опрацьовані [6 — 11].

Самостійною проблемою є логістичний аспект, що визначає економічну доцільність перевезення та складування концентрованих продуктів. Такі питання виникають при експортно—імпортних операціях із соками, екстрактами, напоями. Номенклатура та об'єм пропозицій на ринку ХК та ФП не відповідає потребам, динамічне зростання яких відмічається останнім часом [2, 3]. Серед ФП за вмістом природних БАР вигідно вирізняється шипшина, яка за вмістом аскорбінової кислоти перевищує лимон в 50, а яблука — в 100 разів. Серед ХК зростає попит на якісні концентрати із імпортової сировини: напоїв кави, гранатового соку тощо. Саме на удосконалення технологій термічної обробки такої сировини націлені наступні дослідження.

**Аналіз проблеми та формулювання гіпотези.** Аналіз традиційних принципів переробки рослинної харчової та лікувально—профілактичної сировини показує, що ці технології характеризуються низькими значеннями коефіцієнтів використання сировини, надвеликими питомими витратами енергії та наявністю завеликих об'ємів неутилізованих відходів. Таким чином, традиційні технології термічної обробки рослинної сировини не відповідають сучасним вимогам ресурсо—, енергоефективності, екологічної безпеки та ринкової економіки [1].

Основні технологічні процеси, що розглядаються в роботі, це зневоднення у інноваційних випарних апаратах та екстрагування. В роботі пропонується використати в якості джерел енергії електрофізичних генераторів, які мають організувати розроблену в ОНАХТ технологію адресної доставки енергії до елементів рослинної сировини [12, 13]. Підґрунтям такого рішення є наступне:

— досвід удосконалення теплотехнологій у різних галузях техніки показує широкі можливості модернізації обладнання на базі електротехнологій;

— світовий досвід свідчить про активну роботу над створенням теплових та масообмінних апаратів, які використовують електромагнітні джерела енергії;

— приклади організації низькотемпературних режимів інтенсифікації процесів перенесення на базі електромагнітних джерел енергії при екстрагуванні та випаровуванні при переробці рослинної сировини невідомі.

В роботі формулюється наступна науково—технічна гіпотеза: «відмінності в електрофізичних властивостях складових рослинної сировини може бути використана для адресного підведення електромагнітної енергії безпосередньо до води, ефективного використання енергії тільки на фазове перетворення, що вирішує всі проблеми, пов'язані із теплопередачею в концентрованих розчинах».

Об'єктами досліджень в роботі є лікувально—профілактичні екстракти шипшини, екстракти кави, гранатовий сік. Збереження цільових компонентів сировини потребує зниження рівня тисків при випаровуванні, що має технічні обмеження. Тому для різних систем доцільні кінцеві концентрації обмежують як за термодинамічними, так і за економічними факторами. У роботі ставиться завдання удосконалити теплотехнології екстрагування та випаровування на основі запропонованої гіпотези.

Основним ресурсом за пропозицією стає електроенергія, а це потребує об'єктивної попередньої оцінки ефективності схеми, порівняння її з традиційними технологіями.

**Системний аналіз інноваційної електротеплової технології випарювання та обговорення результатів досліджень.**

В роботі поставлено завдання знайти засоби енергетичного впливу безпосередньо на вологу в рідкій харчовій системі. Результатом має стати суттєве підвищення ефективності технології концентрування: зниження питомої енергоемності, підвищення якості готового продукту, підвищення продуктивності. Рішення базується на

## СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

застосуванні прогресивних принципів енергетичної дії — електромагнітних джерел енергії [12 — 14]. Пояснення пропозиції наведено у вигляді теплофізичних моделей традиційної випарки (рис. 1) та інноваційної (рис. 2).



**Рис. 1 — Структурна модель традиційного випарного апарату**

В класичних вакуум-випарних апаратах перенесення енергії від пари до продукту здійснюється теплопередачею. В процесі концентрування ефективність теплопередачі знижується (рис. 1). В приграничному шарі має місце локальний перегрів продукту, що дає присмак варки, або веде до пригару.

В інноваційному мікрохвильовому вакуум-випарному апараті процес йде інакше (рис. 2).



