

Lazurenko Ruslan, student, Educational-and-research Institute of Food Technology and Business, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Лазуренко Руслан Сергійович, студ., Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Лазуренко Руслан Сергеевич, студ., Учебно-научный институт пищевых технологий и бизнеса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Procenko Oleg, student, Educational-and-research Institute of Food Technology and Business, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Проценко Олег Ігорович, студ., Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

Проценко Олег Игоревич, студ., Учебно-научный институт пищевых технологий и бизнеса, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-56; e-mail: oborud.hduh@gmail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.2367641

УДК 664.8.047.014

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ГАРБУЗА НАСІННЄВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З КОНВЕКТИВНИМ ПІДВЕДЕННЯМ ТЕПЛОТИ

В.М. Пазюк

Під час сушіння насіння гарбуза насіннєвого призначення основну увагу приділяють якісним характеристикам матеріалу, що регламентуються енергією росту та схожості. Для вирішення цього завдання проведено експериментальні дослідження на конвективному сушильному стенді з метою вибору раціонального режиму сушіння. Під час обґрунтування режимів сушіння насіння гарбуза насіннєвого призначення також актуальним стає питання енергетичних витрат на процес, що порівняно із сушінням харчового

© Пазюк В.М., 2018

насіння збільшуються в 1,5 і більше раз. Тому необхідно підібрати такі режими сушіння, за яких зменшаться енергетичні витрати й буде забезпечена висока схожість насіння гарбуза, що практично реалізовано в поданій роботі із застосування ступінчастих режимів сушіння.

Ключові слова: сушіння, кінетика, швидкість сушіння, насіння гарбуза, енергія росту, схожість, режими сушіння.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ СУШКИ СЕМЯН ТЫКВЫ СЕМЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С КОНВЕКТИВНЫМ ПОДВОДОМ ТЕПЛА

В.М. Пазюк

При сушке семян тыквы семенного назначения основное внимание уделяют качественным характеристикам материала, таким как энергия роста и всхожесть. Для решения этой задачи проведены экспериментальные исследования на конвективном сушильном стенде с целью выбора рационального режима сушки. При обосновании режимов сушки семян тыквы семенного назначения играют роль также высокие энергетические затраты на процесс, что больше в 1,5 раза по сравнению с семенами пищевого назначения. Поэтому необходимо выбрать такие режимы сушки, при которых уменьшатся энергозатраты и будет обеспечена высокая всхожесть семян тыквы, что практически реализовано в данной работе через использование ступенчатых режимов сушки.

Ключевые слова: сушка, кинетика, скорость сушки, семена тыквы, энергия роста, всхожесть, режимы сушки.

THE SUBSTANTIATION OF DRYING REGIMES OF SEEDS OF SEED PUMP SEEDS WITH CONVECTIVE HEAT SUPPLY

V. Pazyuk

When drying seeds, pumpkin seeds are focused on the qualitative characteristics of the material, such as energy growth and germination. To solve this problem, experimental studies were carried out on a convective drying stand with the aim of choosing a rational drying regime. When justifying the seed drying regimes of pumpkin seed, the high energy costs for the process also play a role, which is more than 1.5 times as compared with the seeds of food purpose.

Therefore, it is necessary to choose such drying regimes, in which energy consumption will be reduced and high germination of pumpkin seeds will be ensured, which is practically realized in this work through the use of step drying regimes.

An increase in the intensity of drying of pumpkin seeds provides a stepped drying regime of 60/40 °C, a similarity of seeds at 98%, a reduction in the duration of the process 3 times compared with a temperature of 40 °C, which respectively reduces the energy costs of the process.

Experimental and theoretical studies have shown that the drying of seeds in an elementary layer on a convective drying stand takes place during the incident drying rate and has 2 critical points.

Theoretical studies are carried out using the Krasnikov method for finding a generalized drying curve and plotting a generalized drying rate graph that allows analyzing the drying process of pumpkin seeds. The intensity of growth of the given culture justifies the introduction staircase drying mode for 10 days germination sprout length was 61 mm, which is better than other thermal conditions at 3 percent or more.

