

при застосуванні гідроциклону для відокремлення насіння від рідини з легкими завислими частинками (шкіркою). Дослідження будуть продовжені.

### Література

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 1971. 784 с.
2. Боголюбовский С.Д. Исследование работы гидроциклонов и их совершенствование. Экспресс-информация. Зарубежный опыт. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. 1986. 6 с.
3. Виноградов В.А. Оборудование винодельческих заводов. Симферополь: Таврида, 2002. Т. 1. 416 с.
4. Зайчик Ц.Р., Литвинов А.К., Казначеева О.А. Применение гидроциклонов в виноделии // М.: ЦНИИТЭИПищепром. 1978. № 8. С. 1-5.
5. Литвинов А.К. Исследование работы гидроциклонов при осветлении виноматериалов: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.14 «Машины и аппараты пищевых производств» / А.К. Литвинов. М. 1980. 25 с.
6. Chiarificatori e dekanter nelle cantine vinicole. Italia. Milano.:1983. 40 с.
7. Системы и технологические процессы от ГЕА Вестфалия Сепаратор для виноделия. Каталог концерна GEA GROUP. М.: ООО «ГЕА Вестфалия Сепаратор Си Ай Эс». 2013. 66 с.
8. Ковалевский К.А. Гидроциклон экстрактора РЗ-ВЭА. // Садоводство. Виноградарство и виноделие Молдавии. 1981. № 6. С. 41-42.
9. Виноградов В.А., Шанин А.Д., Ковалевский К.А., Мамай О.И. Комплексная технология переработки дрожжевых осадков и нестандартного плодово-ягодного сырья // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2012. № 1. С. 32-34.

### References

1. Kasatkyn, A.H. (1971) Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii. M.: Khimiia. 784.
2. Boholiubskiy, S.D. (1986) Yssledovanie raboty hydrotsyklonov i ikh sovershenstvovanie. Ekspress-informatsiia. Zarubezhnyi opyt. M.: TsINTIKhIMNEFTEMASH. 6.
3. Vinogradov, V.A. (2002) Oborudovanie vinodelcheskikh zavodov. Simferopol: Tavrida. 1, 416.
4. Zaichik, Ts.R., Litvinov, A.K., Kaznacheeva, O.A. (1978) Primenenie hidrotsiklonov v vinodelii. M.: TsNIITEIPishcheprom. 8, 1-5.
5. Litvinov, A.K. (1980) Issledovanie raboty hidrotsiklonov pri osvetlenii vinomaterialov: avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.02.14 «Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv». A.K. Litvinov. M. 25.
6. Chiarificatori e dekanter nelle cantine vinicole. Italia. Milano.:1983. 40.
7. Sistemi i tekhnologicheskie protsessy ot HEA Vestfaliia Separator dlia vinodeliia. Kataloh kontserna GEA GROUP. M.: OOO «HEA Vestfaliia Separator Sy Ai Es». 2013. 66.
8. Kovalevskii, K.A. (1981) Hidrotsiklon ekstraktora R3-VEA. Sadovodstvo. Vinogradarstvo i vinodelie Moldavii. 6, 41-42.
9. Vinogradov, V.A., Shanin, A.D., Kovalevskii, K.A., Mamai, O.I. (2012) Kompleksnaia tekhnologhiia pererabotki drozhzhevykh osadkov i nestandartnoho plodovo-iahodnoho syria // Maharach. Vinogradarstvo i vinodelie. 1, 32-34.