**Рис. 2 — Структурна модель мікрохвильового випарного апарату**

У інноваційній технології відсутня класична теплопередача, що є підґрунтям отримання більш концентрованого та якісного продукту. За енергетикою запропонована технологія не поступається традиційній випарці. Проведений методами енергетичного менеджменту аналіз всього технологічного ланцюга «паливо — його трансформація у відповідний вид енергії — мережа транспортування — споживач» показав, що інноваційна технологія потребує на 6 % палива менше [15]. Часто головним пріоритетом є максимальне збереження в готовому продукті харчового чи цілющого потенціалу сировини. В цьому випадку традиційні технології не можуть конкурувати із запропонованим мікрохвильовим вакуум-випарним апаратом (МВА). Математична модель МВА розроблена на основі фізичної моделі (рис. 3).

Апарат має 3 зони (рис. 3). В першій зоні йде обробка продукту. Підвід енергії — об'ємний, при ГУ II роду. Друга зона заповнена паром. Третя зона — це радіопрозора камера реакційного об'єму. В основі моделювання перший закон термодинаміки та рівняння Фур'є — Кірхгофа. В циліндричній системі координат для схеми (рис. 3) при умові, що робота в системі дорівнює 0 отримуємо:

$$\iint_{s_0}^{\tau} dQ\tau = \iint_{v_0}^{\tau} \left[ \frac{\partial t}{\partial r} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) \right] dVd\tau \quad (1)$$

Дію електромагнітного поля врахуємо як питому потужність об'ємних джерел теплоти ( $q_v$ , Вт/м<sup>3</sup>):

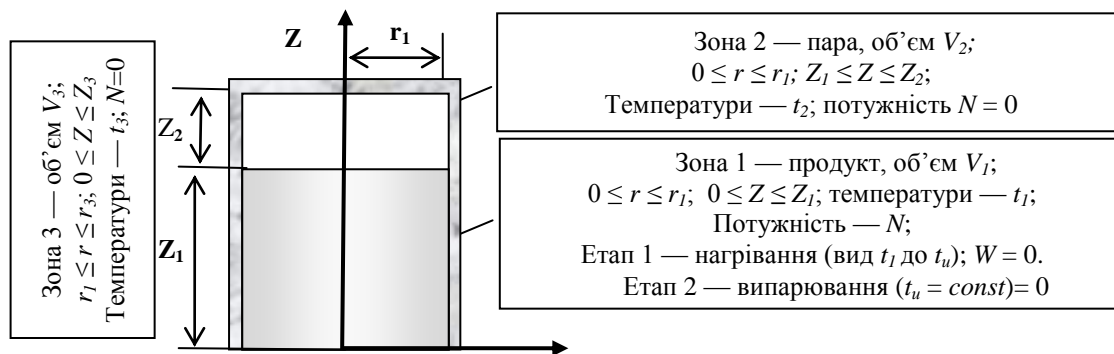
$$\iint_{v_0}^{\tau} \left[ c_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} - \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) - \frac{\lambda}{r} \frac{\partial t}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) - q_v \right] dVd\tau = 0. \quad (2)$$

Якщо всі характеристики у (2) — безперервні функції координат та часу, то інтеграл дорівнює 0, тобто:

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ,  
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ  
І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

$$c_p \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial r} \right) + \frac{\lambda}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_v . \quad (3)$$

Рівняння (3) дає зв'язок між часовою та просторовою зміною температури у всіх точках системи. Значення теплопровідностей у схемі (рис. 3) практично не змінюються, що дозволяє рівняння (3) спростити та привести його до лінійного диференціального рівняння в часткових похідних другого параболічного типу. На цих засадах конкретизуємо моделі для всіх зон.



**Рис. 3 — Постановка завдання моделювання концентрування харчового розчину**

Для 1 зони (рис. 3) відомо: об'єм продукту  $V_1$ , енергія, що підведена до продукту  $N\eta\tau$ , температура —  $t_1$ . Процес здійснюється в діапазонах тисків  $Pa \leq P \leq Pu$ .

Аналіз проведемо окремо для 1 етапу (нагрівання продукту від початкової температури  $t_1 = t_u$  до температури випарювання  $t_1 = t_u$ ) і для 2 етапу (безпосередньо випарювання). На першому етапі вихід пари відсутній ( $W = 0$ ), а енергія витрачається тільки на підвищення температури продукту.