Keywords: *drying, kinetics, drying speed, pumpkin seeds, energy growth, germination, drying regimes.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Останнім часом посилюється інтерес до насіння гарбуза як цінного продукту з оздоровчими властивостями, що широко застосовується в харчовій та фармацевтичній промисловості. Для збільшення продуктивності цієї культури необхідно мати високі показники якості насіння. Тому стає актуальною розробка раціональних режимів сушіння, а також їх удосконалення з метою зменшення енергетичних витрат.

Необхідно відмітити, що процес сушіння в загальних енергетичних витратах може становити від 70% до 80%, тому режими, отримані в нашій роботі, варто вдосконалювати для зменшення теплових втрат через уведення в процес ступінчастих режимів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою сушіння насіння гарбуза займалися такі закордонні дослідники, як К. Сацілік (K. Sacilik), Е. Акіюл (E. Akyol), Р. Гуїн (R. Guin) Н. Хашім (N. Hashim) та ін. [1–4].

У працях К. Саціліка (K. Sacilik) і Е. Акіюла (E. Akyol) сушіння насіння гарбуза відбувалося на сонці й займало від 24 год до 32 год (залежно від вологості насіння гарбуза) [1; 2].

Р. Гуїн (R. Guin) і Н. Хашімін (N. Hashim) проводили експериментальні дослідження на конвективних сушильних установках за температури теплоносія від 30 °С до 70 °С, тривалість сушіння за температури 70 °С становила 2 год [3; 4].

Мета статті – підвищення енергоефективності сушіння насіння гарбуза через упровадження ступінчастих режимів сушіння.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження із сушіння насіння гарбуза проводилося на конвективному сушильному стенді в діапазоні температур 40...80 °С і швидкості теплоносія 1,5 м/с (рис. 1) [5]. Якісні характеристики насіння гарбуза оброблялися згідно з установленими стандартами [6; 7].

Збільшення температури теплоносія приводить до зменшення тривалості сушіння й схожості насіння гарбуза. За температури

теплоносія 40 °C схожість насіння гарбуза становить 98%. У разі збільшення температури схожість знижується, так за температури 50 °C – 95%, 60 °C – 90%, а за 80 °C – не відбувається пророщування насіння. Характер кривих швидкості сушіння від температури теплоносія не змінюється і проходить у період падаючої швидкості сушіння (рис. 2).

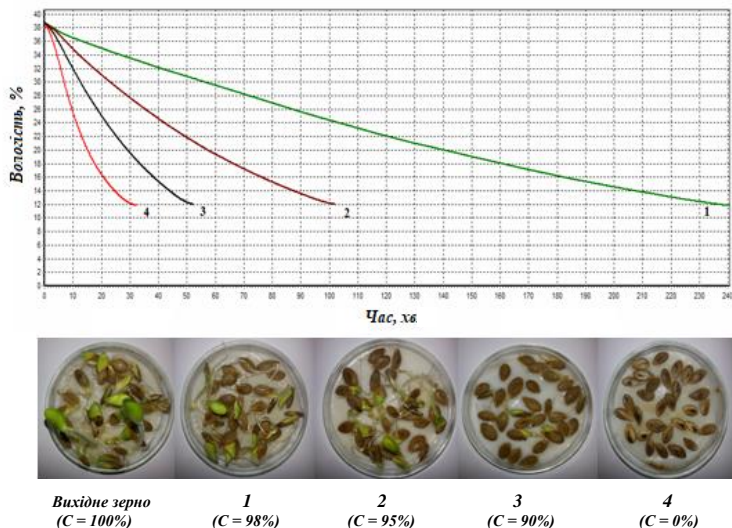


Рис. 1. Кінетика сушіння та схожість насіння гарбуза сорту Стофунтовий від впливу температури теплоносія:
1 – 40 °C; 2 – 50 °C; 3 – 60 °C; 4 – 80 °C

