

RESULTS OF THE STUDY OF THE PUMPKIN DRYING PROCESS

Jasur Esirgapovich Safarov

Shahnoza Abduvakhitovna Sultanova

Andrey Svyatoslavovich Ponasenko

Gani Toshkhujaevich Dadaev

Follow this and additional works at: <https://ijctcm.researchcommons.org/journal>



Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)



RESULTS OF THE STUDY OF THE PUMPKIN DRYING PROCESS

Safarov Jasur Esirgapovich¹, Sultanova Shahnoza Abduvakhitovna²,
Ponassenko Andrey Svyatoslavovich³, Dadaev Gani Toshkhujaevich⁴

^{1,2,4}Tashkent state technical university named after Islom Karimov,
Address: 2, University str., 100095, Tashkent, Uzbekistan.

E-mail: ¹jasursafarov@yahoo.com, Phone: +99893 569-02-88, ²sh.sultanova@yahoo.com, Phone: +99893 506-22-00,
⁴dadayevgani@gmail.com, Phone: +99893 532-79-01;

³Belarusian National Technical University, Address: 220013, Republic of Belarus, Minsk, Independence Avenue, 65.
E-mail: ponassenko@mipk.by, Phone: +375 17 392-33-12.

Abstract. The article presents the results of the study of the pumpkin drying process, comparisons with different drying models are carried out. A mathematical model for numerical analysis has been developed. Pumpkin drying rates are calculated and various drying models are investigated. 5 different drying models were used to verify the accuracy of experimental data and search for the most suitable model. The experimental data obtained for the drying air temperature of 45 °C, 55 °C and 65 °C were applied to various drying models.

Key words: Temperature, model, thin-layer drying, coefficient, humidity, drying constant, statistical parameters, energy, mass, solid, liquid, external environment.

Annotatsiya. Ishda qovoqni quritish jarayonini o'rganish natijalari keltirilgan, turli xil quritish modellari bilan taqqoslash natijalari keltirilgan. Raqamli tahlil uchun matematik model ishlab chiqilgan. Qovoqni quritish tezligi hisoblab chiqilgan va turli xil quritish modellarida tekshirilgan. Eksperimental ma'lumotlarning to'g'riligini tekshirish va eng mos modelni topish uchun 5 xil quritish modelidan foydalanilgan. Olingan eksperimental ma'lumotlar har xil quritish modellariga 45 °C, 55 °C va 65 °C quritish havo harorati uchun qo'llanildi.

Tayanch so'zlar: Harorat, model, yupqa qatlamlı quritish, koeffitsient, namlik, quritish konstantasi, statistik parametrlar, energiya, massa, qattiq jism, suyuqlik, tashqi muhit.

Аннотация. В работе приведены результаты исследования процесса сушки тыквы, проведено их сравнение с разными моделями сушки. Разработана математическая модель для численного анализа. Рассчитаны скорости сушки тыквы и исследованы различные модели сушки. Для проверки точности экспериментальных данных и поиска наиболее подходящей модели использовано пять различных моделей сушки. Полученные результаты экспериментов для температур сушильного агента – воздуха сушки 45 °C, 55 °C и 65 °C, были применены к различным моделям процесса сушки.

Ключевые слова: Температура, модель, тонкослойная сушка, коэффициенты сушки, влажность, константа сушки, статистические параметры, энергия, масса, твердое тело, жидкость, внешняя среда.

Введение. С целью проверки данных, полученных для разных температур в экспериментах, и выбора наиболее подходящей модели были проведены их сравнения с разными моделями сушки. Для этого использовали 5 различных экспериментальных, квазиэкспериментальных и теоретических моделей тонкослойной сушки, используемых в литературе. Это: модель Льюиса, модель Хендерсона и Пабиса, двухчленная модель, модель Ванга и Сингха и модель Мидилли, уравнения которых приведены в табл. 1. Статистические расчеты проводились с помощью программы Statistika 6.0. Были рассчитаны коэффициенты сушки (a , b , k , k_0 , k_1 , n) и статистические параметры, такие как коэффициент регрессии (R^2), стандартная ошибка (CO) и χ -квадрат (χ^2) выражения моделей, приведенных в табл. 1 [1-6].

$$CO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвэксперимент}} - W_{\text{бврасчет}})^2}{N-z}}, \quad (1)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (W_{\text{бвэксперимент}} - W_{\text{бврасчет}})^2}{N-z}, \quad (2)$$

где безразмерные отношения влажности, полученные в результате экспериментов $W_{\text{бвэксперимент}}$ и $W_{\text{бврасчет}}$ и оцененные с помощью программы; N -количество считываемых в эксперименте данных в зависимости от времени; z -количество коэффициентов.

