

ISSN 0453-8307

# ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ

*XVIII ВСЕУКРАЇНСЬКА  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ  
МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ  
(13 квітня 2018 р)*

Збірник наукових праць



ОДЕСА 2018

УДК 547; 37.022

Еколого-енергетичні проблеми сучасності / Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Одеса, 13 квітня 2018 р. – Одеса: Видавництво ОНАХТ, 2018. – 90 с.

Збірник містить наукові праці учасників конференції за напрямками: екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування; теплоенергетика, теплофізика, наноматеріали та нанотехнології.

Матеріали подано українською, російською та англійською мовами.

ISSN 0453-8307

© Одеська національна академія харчових технологій

## СУШКА ЗЕРНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГИИ МИКРОВОЛНОВОГО ПОЛЯ

Михайлова О. В.

Одесская национальная академия пищевых технологий

В последние три десятилетия наблюдается взрывной рост исследований в поиске эффективных технологий сушки. Этот рост стимулирован энергетическим кризисом и увеличением потребительского спроса на более качественную продукцию [1, 2]. Основой для организации сушки материалов является нагрев, и этот процесс, наиболее распространенный промышленности за последние 50 лет [3], в то же время наименее контролируемый. В операциях сушки диэлектрический нагрев от микроволнового поля часто имеет некоторые преимущества, включающие высокую энергетическую эффективность [15]. В [16] отмечается, что микроволновые технологии относятся к разряду энергосберегающих в силу их естественной специфики, однако для создания действующего оборудования необходимо проведение комплексных исследований с целью определения условий процесса, при которых будет достигаться высокая скорость сушки в сочетании с энергетической эффективностью, обеспечиваться равномерность поля внутри камеры, безаварийность и безопасность работы. Авторы [17] отмечают, что сушку в микроволновом поле целесообразно вести при значениях влагосодержания на уровне 20%, что в основном соответствует влагосодержанию зерновых культур на входе в сушильный аппарат. Имеющиеся на настоящее время данные позволяют рекомендовать микроволновые технологии к разработке. Однако, как показывает современная практика, попытки создания нового оборудования, в частности, для микроволновой сушки, и его дальнейшее использование без предварительного исследования кинетики процесса не приводили к желаемому результату. Основой для конструирования новых установок являются экспериментально определенные требования к режимным параметрам процесса и условиями. Целью работы являлось определение эффективности МВ сушки при пульсирующем и непрерывном подводе энергии.

При пульсирующем режиме периоды микроволнового подвода чередуются с паузами. Изучается влияние длительности включения магнетрона  $\tau_{MB}$  и пауз  $\tau_n$  на закономерности изменения температур и влагосодержания материала, скорость сушки и удельные энергозатраты. Проводятся 3 серии опытов, различающихся длительностью микроволнового подвода. Каждая серия включает 4-5 опытов с разной длительностью пауз  $\tau_n = var$  при  $\tau_{MB} = idem$ . Каждый опыт заканчивается паузой. Количество включений магнетрона и количество пауз во всех опытах одинаково:  $n_{MB} = idem$ ,  $n_n = idem$ .

В опытах измеряют мощность магнетрона, начальные и конечные массы ( $m_0, m_k$ ) и температуры ( $t_0, t_k$ ), продолжительность и количество включений магнетрона ( $\tau_{MB}, n_{MB}$ ) и пауз ( $\tau_n, n_n$ ). При обработке данных определяют следующие величины:

- убыль влаги:  $\Delta m = m_0 - m_k$ , кг; начальное и конечное влагосодержание материала:

$$u_0 = \frac{m_0}{m_{сух}}, \quad u_k = \frac{m_k}{m_{сух}}, \quad \text{кг/кг} \quad (1)$$

где  $m_{сух}$  - масса абсолютно сухого материала,

- общую продолжительность процесса сушки

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{MB} \cdot n_{MB} + \tau_n \cdot n_n, \quad \text{с} \quad (2)$$

- скорость сушки:

$$N = \frac{u_0 - u_k}{\tau_\Sigma}, \text{ с}^{-1} \quad (3)$$

- суммарные энергозатраты:

$$Q_\Sigma = N_c \cdot \tau_{MB} \cdot n_{MB} \quad (4)$$

- полезный тепловой поток, израсходованный на испарение влаги и нагрев материала:

$$Q_{\text{пол}} = \Delta m \cdot r + \frac{m_0 + m_k}{2} c_{\text{вл.м}} (t_k - t_0), \text{ Дж} \quad (5)$$

где  $c_{\text{вл.м}}$  - теплоемкость влажного материала, Дж/(кгК)

При непрерывном микроволновом подводе проводят несколько опытов при  $N_c = idem$ ,  $\tau_{MB} = var$ . В каждом опыте измеряют  $m_0, m_k, t_0, t_k, \tau_{MB}$ . Обработку данных ведут по выше-приведенным формулам.