Для висот  $0 \leq Z \leq Z_1$ , радіусів  $0 \leq r \leq r_1$  (початкові умови ( $\tau = 0$ ):  $t_1 = t_u$ ;  $V_1 = V_u$ ):

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \left( \frac{\partial^2 t_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t_1}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} \right) + \frac{N\eta}{V_1 c_{1v} \rho_1} , \quad (4)$$

де  $a = \lambda/(c\rho)$  — коефіцієнт температуропровідності,  $m^2/c$ .

Для другого етапу при випарюванні процес характеризується сталою температурою фазового перетворення ( $t_u = const$ ), а підведена енергія ( $N\eta\tau$ ) витрачається на підвищення внутрішньої енергії при зміні теплоємності. Рівняння енергії приймає вигляд:

$$N\eta\tau = V_u t_u (c_1 \rho_1 - c_2 \rho_2) \quad (5)$$

а об'єм продукту в камері зменшується:

$$V_1(\tau) = V_u - V_u(\tau) \quad (6)$$

Для зони 2 температура пари —  $t_2$ , об'єм пари  $V_2$ , енергія паром не поглинається ( $N = 0$ ). Тому, при  $0 \leq r \leq r_1$ ;  $Z_1 \leq Z \leq Z_2$  математична модель аналогічна (4) при заміні  $t_1$  на  $t_2$  і  $a_1$  на  $a_2$ . На границі 1 і 2 зон (для основного періоду — випарювання) ГУ 1 роду:  $t = t_u = const$ .

Для зони 3 температури матеріалу —  $t_3$ , об'єм  $V_3$ , енергія стінкою не поглинається ( $N = 0$ ). Тому, при  $r_1 \leq r \leq r_3$ ;  $0 \leq Z \leq Z_3$  модель є аналогічною (4) при заміні  $t_1$  на  $t_3$  і  $a_1$  на  $a_3$ .

Для основного періоду — випарювання на границі 1 та 3 зон і 2 та 3 зон ГУ 3 роду. Відповідно:

$$\frac{\partial t_3}{\partial r} = -\frac{\alpha_1}{\lambda_3} (t_1 - t_3) \quad \frac{\partial t_3}{\partial r} = -\frac{\alpha_2}{\lambda_3} (t_2 - t_3) \quad (7)$$

В рівняннях (1) — (7):  $\alpha$  — коефіцієнт тепловіддачі;  $\lambda$  — коефіцієнт теплопровідності;  $N$  — потужність електромагнітного генератора;  $\eta$  — ККД магнетрона;  $\tau$  — час роботи; індекси: 1 — рідка фаза; 2 — пара; 3 — стінка реакційного об'єму.

Таким чином, система (1) — (7) визначає нестационарне поле температур, матеріальний та енергетичний баланс процесів випарювання. Але практична реалізація моделі складна, тому, для отримання інженерної методики залучено методи теорії подібності.

Співвідношення енергії, яка витрачається в базовій технології ( $Q_0$ ), та енергії при інноваційному випарюванні ( $N$ ), будемо враховувати числом енергетичної дії, числом Бурдо ( $Bu$ ). Тоді:

**СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ,  
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ  
І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ**

$$Q_0 = W_0 r \quad \text{та} \quad Bu = \frac{N}{W_0 r} \quad (8)$$

Число ( $Bu$ ) має враховувати вплив тиску, бо питома теплота фазового перетворення ( $r$ ) є функцією тиску. Поточну продуктивність випарного апарату пропонується розраховувати за критеріальною моделлю:

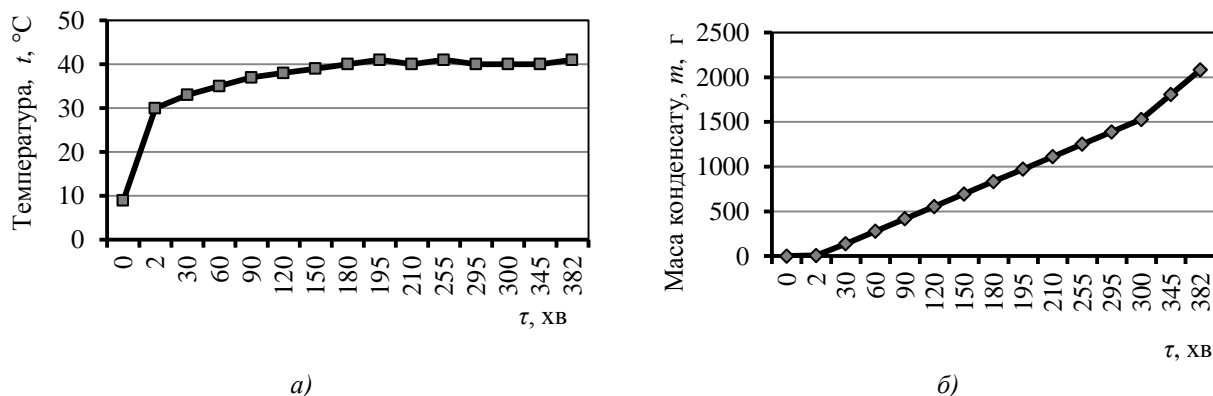
$$W = \frac{W_u}{W_0} = A \cdot Bu^n V^m \quad (9)$$

Безрозмірна продуктивність апарата ( $W$ ) має сенс відношення поточної продуктивності ( $W_u$ ) до базової (приймається,  $W_0 = 1$  г/с). Експериментальні дослідження кінетики випарювання у вакуумному мікрохвильовому апараті проводились на стенді, характеристики та методики досліджень наведено в роботі [15]. Основні результати досліджень представлено у табл. 1.

**Таблиця 1 — Діапазон експериментального моделювання процесу випарювання**

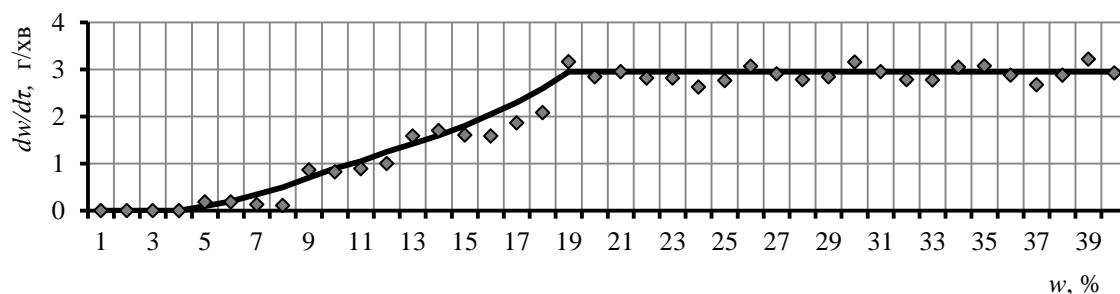
Продукт	Тиск, кПа	Потужність поля, КВт/кг	Температура, °С	Концентрація, % сухих речовин	
				початкова	кінцева
Екстракт шипшини	5...10	1,5	35...50	4,5	60
Екстракт кави	10...20	1,5	25...40	8	55
Сік гранатовий	7...15	0,3...2,1	30...40	15	85
Сік ехінацеї	5...15	0,3...2,1	30...40	12	92

Типові експериментальні залежності при випарюванні екстрактів шипшини наведено на рис. 4.



**Рис. 4 — Термограма (а) та зміна маси конденсату (б) при випарюванні екстрактів шипшини у вакуумному мікрохвильовому апараті**

Відповідальним параметром досліджень була продуктивність апарата по пару, що визначалась відношенням маси отриманого конденсату (рис. 4б) до тривалості процесу ( $\tau$ , хв). Вважалось, що маса пари ( $w$ ) дорівнює масі конденсату ( $m$ ). В залежності від потужності поля продуктивність випарювання становила 2...15 г/хв. Для процесу випарювання шипшини така залежність наведена на рис. 5.



**Рис. 5 — Залежність швидкості випарювання вологи з екстракту шипшини від його вологовмісту**

Узагальнення бази експериментальних даних за формою (9) дало критеріальну модель:

## СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

$$W = \frac{W_u}{W_0} = 0,76Bu^{1,13} \quad (10)$$

Модель (10) дозволяє з похибкою не більше 20 % розраховувати продуктивність мікрохвильового вакуум-випарного апарату в діапазоні чисел енергетичної дії  $0,4 \leq Bu \leq 0,04$ .