При выборе наиболее подходящей модели для безразмерного содержания влаги, полученного в результате эксперимента, значение R^2 должно быть близко к 1, а значения CO и χ^2 должны быть близки к 0 [7-8].

Таблица 1.

Константы и коэффициенты моделей сушки [1-8]

№ Модель	Название моделей	Уравнение
1	Льюис	$W_{\text{бв}} = \exp(-kt)$
2	Хендерсон и Пабис	$W_{\text{бв}} = a \exp(-kt)$
3	Двухчленная модель	$W_{\text{бв}} = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
4	Ван и Сингх	$W_{\text{бв}} = 1 + at + bt^2$
5	Мидилли	$W_{\text{бв}} = a \exp(-kt^n) + bt$

$W_{\text{бв}}$ -безразмерный коэффициент влажности; k, k_0, k_1 -константы сушки (сн^{-1}); b -коэффициенты.

Материалы и методы: *Математическая модель для численного анализа.* Эффективная сушка обычно наблюдается у пищевых продуктов. Этот эффект следует учитывать в процессе сушки. Коэффициент усадки (S_c) можно получить с помощью следующего уравнения [7-8]:

$$S_c = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) 100. \quad (3)$$

Баланс энергии и массы в твердом теле можно выразить математически, используя закон Фурье для теплопередачи и закон Фика для диффузии массы. В то время как тепло передается от горячего воздуха к поверхности продукта за счет конвекции, жидкость в продукте передается на поверхность за счет диффузии и испаряется во внешнюю среду.

Уравнение сохранения энергии в твердом теле, основанное на законе Фурье,

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) + \nabla(-k \nabla T) = 0 \quad (4)$$

и уравнение сохранения массы в твердой фазе, основанное на законе Фика,

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-D_{eff} \nabla M) = 0 \quad (5)$$

Расчет скорости сушки тыквы

Экспериментально рассчитать усадочный эффект достаточно сложно. Поэтому необходимо произвести оценку степени усадки. В данном исследовании использовался метод линейного распределения скорости усадки в любой точке изделия:

$$u(x) = u(b) \frac{x}{b}. \quad (6)$$

Значение скорости на поверхности дается уравнением.

$$u(b) = \frac{b - b_2}{\Delta t}, \quad (7)$$

где b – начальная половина толщины; b_2 – половина толщины продукта в следующий раз.

Для расчета полутолщины продукта в любой момент времени и эффективного коэффициента диффузии за счет эффекта усадки можно использовать следующее выражение, которое получается в зависимости от содержания влаги в данный момент [5-10].

$$b = b_0 \left[\frac{\rho_m + W_{\rho_s}}{\rho_m + W_0 \rho_s} \right], \quad \frac{D_{\text{эфф.}}}{D_{\text{эфф.}}} = \frac{b_0}{b_t}, \quad (8)$$

где $D_{э.диф.}$ – эффективный коэффициент диффузии, m^2/c ; $D_{эфф.}$ – полученный в результате эффекта сушки, использованный в численном анализе m^2/c ; b_0 – половина толщины продукции в первый момент и половина толщины продукции во время b_t [9,10].

Результаты и обсуждение. Исследованы различные модели сушки и проведена работа по валидации. Для проверки точности экспериментальных данных и поиска наиболее подходящей модели были использованы 5 различных моделей сушки, широко известных в литературе. Данные, полученные в результате эксперимента для температур воздуха сушки 45 °C, 55 °C и 65 °C, были применены к различным моделям сушки. Регрессионный анализ был выполнен для различных моделей сушки, представленных в табл. 1. Полученные значения коэффициентов a , b , k , k_0 , k_1 , n , R^2 , CO и χ^2 приведены в табл. 2.