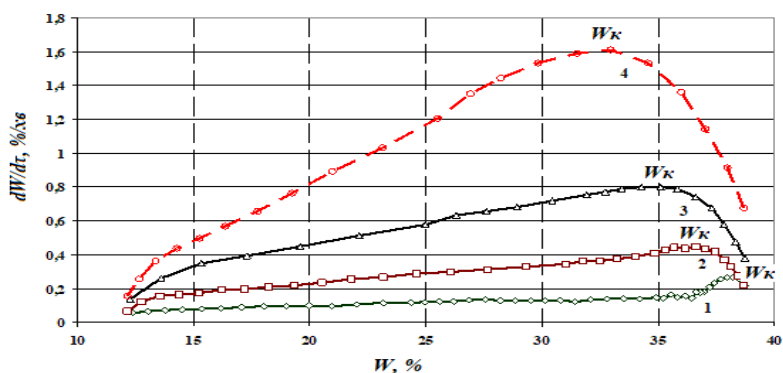


Рис. 2. Криві швидкості сушіння насіння гарбуза від впливу температури теплоносія: $V = 1,5 \text{ м/с}$; $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$:
1 – 40 °C; 2 – 50 °C; 3 – 60 °C; 4 – 80 °C

Інтенсивність сушіння збільшується з максимальним значенням швидкості від 0,3%/хв за 50 °С до 1,6%/хв за 80 °С. Зі збільшенням температури теплоносія також зміщується критична точка W_k в область зміщення вологості матеріалу, що також говорить про інтенсивність проходження процесу.

Важливе значення під час сушіння насіння гарбуза має кінцева температура й тривалість процесу, подано на рис. 3. Нагрівання матеріалу відбувається протягом 5 хв і температура насіння досягає свого кінцевого значення, яке відрізняється від температури сушильного агента на 0,1...0,5 °С. Середньою температурою насіння гарбуза вважається середньоарифметична сума температур на поверхні й у центрі матеріалу.

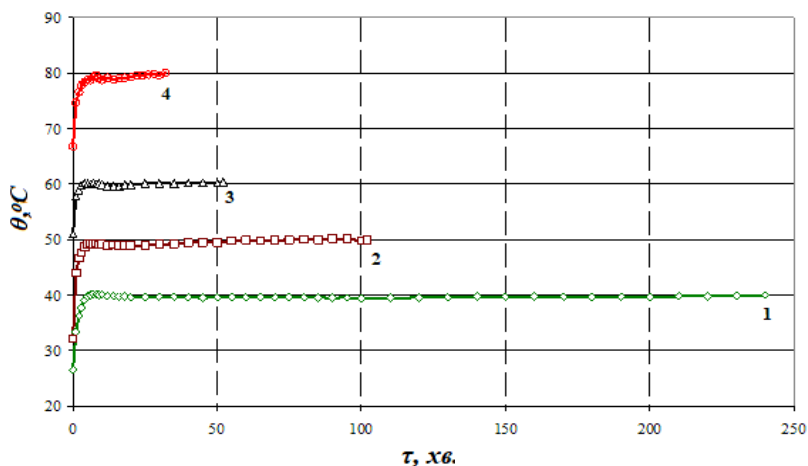


Рис. 3. Зміна середньої температури насіння гарбуза від впливу температури теплоносія: $V = 1,5 \text{ м/с}$; $d = 10 \text{ г/кг с. п.}$:
1 – 40 °С; 2 – 50 °С; 3 – 60 °С; 4 – 80 °С

Теоретичні дослідження проведено з використанням методу В.В. Краснікова для знаходження узагальненої кривої сушіння і побудови графіка узагальненої швидкості сушіння, що дозволяє аналізувати процес сушіння насіння гарбуза [8].

Оперування узагальненим часом сушіння надає дослідженню сушіння узагальненого характеру. Одне й те саме значення можна отримати під час розв'язання великої кількості різних комбінацій максимальної швидкості сушіння N і поточного часу τ .