Отримано в редакцію 31.05.2018  
Прийнято до друку 30.06.2018

Received 31.05.2018  
Approved 30.06.2018

УДК 663.933.061- 027.332:537-962

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1020>

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ КОНЦЕНТРУВАННЯ ХАРЧОВИХ РОЗЧИНІВ ТА ЕКСТРАКТІВ У МІКРОХВИЛЬОВОМУ ВАКУУМ-ВИПАРНОМУ АПАРАТІ

**Ружицька Н.В., к.т.н., асистент,  
Різниченко Т.А., аспірант, Войтенко О.К., к.т.н., доцент  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса**

***Анотація.** Для інтенсифікації процесу вакуум-випарювання запропоновано забезпечити рівномірність енергопідведення і виключити проміжний теплоносій за рахунок використання мікрохвильових технологій. При мікрохвильовому підведенні енергія надходить безпосередньо до молекул води в продукті, осередки пароутворення виникають у всьому об'ємі і виконують функцію гріючої поверхні.*

*В результаті експериментального моделювання процесу мікрохвильового вакуум-випарювання розчинів цукру одержано коефіцієнти критеріального рівняння процесу.*

*Наведено методику розрахунку процесу вакуум-випарювання в умовах дії мікрохвильового поля. В основі методики розрахунку критеріальне рівняння процесу випарювання в умовах вакууму та мікрохвильового енергопідведення, змінними якого є число енергетичної дії, безрозмірний параметр площі дзеркала продукту та безрозмірний тиск. Алгоритм включає розрахунки теплофізичних властивостей продукту, геометричних характеристик ємності, швидкості видалення вологи, поточну концентрацію сухих речовин у розчині, необхідну тривалість процесу, витрати енергії та економічні характеристики. Цикли розрахунку повторюються поки концентрація розчину в апараті сягне заданого для кінцевого продукту значення.*

Наведено результати перевірки запропонованої методики для розчинів цукру, кави, стевії. Встановлено, що відносна похибка для визначеної за алгоритмом швидкості видалення вологи відносно експерименту для розчинів цукру, стевії та кави складає 0,2...12 %.

На основі розробленого мікрохвильового вакуум-випарного апарату запропоновано технологію одержання рідкого концентрату стевії – природного цукрозамінника. Екстракт стевії, який направляється на концентрування, одержується у мікрохвильовому екстракторі, а концентрація сухих речовин у кінцевому продукті - близько 12 %.

**Ключові слова:** мікрохвильове поле, вакуум-випарні апарати, цукрові розчини, стевія.

## METHOD OF CALCULATION FOOD SOLUTIONS AND EXTRACTS CONCENTRATION PROCESS IN MICROWAVE VACUUM EVAPORATOR

Ruzhytska N.V., Ph.D. in Tech.Sci., Riznychenko T.A., postgraduate stud.,  
Voytenko A.K., Ph.D. in Tech.Sci., associate prof.  
Odessa National Academy of Food Technoogies, Odessa, Ukraine

**Abstract.** For vacuum-vaporization process intensification it is offered to provide energy supply uniformity and exclude intermediate heat medium by using of microwave technologies. While microwave supply energy comes directly to water molecules in product, vaporization centers appear in whole volume and perform function of heating surface.

As a result of experimental modeling of sugar solutions microwave vacuum vaporization the constants of criterion equation are received.

The method of calculation of vacuum vaporization under microwave action is given. The base of the calculation method is criterion equation of vaporization under vacuum and microwave energy supply conditions, which variables are energy action criterion, dimensionless parameter of product mirror area and dimensionless pressure. The algorithm includes calculations of product thermophysical properties, vessel geometrical characteristics, water removing velocity, current dry matter concentration, necessary process duration, energy consumption and economical characteristics. Calculation cycles repeat until solution concentration in apparatus reaches the value prescribed for the final product.

The results of verification of proposed method for sugar solutions, coffe and stevia extracts are given. It is defined, that relative error for calculated water removing velocity relatively to experiment for sugar, coffee and stevia solutions is 0,2...12 %.

On the base of elaborated microwave vacuum evaporation apparatus a technology of production liquid stevia concentrate, a natural sugar substitute, is offered. Stevia extract that is being concentrated is received in microwave extractor. Dry matter concentration in final product is about 12 %.