Расчет затрат энергии на единицу массы удаленной влаги проводился по формуле:  $Q = N_c \cdot \tau_m / \Delta m$ , где  $\tau_m$  - полное время работы магнетрона,  $\Delta m$  - масса удаленной из зерна влаги,  $N_c$  - мощность магнетрона. Во всех опытах начальное влагосодержание зерна составляло 20%, масса образца – 100 г, толщина слоя – 57,5 мм, мощность магнетрона – 600 Вт. Получено, что наибольшая скорость сушки соответствует непрерывному МВ нагреву. По сравнению с непрерывным МВ подводом продолжительностью 30 с, при переходе к пульсирующему режиму наблюдается резкое снижение скорости сушки, после чего при увеличении длительности пауз падение скорости сушки становится незначительным. Получено, что увеличение продолжительности МВ воздействия приводит к увеличению скорости сушки в 1,6 раз, и снижению удельных затрат энергии – в 1,7 раза. Температуры слоя при этом различались незначительно (70,3 °С и 73,7 °С). Отличие наблюдалось в длительности опытов: 90 с - 3 включения магнетрона по 10 с, и 180 с - 6 включений магнетрона по 10 с. Результаты исследований показали, что при пульсирующей МВ сушке основное количество влаги удаляется в периоды подвода МВ энергии, а паузы позволяют предотвратить перегрев материала.

#### Информационные источники

1. Рушиц, А. А. Применение СВЧ-нагрева в пищевой промышленности и общественном питании / А.А. Рушиц, Е.И. Щербакова // Вестн. ЮУрГУ. Серия "Пищевые и биотехнологии". – 2014. – Т. 2. – № 1. – С. 9-15.
2. Regier M., Mikrowellen- und Mikrowellen-Vakuumtrocknung von Lebensmitteln / M. Regier, K. Knörzer, U. Erle // Chemie Ingenieur Technik. – 2004. – Vol. 75. – P. 424-432.
3. Демьянчук, Б. А. Принципы и применения микроволнового нагрева / Б.А. Демьянчук. – О.: Черноморье, 2004. – 520 с.
4. Brodie, G. Microwave and Radio-Frequency Technologies in Agriculture. An Introduction for Agriculturalists and Engineers / G. Brodie, M. V. Jacob, P. Farrell; edited by M. Golachowska. Warsaw-Berlin: Published by De Gruyter, 2015. – 396 p.
5. Feng, H. Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling / H. Feng, Y. Y. J. Tang // Food Engineering Reviews. – 2012. – V. 4, №2. P. 89–106.
6. Advances in Agricultural Science and Technology. Volume 1. Advances in Bioprocessing Engineering / Editors H. Yang, J. Tang. London: World Scientific, 2002. – 172 p.

*Научный руководитель: д.т.н., проф. Бошкова И. Л.  
Одесская национальная академия пищевых технологий*

## ГЛОСАРІЙ

Арнаут О.І. ....	14	Носенко К. В. ....	33
Балабан И.О. ....	34	Павлів Л.В. ....	73
Биленко Н.А. ....	77, 78	Платонов С.П. ....	71
Борисов В.О. ....	75	Постолатій М.О. ....	9
Брусенец В.Р. ....	54	Руссу Д. ....	15
Варвонець А. ....	87	Сагала Т.А. ....	71
Ганыч А. И. ....	23	Сагдєєва О.А. ....	21
Гарбуз А.С. ....	43	Соколова В.І. ....	20
Георгієш Є.М. ....	76	Стаднійчук М.Ю. ....	11
Георгієш К.В. ....	76	Столевич Т.Б. ....	24, 46
Григор'єв О. А. ....	62	Струнова О.С. ....	26
Гринчук В. В. ....	5	Теплякова И. В. ....	50
Дерун А.В. ....	56	Терземан В. В. ....	23
Жалівців С.І. ....	30	Тумбуркат К.Ф. ....	75
Заика Е.А. ....	46	Фарина А. М. ....	28
Кірюхіна Д.В. ....	36	Филипенко А.А. ....	68
Клошка Н.В. ....	37	Філіпенко О.О. ....	65
Ключник Н.Ю. ....	32	Флейшер Г. Ю. ....	43
Коломієць О.В. ....	39, 41	Фудулей Н.О. ....	53
Крисенко К.Ю. ....	35	Халак В.Ф. ....	66
Лаврентьев Д. ....	58	Чанхао Ю. ....	3
Ладан А.А. ....	24	Черниш Б.Б. ....	80
Лапіка А.А. ....	39, 41	Яструб К.В. ....	17
Лисянская М.В. ....	51	Bushmanov V. M. ....	48
Лісоводський А.В. ....	55	Mukminov I. I. ....	48
Магурян Н.С. ....	82	Mykoliv S.I. ....	13
Михайлова О. В. ....	60	Khliyev N. ....	45
Наконечна А. В. ....	7	Rudin G. ....	84
Никитин И.Ю. ....	63		

ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ  
ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОСТІ

*XVIII ВСЕУКРАЇНСЬКА  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ  
ТА СТУДЕНТІВ*  
(13 квітня 2018 р)

Збірник наукових праць

Підписано до друку 12.04.2018 р. Формат 60×84 1/16.

Умовн. друк. арк. 4,5.

Надруковано видавничим центром ОНАХТ.  
65039, Одеса, вул. Канатна, 112