У математичній формі можна записати в такому вигляді:

$$N_1\tau_1 = N_2\tau_2 = \dots = N_n\tau_n = (N\tau)_W = const \quad (1)$$

де N_1, N_2, \dots, N_n – швидкість сушіння в перший період (за відсутності першого періоду – максимальна швидкість сушіння) за різних режимів;

$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – поточний час сушіння, протягом якого вологість змінюється від початкової вологості W_n до поточної вологості W .

Криві сушіння та швидкості сушіння капілярно-пористих тіл, не дивлячись на різноманіття режимів сушіння, а також відмінність у механізмах перенесення вологи й тепла в широкому діапазоні температур теплоносія, мають в основному однаковий характер. На кривих знаходяться два періоди, другий період ділиться на дві або три частини, виявлені критичні точки W_{K1}, W_{K2} . Відмінність простежується лише в кількісному відношенні. Подібна аналогія спостерігається також під час порівняння кривих сушіння та швидкості сушіння визначеного матеріалу різними методами сушіння, тобто відмінність у режимах і методах сушіння не призводить до змін виду кривих сушіння і швидкості сушіння цього матеріалу (рис. 4).

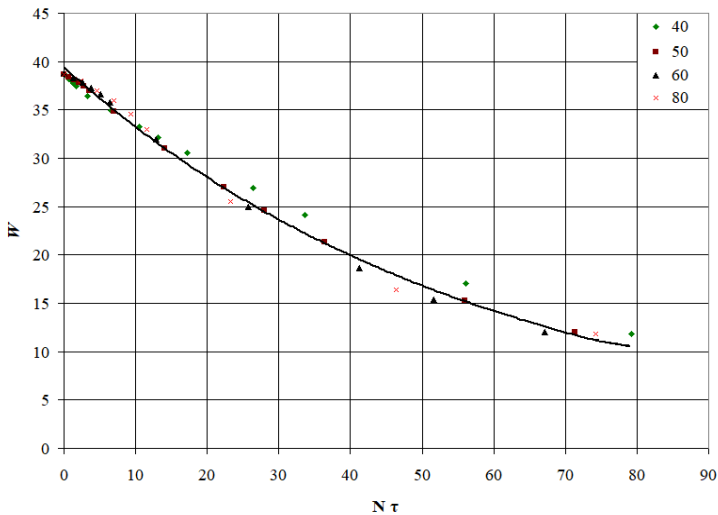


Рис. 4. Узагальнені криві сушіння насіння гарбуза від впливу температури теплоносія за методом В.В. Краснікова

Із рис. 4 бачимо, що за високої вологості матеріалу точки, які відповідають різним режимам сушіння, розташовуються поблизу узагальненої кривої сушіння. Зі зменшенням поточної вологості розкид точок збільшується, але знаходиться в допустимих межах.

Для отримання узагальненої кривої швидкості сушіння насіння гарбуза проводимо графічне диференціювання узагальненої кривої сушіння, що являє собою плавну зігнуту лінію (рис. 5). Узагальнена крива швидкості сушіння насіння гарбуза за характером схожа на криві швидкості сушіння, отримані експериментальним шляхом. Також у ній не спостерігається період постійної швидкості сушіння, а сушіння проходить у періоді падаючої швидкості сушіння. Максимальна швидкість сушіння на поданій узагальненій кривій відповідає 1,58%/хв.

Для математичного опису процесу сушіння насіння гарбуза криві кінетики сушіння необхідно подати узагальнену криву швидкості сушіння у вигляді ламаної лінії. Із цією метою будуємо узагальнену криву швидкості сушіння в напівлогарифмічній системі координат (рис. 6).