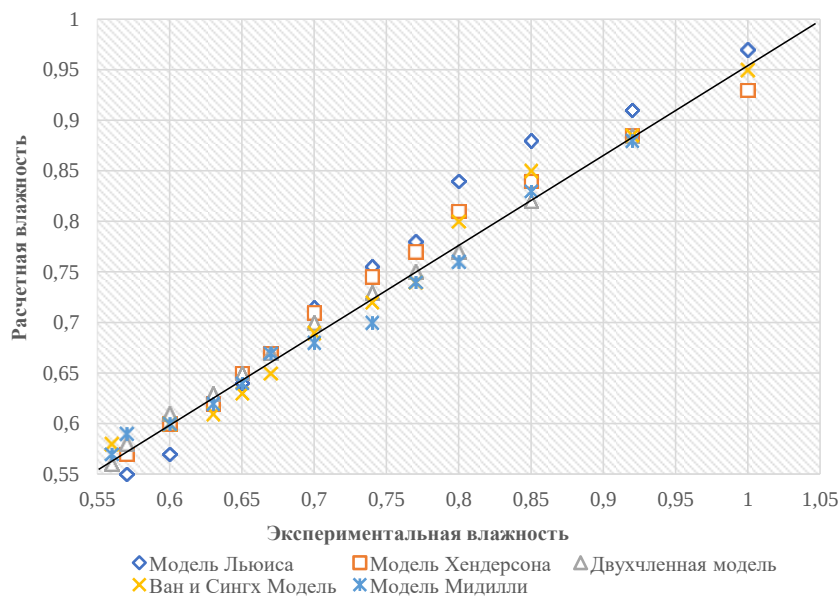
Таблица 2.

Значения статистических параметров и коэффициентов, полученных для температур 45 °C, 55 °C и 65 °C

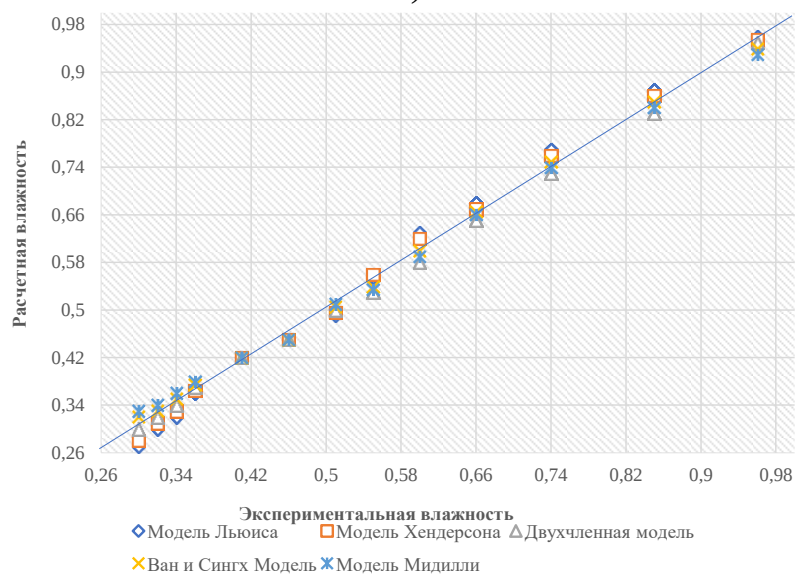
Модель	45 °C			55 °C			65 °C		
	Константы и коэффициенты			Константы и коэффициенты			Константы и коэффициенты		
	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2	R^2	CO	χ^2
1	0,94	0,0315	0,001	0,98	0,0274	0,0008	0,99	0,0171	0,0003
2	0,97	0,0223	0,0005	0,99	0,0213	0,0005	0,99	0,0137	0,0002
3	0,99	0,0021	$4,56 \times 10^{-6}$	0,99	0,0047	$2,19 \times 10^{-5}$	0,99	0,0084	$7,03 \times 10^{-5}$
4	0,99	0,0119	0,0001	0,99	0,0160	0,0003	0,99	0,0224	0,0005
5	0,99	0,0029	$8,46 \times 10^{-6}$	0,99	0,0041	$1,64 \times 10^{-5}$	0,99	0,0038	$1,42 \times 10^{-5}$
1	$k=0,0018$			$k=0,035$			$k=0,0049$		
2	$k=0,0016$			$k=0,0033$			$k=0,0047$		
3	$a=0,14$			$a=0,17$			$a=0,94$		
	$b=0,85$			$b=0,82$			$b=0,05$		
4	$k_0=0,0157$			$k_0=0,0162$			$k_0=0,0046$		
	$k_1=0,0011$			$k_1=0,0027$			$k_1=0,121$		
4	$a=-0,0020$			$a=-0,0033$			$a=-0,0039$		
5	$b=2,47 \times 10^{-6}$			$b=4,31 \times 10^{-6}$			$b=4,82 \times 10^{-6}$		
	$a=1,0$			$a=1,00$			$a=1,0$		
	$b=0,0002$			$b=8,07 \times 10^{-6}$			$b=0,0003$		
	$n=0,77$			$n=0,85$			$n=0,78$		
	$k=0,0071$			$k=0,0083$			$k=0,0175$		