**Keywords:** microwave field, vacuum vaporizer, sugar solutions, stevia.

**Вступ.** Концентровані рідкі харчові продукти та екстракти смакових, ароматичних і біологічно активних речовин з дорогої рослинної сировини, які одержують шляхом випарювання, мають тривалі терміни зберігання, зручні для транспортування та використання як у харчових і фармацевтичних виробництвах, так і в побуті.

В процесі концентрування екстрактів випарюванням їхня теплопровідність зі збільшенням вмісту сухих речовин зменшується. За рахунок цього у більшості існуючих випарних апаратів не забезпечується рівномірне підведення енергії до продукту, що веде до його термічного пошкодження, а також знижує енергетичну ефективність процесу [1]. При мікрохвильовому підведенні енергія надходить безпосередньо до молекул води, або полярного розчинника в продукті, оскільки сухі речовини, як правило, прозорі для радіохвиль. Осередки пароутворення виникають у всьому об'ємі і виконують функцію гріючої поверхні. Таким чином площа поверхні теплообміну повинна збільшуватись на порядки. Реалізується схема підведення енергії, яка показала високу ефективність у технологіях сушіння [2, 3].

**Експериментальні дослідження.** При експериментальному моделюванні мікрохвильової вакуум-випарки було проведено дослідження для концентрування екстрактів стевії *Stevia Rebaudiana* – природного цукрозамінника, кавового екстракту, розчинів цукру і NaCl. Експерименти проводились під тиском 0,009...0,011 МПа, температура процесу не перевищувала 50 °С.

Відмічено, що у всіх дослідях витрати конденсату протягом 10...20 хвилин сягали постійних значень, тобто апарат виходить на стаціонарний режим.

Узагальненням експериментальних даних одержано критеріальне рівняння процесу концентрування харчових рідин у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті (1), на основі якого розроблено методику розрахунку відповідного обладнання.

$$Bu = 4,33 \cdot F^{-2,00} \cdot \left( \frac{P}{P_0} \right)^{0,12} \quad (1)$$

Задача проектування мікрохвильового вакуум-випарного апарату пов'язана з розрахунком витрат вторинної пари в умовах електрофізичного підведення енергії до продукту. Це дає можливість визначити поточні та кінцеву концентрації сухих речовин у продукті та визначити ефективну тривалість процесу. Основними незалежними вхідними параметрами є початковий стан продукту або розчину (об'єм, початкова концентрація сухих речовин, кінцева концентрація сухих речовин, якої необхідно досягти, температура), регульовані параметри установки (геометричні розміри вакуум-камери, тиск у камері, питома потужність) та параметри навколишнього середовища (атмосферний тиск). Змінними параметрами будуть поточні концентрації сухих речовин, температура процесу, рівень продукту в апараті.

В результаті розрахунку отримаємо наступні дані:

- Поточні концентрації сухих речовин у продукті;
- Потужність НВЧ-генератора, що необхідна для протікання процесу
- Тривалість процесу
- Економічні та енергетичні витрати.

Особливу увагу варто приділити розрахунку швидкості видалення вологи, або витратам конденсату. Метою розрахунку є визначення витрат конденсату  $v$ , м<sup>3</sup>/с. У розрахунку  $v$  враховується вплив площі дзеркала продукту  $S$  у вигляді безрозмірного комплексу  $F$ .

Оскільки ємність для продукту має форму горизонтально розташованого циліндру, параметри  $S$  та рівень продукту  $h$  визначаються за допомогою центрального кута  $\alpha$ , який розраховується за відношенням площі дна ємності до змоченої продуктом поверхні дна ( $BC\alpha$ ), радіусу основи ємності  $R$  та довжини ємності  $L$ .

Безрозмірний тиск у критеріальному рівнянні виражений через безрозмірне відношення тиску в апараті  $P$  до атмосферного тиску  $P_0$ . З числа енергетичної дії  $Bu$ , за відомих корисної потужності мікрохвильового поля  $N_k$ , густини конденсату  $\rho_k$  та питомої теплоти пароутворення за даного тиску  $r_k$ , обчислюються витрати конденсату. Блок схему розрахунку наведено на рис. 1.