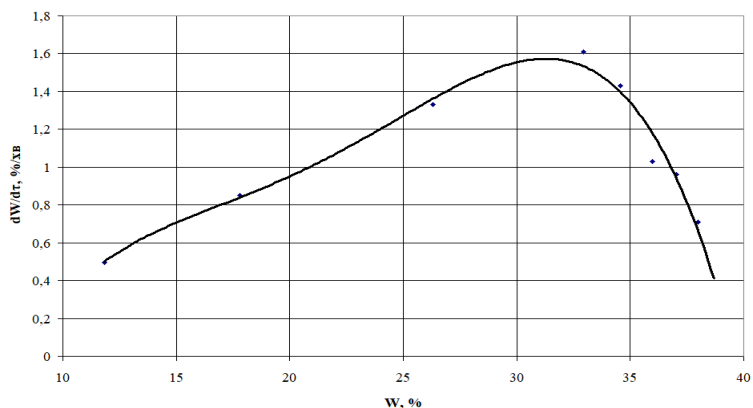


Рис. 5. Узагальнена крива швидкості сушіння насіння гарбуза

Із рис. 6 бачимо, що в періоді падаючої швидкості сушіння насіння гарбуза спостерігаються дві критичні точки W_{K1} і W_{K2} .

Прискорення процесу для сушіння насіння гарбуза насінневого призначення можливе за умов використання ступінчастих режимів сушіння (рис. 7). У цьому разі запропоновано режим сушіння 60/40 °С, що прискорює процес у 3 рази і дає схожість на рівні 98%. Сушіння насіння гарбуза в ступінчастому режимі 60/40 °С проходить швидше, ніж за режиму сушіння 50 °С, на 25% і повільніше, ніж режим сушіння 60 °С, на 33%.

Більш детальний аналіз залежності енергії росту й схожості насіння гарбуза від режиму сушіння подано в табл. 1. Із табл. 1 бачимо, що за температури теплоносія 60 °С на схожість активно

впливає швидкість сушильного агента, що зі збільшенням від 1,5 м/с до 3,5 м/с може істотно зменшити схожість на 80%.

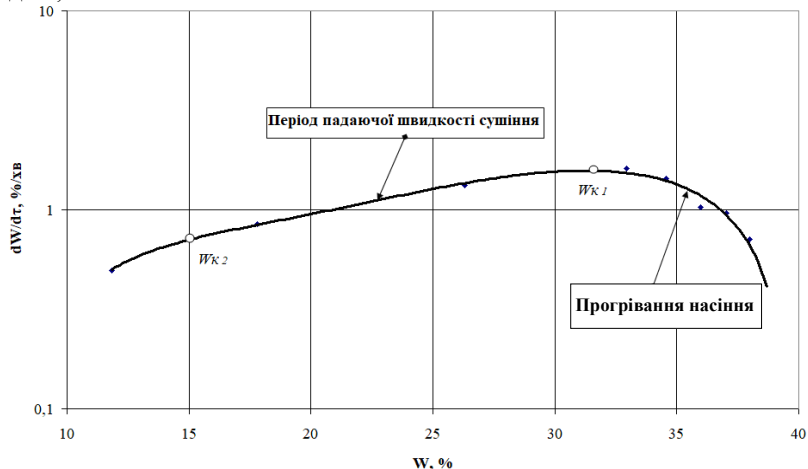
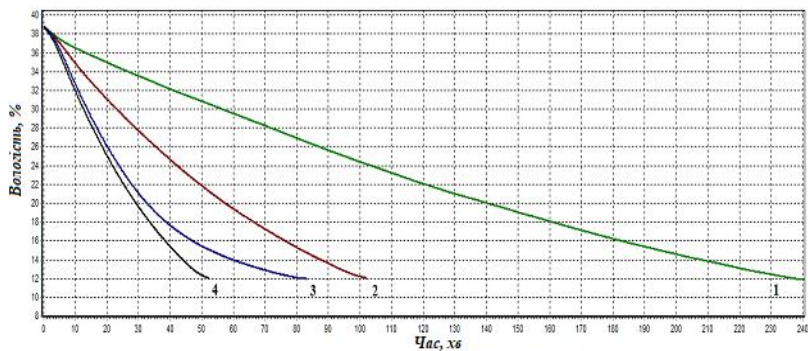


Рис. 6. Узагальнена крива швидкості сушіння насіння гарбуза в напівлогарифмічній системі координат