Для температур 45 °C значения R^2 , CO и χ^2 были рассчитаны как 0,99, 0,0021 и $4,56 \times 10^{-6}$ в двухчленной модели соответственно и 0,99, 0,0029 и $8,46 \times 10^{-6}$ в модели Мидилли. Значения R^2 , CO и χ^2 были рассчитаны как 0,99, 0,0041 и $1,64 \times 10^{-5}$ соответственно в модели Мидилли для температуры 55 °C. Для температуры 65 °C значения R^2 , CO и χ^2 были рассчитаны как 0,99, 0,0038 и $1,42 \times 10^{-5}$ соответственно в модели Мидилли. По этой информации можно констатировать, что модель Мидилли является наиболее подходящей моделью среди других моделей и дает наиболее близкие расчетные значения влажности к экспериментальным данным.

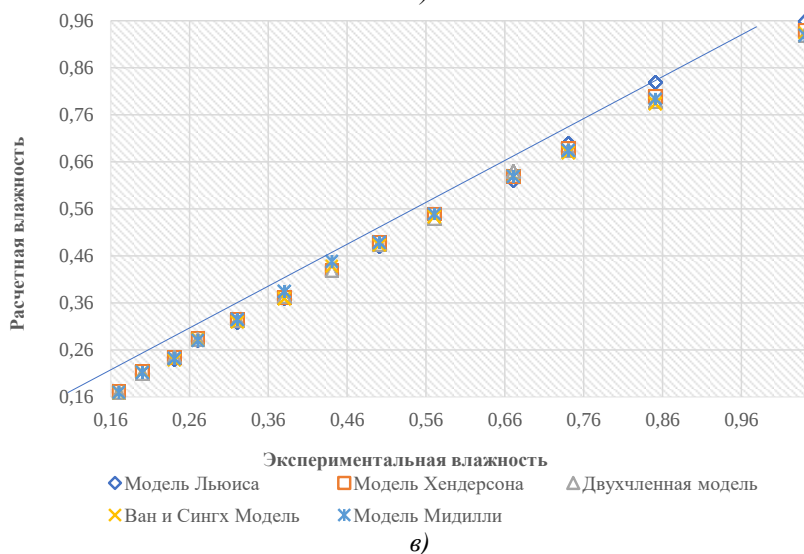
На рис. 1 приведен график изменения расчетных коэффициентов влажности, рассчитанных в результате применения экспериментальных данных, полученных к различным моделям сушки при 45 °C, 55 °C и 65 °C.