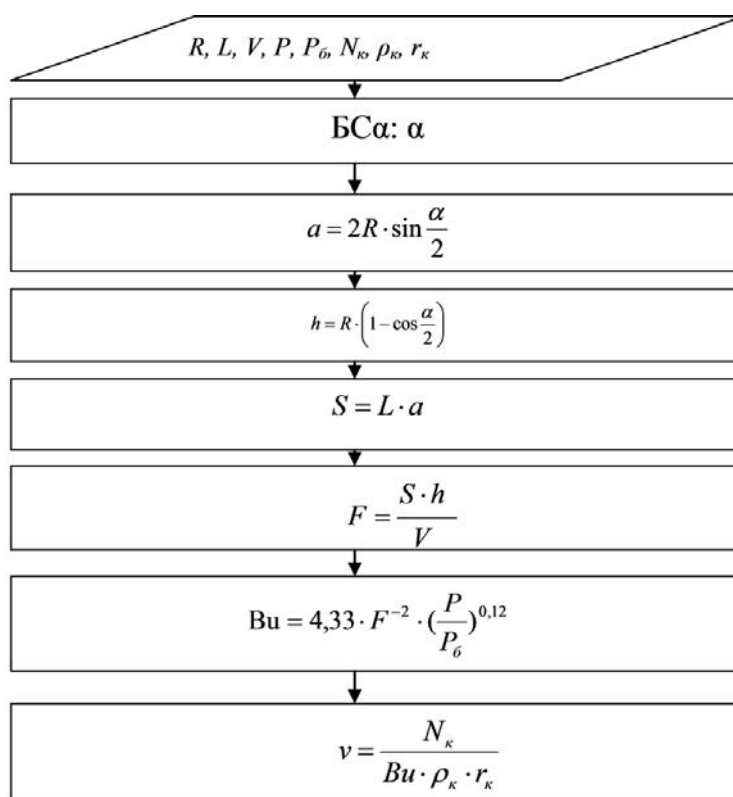


Рис. 1. Блок схема розрахунку швидкості видалення вологи (БСШВВ).

Наведена вище схема розрахунку швидкості видалення вологи, а також інших окремих параметрів процесу випарювання та економічних показників складають загальну блок-схему розрахунку мікрохвильового вакуум-випарного апарату.

Алгоритм є циклічним, розрахунок ведеться до тих пір, поки концентрація розчину не сягне заданої концентрації кінцевого продукту. Виходячи с часу, який необхідний для того, щоб концентрація розчину сягла заданого значення та підведеної потужності, можна розрахувати загальні витрати енергії, та економічні показники, такі як вартість спожитої енергії  $E$ , вартість матеріалів для виготовлення випарної ємності та мікрохвильової камери апарату  $M$ .

Скорочений алгоритм розрахунку апарату з ємністю у формі циліндру наведено на рис. 2.