Вихідне зерно
($C = 100\%$)

Режим 60/40°C
($C = 98\%$)

Рис. 7. Кінетика сушіння та схожість насіння гарбуза сорту Стофунтовий за ступінчастого режиму сушіння: $V = 1,5$ м/с; $d = 10$ г/кг с. п.: 1 – 40 °C; 2 – 50 °C; 3 – 60/40 °C; 4 – 60 °C

Таблиця 1

Вплив режимів сушіння на якісні характеристики насіння гарбуза

№ з/п	Параметри процесу			Параметри якості			
	температура теплоносія, t , °C	швидкість теплоносія, V , м/с	Час сушіння, τ , хв	енергія росту, E , %			схожість на 10 день, C , %
				3 день	5 день	7 день	
1	Вихідне зерно			7	95	99	100
2	40	1,5	240	2	64	95	98
3	50	1,5	102	2	64	86	96
4	60	1,5	52	1	32	69	90
5	60	2,5	48	1	16	33	46
6	60	3,5	44	1	4	5	10
7	60/40 (1 зразок)	1,5	82	2	93	96	98
8	60/40 (2 зразок)	1,5	82	3	93	95	98
9	80	1,5	32	0	0	0	0

Для аналізу сили росту рослин запропоновано провести заміри величини сходів залежно від режиму сушіння протягом 10 днів, починаючи з 3-го дня (рис. 8).

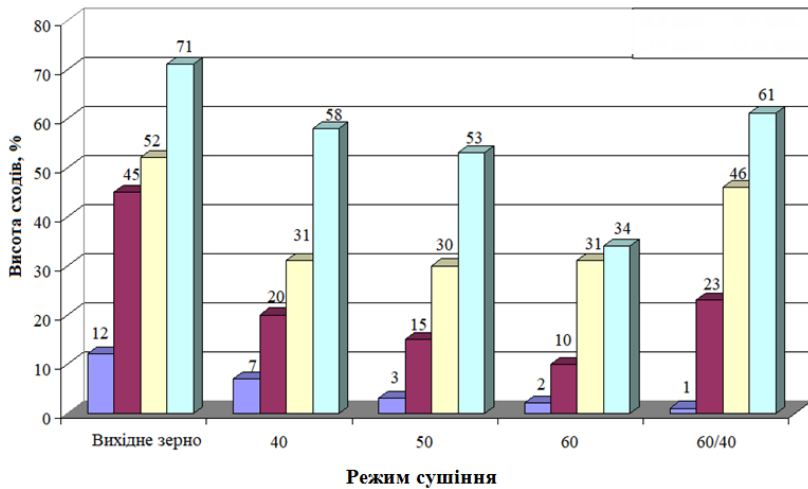


Рис. 8. Інтенсивність росту сходів насіння гарбуза від режиму сушіння:

■ – 3 день; ■ – 5 день; ■ – 7 день; ■ – 10 день

Величина зростання сходів насіння гарбуза характеризує інтенсивність росту й більш якісно дає характеристику режимам сушіння.

Ступінчастий режим сушіння з наведених режимів більш ефективний за висотою сходів насіння гарбуза. Якщо взяти висоту ростка вихідного зерна за 100% на 10 день схожості, то ступінчастий режим сушіння на 86% відповідає первинним параметрам сили росту.

Висновки. Кінетика процесу сушіння насіння гарбуза показала, що найбільш високі якісні показники можна спостерігати за температури сушильного агента 40 °С, при цьому схожість насіння проросло на 98%.

Експериментальні та теоретичні дослідження показали, що сушіння насіння в елементарному шарі на конвективному сушильному стенді проходить у період падаючої швидкості сушіння та має 2 критичні точки.

Збільшення інтенсивності сушіння насіння гарбуза забезпечує ступінчастий режим сушіння 60/40 °С, схожість насіння на рівні 98%, зменшення тривалості процесу в 3 рази порівняно з температурою 40 °С, що відповідно зменшує енергетичні витрати на процес. За температури 60 °С значний вплив чинить швидкість сушильного агента. Ту разі зміни швидкості від 1,5 м/с до 3,5 м/с схожість зменшується на 80% і становить 10%. Інтенсивність росту сходів насіння гарбуза вказує на кращі показники пророщування в ступінчастому режимі сушіння.