а)

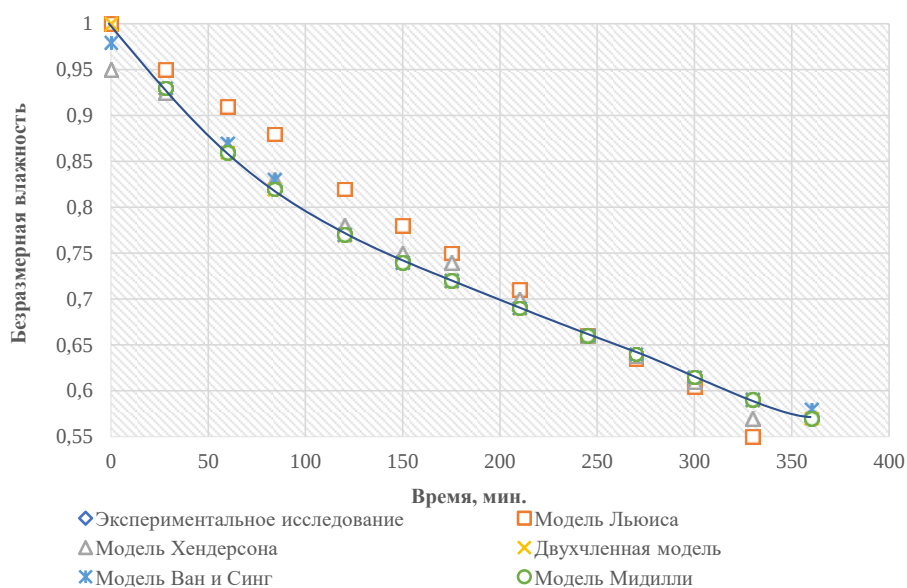


б)

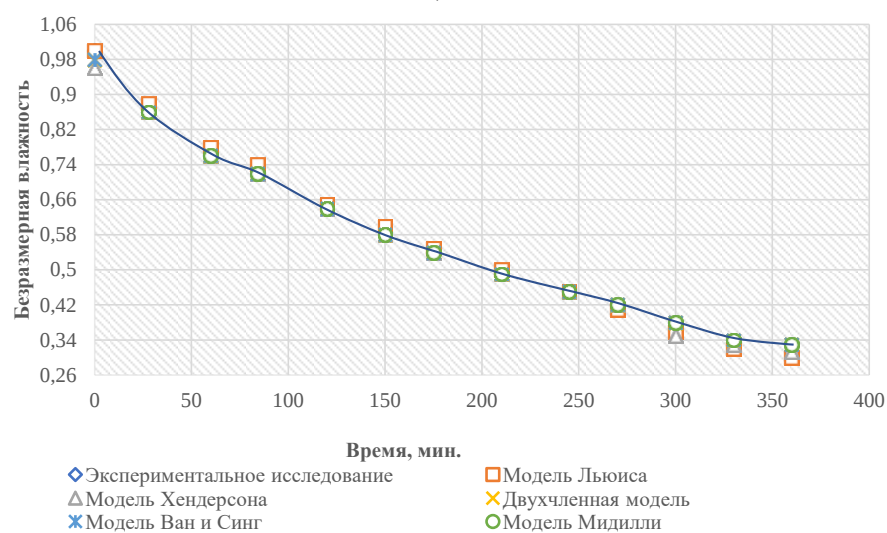


в)

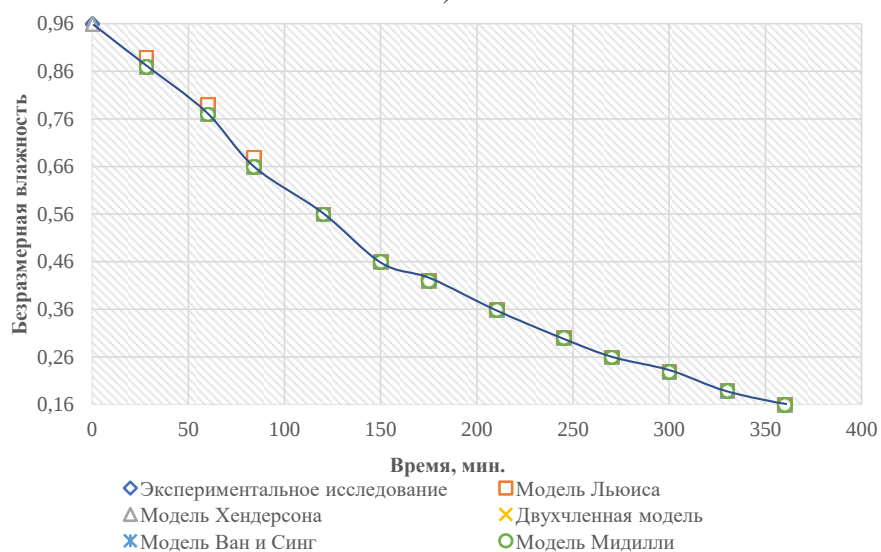
Рис. 1. Изменения экспериментальной и расчетной влажностей, полученных по разным моделям при а) 45 °С, б) 55 °С и в) 65 °С.