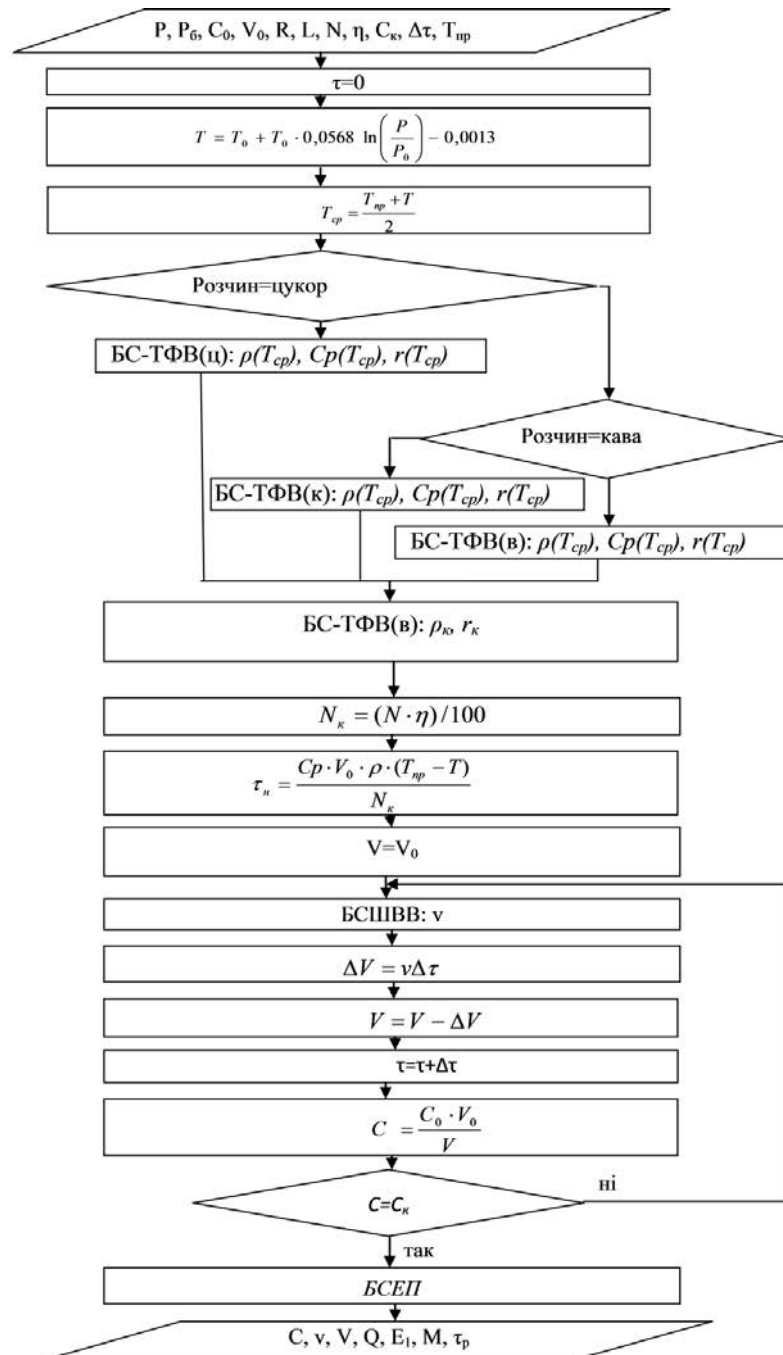
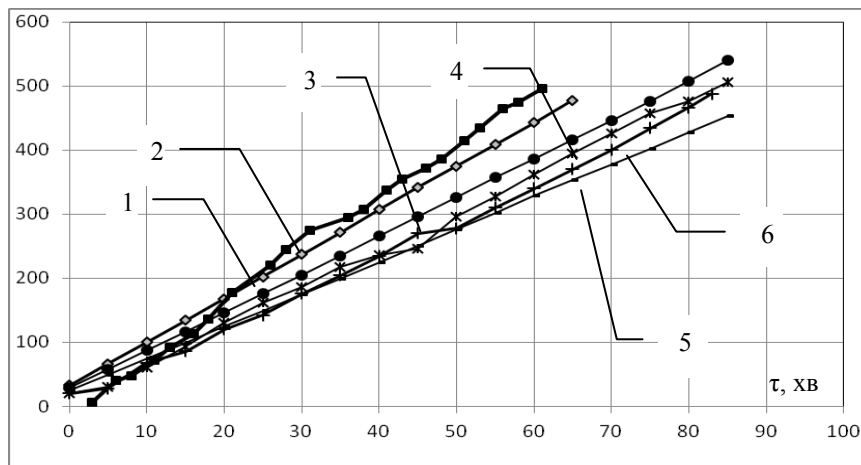


Рис.2. Скорочена блок-схема розрахунку процесу випарювання у мікрохвильовому вакуум-випарному апараті.