Список джерел інформації / References

1. Sacilik, K. (2007), "Effect of Drying Methods on Thin-Layer Drying Characteristics of Hull-Less Seed Pumpkin (*Cucurbita Pepo* L.)", *Journal of Food Engineering*, No. 79, pp. 23-30.
2. Akyol, E., Susantez, Z., Kahveci, K., Hacıhafızoğlu, O., Kaya, Y. (2015), "Drying Simulation of Pumpkin Seed", *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM 2015) Barcelona, Spain – July 20-21*, No. 320.
3. Guiní, R.P., Pinho, F.S., Barroca, M.J. (2011), "Study of the Convective Drying of Pumpkin (*Cucurbita Maxima*)", *Food and Bioproducts Processing*, No. 89, pp. 422-428.
4. Hashim, N., Daniel, O., Rahaman, E. (2014), "A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in A Convective Hot Air Dryer", *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, No. 2, pp. 345-352.
5. Pazyuk, V., Petrova, Zn., Chepeliuk, O. (2018), "Determination of rational modes of pumpkin seeds drying", *Ukrainian Journal of Food Science*, Vol. 7, Iss. 1, pp. 135-150.

6. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи аналізування вологості насіння. – К. : Держспоживстандарт, 2003. – С. 16–17.

DSTU 4138-2002 (2003), *Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody analizuvannia volohosti nasinnia*, Derzhspozhyvstandart, Kyiv, pp. 16-17.

7. ДСТУ 2240-1993. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. – К. : Держспоживстандарт, 1994. – С. 2–10.

DSTU 2240-1993 (1994), *Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti*, Derzhspozhyvstandart, Kyiv, pp. 16-17.

8. Красников В. В. Кондуктивная сушка / В. В. Красников. – М. : Энергия, 1973. – 288 с.

Krasnykov, V. (1973), *Conductive Drying [Konduktivnaia sushka]*, Moscow, Energy, 288 p.

Пазюк Вадим Михайлович, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., відділ ТМПТ Інституту технічної теплофізики НАН України, Інститут технічної теплофізики НАН України. Адреса: вул. Булаховського, 2, м. Київ, Україна, 03164. Тел.: (044)424-96-38; e-mail: vadim_pazuk@ukr.net.

Пазюк Вадим Михайлович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., отдел ТМПТ Института технической теплофизики НАН Украины, Институт технической теплофизики НАН Украины. Адрес: ул. Булаховского, 2, Киев, Украина, 03164. Тел.: (044)424-96-38; e-mail: vadim_pazuk@ukr.net.

Pazyuk Vadim, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor Philosophy, PhD), senior researcher of the Institute of technical thermal physics TMPT NAS of Ukraine, Institute of technical thermal physics NAS of Ukraine. Address: str. Bulakhovskogo, 2, Kyiv, Ukraine, 03164. Tel.: (044)424-96-38; e-mail: vadim_pazuk@ukr.net.

DOI: 10.5281/zenodo.2367711

УДК 621.325.5

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ДВИЖУЩИХСЯ НА КОНВЕЙЕРЕ ОБЪЕКТОВ ПО ВИДЕОСИГНАЛУ В УСЛОВИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л.А. Цвиркун, С.Л. Цвиркун

Для автоматизации процесса управления штучной сортировкой продуктов в потоке на конвейере предложена схема системы автоматического сопровождения объектов на конвейерной ленте по видеосигналу. Траекторию перемещения объектов в потоке предлагается отслеживать на основе функции сходства между эталонным изображением на предыдущем и одним из множества фрагментов в зоне поиска на последующем кадре.

Ключевые слова: видеосигнал, конвейер, сортировка, автоматизация.

© Цвиркун Л.О., Цвиркун С.Л., 2018