**Висновки.** Направлене підведення енергії безпосередньо до вологи в розчинах виключає формування приграничного шару та перегрівів в об'ємі розчину, який концентрується. Процес концентрування проходить без традиційної теплопередачі. Авторами вперше створено та проведено дослідження процесів екстрагування у вакуумному мікрохвильовому апараті. Показано, що мікрохвильові вакуум-випарні апарати працездатні до концентрацій 90 % сухих речовин при стабільних значеннях продуктивності.

### Література

- Manal A. Sorour. Optimization of multiple effect evaporators designed for fruit juice concentrate // *American Journal of Energy Engineering*. 2015. Vol. 3, No. 2-1, P. 6-11. doi: 10.11648/j.ajee.s.2015030201.12.
- Production of Pomegranate juice concentrate by complete block cryoconcentration process / Khajehei F., et.al. *Journal of Food Process Engineering*. 2015. Vol. 38, Is. 5. P. 488-498.
- Chantasiriwan S. Simulation of quadruple-effect evaporator with vapor bleeding used for juice heating // *International Journal of Food Engineering*. 2016. Vol. 2, No. 1. P. 36-41.
- Fazaeli M., Hojjatpanah G., Emam-Djomeh Z. Effects of heating method and conditions on the evaporation rate and quality attributes of black mulberry (*Morus nigra*) juice concentrate // *Journal of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 50, Is. 1. P. 35-43.
- Antioxidant activity of pomegranate juice and punicalagin / Aloqbi A. et.al. *Scientific Research Publishing. Natural Science*. 2016. 8. P. 235-246.
- Осипова Л. А., Капрельянц Л. В., Бурдо О. Г. Функциональные напитки. Одесса: «Друк», 2007. 288 с.
- Капрельянц Л. В., Йоргачова К. Г. Функциональні продукти. Одеса: Друк, 2003. 233 с.
- Arai S. Global view on functional foods. Asian perspectives // *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88., Suppl. 2.1. P. 139-143.
- Lucas J. EU-funded research in functional foods // *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88. Suppl. 2.1. P. 131-132.
- Milner J. A. Functional foods and health: a US perspective // *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88. Suppl. 2.1. P. 152-158.
- Roberfroid M. B. Global view on functional foods: European perspectives // *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88. Suppl. 2.1. P. 133-138.
- Бурдо О. Г. Пищевые нанотехнологии. Херсон: Гринь, 2013. 294 с.
- Burdo O. G. Nanoscale effects in food-production technologies // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2005. Vol. 78, Iss. 1. P. 90-96.
- Burdo O. G., Terziev S. G., Levtrinskaya J. O. Energetics of Eco-Industry of Food Concentrates Production // *Problemele energeticii regionale*, Chisinau, 2015. №2 (28). P. 69-79.
- Технологии селективного подвода энергии при выпаривании пищевых растворов / Бурдо О. Г. и др. // *Problemele energeticii regionale*, Chisinau, 2017. №1 (33). С. 100-109.

### References

- Manal, A. Sorour. (2015). Optimization of multiple effect evaporators designed for fruit juice concentrate. *American Journal of Energy Engineering*. 3(2-1), 6-11. doi: 10.11648/j.ajee.s.2015030201.12.
- Khajehei, F., Niakousari, M., Eskandari, M. H. & Sarshar, M. (2015). Production of Pomegranate juice concentrate by complete block cryoconcentration process. *Journal of Food Process Engineering*. 5(38), 488-498.
- Chantasiriwan, S. (2016). Simulation of quadruple-effect evaporator with vapor bleeding used for juice heating. *International Journal of Food Engineering*. 2 (1), 36-41.
- Fazaeli, M., Hojjatpanah, G. & Emam-Djomeh, Z. (2013). Effects of heating method and conditions on the evaporation rate and quality attributes of black mulberry (*Morus nigra*) juice concentrate. *Journal of Food Science and Technology*. 50 (1), 35-43.
- Aloqbi, A., Omar, U., Yousr, M., Grace, M., Lila, M. A. & Howell, N. (2016). Antioxidant activity of pomegranate juice and punicalagin. *Scientific Research Publishing. Natural Science*. 8, 235-246.
- Osipova, L. A., Kaprelyants, L. V. & Burdo, O. G. (2007). *Funktsionalnye napitki*. Odessa: «Druk», 288.
- Kaprelyants, L. V. & Iorgachova, K. G. (2003). *Funktsionalni produkti*. Odessa: Druk, 233.
- Arai, S. (2002). Global view on functional foods. Asian perspectives. *British J. Nutrition*. 88 (2.1), 139-143.
- Lucas, J. (2002). EU-funded research in functional foods. *British J. Nutrition*. 88 (2.1), 131-132.