а)



б)



в)

Рис. 2. Изменения во времени безразмерных отношений влажности для разных моделей и экспериментов при а) 45 °С, б) 55 °С и в) 65 °С.

На рис. 2 праведено изменение безразмерных отношений влажности во времени для различных моделей и экспериментов, полученных при температурах 45 °С, 55 °С и 65 °С.

Вывода: Из рисунков следует, что на кривой экспериментальных данных находятся безразмерные значения коэффициента влажности по модели Мидилли, которая является наиболее подходящей регрессионной моделью. Из данных, приведенных на рис. 1 и рис. 2, видно, что расчетные значения влажности по модели Мидилли хорошо согласуются с экспериментально полученными значениями влажности.

References

1. Doymaz, I. (2004). Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 341-346.
2. Doymaz I. (2004). Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus Alba L.*). *Journal of Food Engineering*, 65(2), 205-209.
3. Chottamom, P., Kongmanee, R., Manklang, C., et al. (2012). Effect of osmotic treatment on drying kinetics and antioxidant properties of dried mulberry. *Drying Technology*, 30(1), 80-87.
4. Adabi, M.E., Nikbakht, A.M., Motevali, A., et al. (2012). Investigation of black mulberry drying kinetics app lying different pretreatments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(1), 23-34.
5. Shi, Q., Zheng, Y., Zhao, Y. (2013). Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices. *Energy Conversion and Management*, 71, 208-216.
6. Li, Wen-feng., Xiao, Xu-lin., Wang, wei. (2013). Drying characteristics and model of purple sweet potato in air-impingement jet dryer. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(2), 356-366.
7. Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. (2012). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
8. Lewis, W.K. (2015). The rate of drying of solid materials. *J. Ind. Eng. Chem.*, 13(5), 427-432.
9. Wang, Z.F., Fang, S.Z., Hu, X.S. (2015). Effective diffusivities and energy consumption of whole fruit Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) in Microwave Drying. *Drying technology*, 27(10), 1097-1104.
10. Artikov, A.A., Dzhuraev, H.F., Masharipova, Z.A., Barakaev, B.N. (2019). *Sistemnoe myshlenie, analiz i nahozhdenie optimalnyh reshenij (na primerah inzhenernoj tehnologii) [Systems thinking, analysis and finding optimal solutions (using examples of engineering technology)]*. Buhara: Durdona, 185 p. (in Russian).
11. Hudonogov, I.A., Hudonogov, A.M., Altuhov, I.V., Ryabec, E.S. (1998). Snizhenie energozatrat v processah termoobrabotki rastitelnogo syrya IK-elektrotehnikoj [Reduction of energy consumption in the processes of heat treatment of vegetable raw materials by IR-electrical engineering]. *Intellektualnye i materialnye resursy Sibiri*, 13-18. (in Russian).
12. Ponasenکو, A.S., Sultanova, Sh.A., Safarov, Zh.E. (2023). Rezultaty eksperimentalnyh issledovanij processa sushki [Results of experimental studies of the drying process]. *Universum: tehicheskie nauki*. 5(110), 36-39. (in Russian).
13. Ponasenکو, A.S., Safarov, J.E. (2023). Fruit drying technologies. *Materials of the republican scientific-practical conference on the topic «Introduction of innovative technologies in the food and chemical industry»*. 223-225.