Де  $C_0, V_0$  – початкові концентрація та об’єм розчину,  $C$  – поточна концентрація сухих речовин у розчині,  $C_k$  – кінцева концентрація сухих речовин у розчині, яку необхідно одержати,  $\eta$  – ККД мікрохвильової установки. За температуру продукту  $T$  в апараті прийнято температуру кипіння розчинника за даного тиску,  $T_{np}$  – початкова температура продукту,  $T_0$  – базова температура, яка дорівнює 273 К,  $P_0$  – тиск, при якому кипить вода за температури  $T_0$ ,  $\tau$  – час роботи апарату,  $C$  – поточна концентрація сухих речовин у розчині,  $C_k$  – кінцева концентрація сухих речовин у розчині, яку необхідно одержати. БС-ТФВ(ц), БС-ТФВ(к), БС-ТФВ(в) – блок-схеми розрахунку теплофізичних властивостей цукру, кавового екстракту та води, БСЕП – блок-схема розрахунку економічних параметрів процесу та установки.

Для оцінки адекватності методики розрахунку, проведено порівняння результатів розрахунку за алгоритмом з експериментальними даними для цукрових розчинів та екстракту кави (рис. 3).

$$V_k \cdot 10^6, \text{ м}^3$$

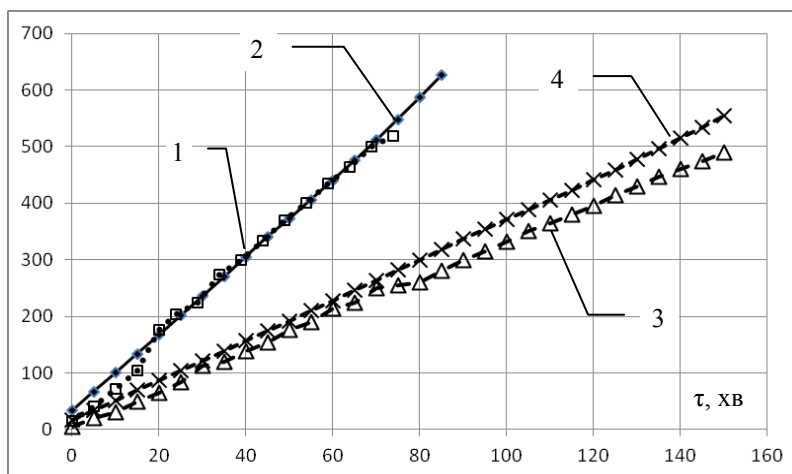


1 – цукровий розчин, 570 Вт/кг, експеримент; 2 – цукровий розчин, 570 Вт/кг, розрахунок; 3 – екстракт кави, 495 Вт/кг, розрахунок; 4 – екстракт кави, 495 Вт/кг, експеримент; 5 – цукровий розчин, 296 Вт/кг, експеримент; 6 – цукровий розчин, 296 Вт/кг, розрахунок

**Рис. 3. Порівняння об’єму конденсату при концентруванні розчинів.**

Відносна похибка для значень швидкості видалення вологи складала від 1,6 до 12% і в середньому складає 7,6%. Таким чином, модель та методика можуть бути використані для розрахунку відповідного обладнання. Також за запропонованою методикою розрахунку проведено порівняння експериментальних та розрахункових даних для процесу концентрування екстракту стевії (рис. 4).

$$V_k \cdot 10^6, \text{ м}^3$$



1 – 570 Вт/кг, експеримент, 2 – 570 Вт/кг, розрахунок, 3 – 296 Вт/кг, експеримент, 4 – 296 Вт/кг, розрахунок

**Рис. 4. Порівняння об’єму конденсату при концентруванні екстракту стевії.**

**Обговорення результатів.** Відносна похибка для значень швидкості видалення вологи складала від 0,2 до 12 %. Таким чином, модель та методика можуть бути використані для розрахунку відповідного обладнання.