## СТВОРЕННЯ НОВОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ І ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ВИРОБНИЦТВ

10. Milner, J. A. (2002). EU-funded research in functional foods. *British J. Nutrition*. 88 (2.1), 152-158.
11. Roberfroid, M. B. (2002). Global view on functional foods: European perspectives. *British J. Nutrition*. 88 (2.1), 133-138.
12. Burdo, O. G. (2013). Pischevyie nanoenergotehnologii [Food nanotechnologies]. *Herson: Grin*, 294.
13. Burdo, O. G. (2005). Nanoscale effects in food-production technologies. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 78(1), 90-96.
14. Burdo, O. G., Terziev, S. G. & Levtrinskaya, J. O. (2015). Energetics of Eco-Industry of Food Concentrates Production. *Problemele energeticii regionale, Chisinau*, 2 (28), 69-79.
15. Burdo, O. G., Burdo, A. K., Sirotyuk, I. V. & Pur, D. R. (2017). Tehnologii selektivnogo podvoda energii pri vyiparivanii pischevyih rastvorov. *Problemele energeticii regionale, Chisinau*, 1 (33), 100-109.

Cite as

Застосування електромагнітних джерел енергії в інноваційних технологіях переробки харчової сировини / Бурдо О. Г. та ін. // *Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій*. Одеса, 2017. Т. 81, вип. 2. С. 119 — 125.

Отримано в редакцію 22.09.2017

Прийнято до друку 30.10.2017

Received 22.09.2017

Approved 30.10.2017

УДК 536.24:631.371

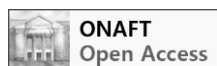
## ЕКОНОМІЯ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ WATER SAVING IN INDUSTRIAL BIOGAS INSTALLATION PROCESSES

Ткаченко С. Й., д-р техн. наук, професор, Іщенко К. О., аспірант  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця  
Tkachenko S. I., Ishchenko K. O.  
Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Анотація.** Мета статті розробити рекомендації щодо підвищення енергоефективності і зменшення техногенного навантаження біогазової установки на навколишнє середовище.

Із збільшенням уваги до раціонального споживання свіжої води, як наслідок знижується її споживання, стічні води переробних та очисних підприємств стають більш концентрованими за умов зменшення їх загальної кількості. Для підприємств очищення стічних вод представляє серйозну проблему. Усе частіше перед підприємствами постають проблеми пошуку ефективних, надійних в експлуатації, та таких, що гарантують стабільну і високу якість систем очищення стічних вод. Систему очищення характеризує ряд критеріїв: економічних, екологічних, енергетичних та соціальних. Економія свіжої води є проблемою, яка частково впливає на всі перераховані критерії якості.

У процесі дослідження висунута гіпотеза щодо використання рідкої фази, що утворилась після сепарації відпрацьованого у біореакторі субстрату для підготовки свіжого субстрату для подачі в біореактор.

Проаналізована біогазова технологія з розділенням відпрацьованого субстрату на тверду і рідку фази. Запропоновано і досліджено метод часткового заміщення води рідкою фазою в процесі приготування субстрату. Сформульовані спрощені рівняння матеріального балансу: формування свіжого субстрату з використанням гною і води, розділення відпрацьованого субстрату на тверду та рідку фази, формування свіжого субстрату з використанням гною, води та рідкої фази.

Гіпотеза піддана аналізу з позицій можливості її застосування для створення сучасних біогазових технологій. Для цього використана доступна інформація щодо факторів, що впливають на процес метанового зброджування.