**Рис. 5. Концентрат стевії.**

На основі розробленого вакуум-випарного апарату пропонується лінія для виробництва концентрованого екстракту стевії, основним обладнанням якої є мікрохвильовий екстрактор періодичної дії [4], у якому відбувається екстрагування з листя стевії водою при температурі 40...45 °С, та мікрохвильовий вакуум-випарний апарат.

Було одержано зразки екстракту стевії при температурі 40...45 °С, гідромодулях 1:25, 1:50 в мікрохвильовому полі. Тривалість процесу екстрагування не перевищувала 40 хвилин. При цьому основна маса екстрактивних речовин була вилучена протягом перших 20 хвилин. Вдалося вилучити 44...46% сухої маси листя.

Концентрування проводилось в умовах тиску 0,011 МПа, питоме енергопідведення складало 296 Вт/кг. В результаті одержано концентрат стевії з концентрацією сухих речовин 11,6 %. Такого екстракту достатньо 3...4 краплі на 1 чашку чаю або кави (рис. 5).

**Висновки.** Визначальний вплив на інтенсивність випарювання чинять потужність електромагнітного поля та площа вільної поверхні (дзеркала), з якої видалається утворена пара. Розроблена на основі критеріального рівняння процесу випарювання в умовах вакууму та мікрохвильового підведення енергії методика розрахунку може бути використана при проектуванні відповідного обладнання. Порівняння розрахункових та експериментальних даних підтвердило адекватність запропонованої моделі та методики розрахунку.

#### Література

1. Бурдо О.Г. Исследование вакуум-выпарных аппаратов нового типа / Бурдо О.Г., Ружицкая Н.В., Макаренко Т.А., Малашевич С.А. // Научные работы ОНАХТ. – Вып. 45, Т.2. – Одеса, 2014. – С.212–214
2. Бурдо О.Г. Эволюция сушильных установок. – Одеса: «Полиграф», 2010. – 368 с.
3. Бурдо О.Г. Исследование модуля ленточной сушилки растительного сырья с комбинированным электромагнитным подводом энергии / Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Ружицкая Н.В.// Труды IV Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов СЭТТ-2011)». – Т.1, Москва, 2011. – С. 422 – 426.
4. Капетула С.М. Кинетика экстрагування олії із насіння амаранту в мікрохвильовому полі – Авореф. дис. канд. техн. наук. Одеса, 2012.

#### References

1. Burdo O.G., Ruzhickaya N.V., Makarenko T.A., Malashevich S.A. (2014). Issledovanie vakuum-vyiparnykh apparatov novogo tipa [The research of new type vacuum-evaporating apparatuses]. Naukovi pratsi ONAHT, 45, 2, 212 – 214 [in Russian].
2. Burdo O.G., Rybina O.B. (2010). Processy inaktivatsii mikroorganizmov v mikrovolnovom pole [Processes of inactivation of microorganisms in microwave field]. Odessa: Poligraf [in Russian].
3. Burdo O.G., Ryashko G.M. (2007). Ekstragirovanie v sisteme «kofe - voda» [Extraction in “coffee-water” system], Odessa: TES [in Russian].
4. Kapetula S.M. (2012). Kinetyka ekstraguvannya oliyi iz nasinnya amarantu v mikroxyv'lovomu poli [Kinetics of amaranth seeds oil in microwave field]. Odessa: ONAFT [in Ukrainian].

Отримано в редакцію 11.05.2018  
Прийнято до друку 30.06.2018

Received 11.05.2018  
Approved 30.06.2018

УДК 664.723.047

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/swonaft.v82i1.1021>

## ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Бурдо О.Г.<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Зыков А.В.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., Мордынский В.П.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
Светличный П.И.<sup>1</sup>, к.т.н., доц., Пур Д.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

<sup>2</sup>Компания D.R.P. Group, г. Тегеран, Иран

**Аннотация.** Удаление влаги из пищевого сырья является одной из ключевых и наиболее энергозатратных задач пищевых технологий. Наиболее распространенными технологиями обезвоживания являются выпаривание и сушка. При этом энергетический КПД процесса сушки в 2 и более раз меньше