

RESEARCH OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND KINETICS OF DRYING PROCESS RAW MATERIAL IN VIBRATION VACUUM DRYER

A. Sardarov, O. Mayak, G. Shershnev

Kharkiv State University of Food Technology and Trade

Key words:

*Drying mode
Concentrated products
Vibration dryers
Vegetable pomace
Vegetable raw materials*

Article history:

Received 13.11.2018
Received in revised form
06.12.2018
Accepted 21.12.2018

Corresponding author:

A. Sardarov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

In the work the process of drying vegetable raw materials, namely, vegetable excrements of carrots, beets and greenery — parsley, is investigated. Drying experiments were carried out in the newly developed design of a continuous vibration vacuum dryer with a damping device, which allows to reduce the consumption of electric energy by reducing the load on the central shaft with perforated trays, such constructive solution significantly increases life of the working units of the machine. The kinetics of moisture content of vegetable excrements and greens was investigated, dependence of the duration of the process on main technological parameters of the vibration vacuum dryer, namely amplitude and frequency, was determined.

The study of qualitative indices of the obtained concentrated products, namely, the structural characteristics of dried vegetable cultivars, was conducted. Based on the results of the study, it was found that the use of vibration during drying of the exhaust fumes contributes to the preservation and formation of the statutory characteristics (swelling, solubility and recovery) of the dried product. The specified characteristics made it possible to establish that during heat treatment it is very important to reduce drying time and temperature. These studies have proven the perspective of producing dried carrot and beet harvested in the proposed way. It allows to regulate qualitative indicators of the final product: color, brightness, consistency, viscosity, physical and chemical properties. This product can be used in a wide range of food industries, for example: as an additive to juice, as a candy mass filler, as a filling for confectionery products, as a biological additive to healthy food.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ У ВІБРАЦІЙНІЙ ВАКУУМНІЙ СУШАРЦІ

А.М. Сардаров, О.А. Маяк, Г.Г. Шершньов

Харківський державний університет харчування та торгівлі

У статті досліджено процес сушіння рослинної сировини, а саме: овочевих вичавок з моркви, буряку та зелені петрушки. Експерименти проводили в розробленій новій конструкції вібраційної вакуумної сушарки безперервної дії з амортизаційним пристроєм, який дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на центральний вал з перфорованими лотками. Таке конструктивне рішення суттєво збільшує термін роботи робочих вузлів апарата. Досліджено кінетику зміни вологовмісту овочевих вичавок і зелені, визначено залежність тривалості процесу від основних технологічних параметрів роботи вібраційної вакуумної сушарки — амплітуди та частоти.

Проведено дослідження якісних показників отриманих концентрованих продуктів, зокрема структурних характеристик висушених овочевих вичавок. На підставі отриманих результатів встановлено, що застосування вібрації в процесі сушіння вичавок сприяє збереженню та формуванню структурних характеристик (набухання, розчинність і відновлення) сушеного продукту. Визначені характеристики дали змогу встановити, що під час теплової обробки дуже важливо зменшити тривалість процесу сушіння й температуру. Дані дослідження довели перспективність виробництва сушених вичавок з моркви та буряку запропонованим способом. Це дає змогу регулювати якісні показники кінцевого продукту: колір, яскравість, консистенцію, в'язкість і фізико-хімічні властивості. Розроблений продукт можна використовувати в широкому спектрі харчової галузі (добавка в сік, наповнювач цукеркової маси, начинка для кондитерських виробів, біологічна добавка до оздоровчого харчування, пряно-ароматичний продукт).

Ключові слова: режим сушіння, концентровані продукти, вібраційні сушарки, овочеві вичавки, сушена зелень.

Постановка проблеми. Сушіння — енергоємний процес, що потребує понад 20% енергії, яка використовується харчовою промисловістю. Енергетична ефективність процесу та якість готового продукту є двома ключовими факторами в сушінні продуктів харчування. Питання енергоспоживання та попит на якісне сухе харчування, яке має тривалий термін зберігання, ще більше спонукають вчених розробляти нові технології виробництва продуктів харчування [1].

Слід зазначити, що вирішення питань розробки нових технологій нерозривно пов'язане з удосконаленням апаратного оформлення та створенням нових апаратів, в яких досягається значна інтенсифікація процесу тепло- та масообміну [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3] вивчено вплив режимів сушіння на червоний буряк з точки зору бетаїнової дисперсії та поліфенолу, зміни мікроструктури. Процес супроводжувався застосуванням комбінованих методів сушіння (конвекцією і СВЧ сушінням), призводить до кращого збереження вмісту біоактивних сполук. Результати показали, що комбіновані методи сушіння призвели до суттєвого збереження фітохімічного вмісту порівняно з традиційними методами.

У [4] представлені результати експериментальних досліджень, на підставі яких встановлені оптимальні параметри сушіння та розроблені ступеневі режими зневоднення, які гарантують високий ступінь збереження пектинових і біологічних речовин.

У [5] визначено кінетику вакуумного сушіння. Результати показали, що сушіння при температурі 70°C сприяє зменшенню тривалості сушіння, а також збереженню якості готового продукту.

У [6] розроблено системний підхід для вибору оптимальних параметрів сушіння. Цей підхід може забезпечити прості вказівки для вибору робочих параметрів вібраційних сушарок для сушіння рослинної сировини.

У [7] проведені дослідження параметрів якості, пов'язані з зміною кольору внаслідок часу і температури зберігання. Важливість параметрів якості для зміни кольору оцінювалася відносно один одного: реакція деградації цукрів та реакції деструкції аскорбінової кислоти виявилася важливою для зміни кольору готового продукту під час зберігання. Але залишилися невирішені питання залежності якісних показників готового продукту від основних параметрів обробки сировини.

У [8] розроблена нова методика сушіння, в основі якої комбінація ультразвукового та дегідратаційного вакууму. Це скорочує час висихання й підвищує якість скибочок моркви. Моркву сушили за допомогою ультразвукового вакууму та вакуумної сушки при 65°C та 75°C. На швидкість процесу суттєво вплинули техніка і температури сушіння, але використання комбінованих методик ускладнюють проведення процесу та сприяють збільшенню витрат на виробництво.

Вібраційні сушарки широко застосовуються для сушіння сировини або готової продукції завдяки перевагам при перемішуванні та швидкості перебігу тепло- і масообмінних процесів [9]. Експериментальні дослідження проводились на сушарці з фторопластом у лабораторних умовах. Вміст вологості в процесі сушіння вимірювали, використовуючи відібрані частинки як еталон. Виявлено, що застосування вібрації при сушінні сировини впливає на зміну вологості, але раціональні робочі параметри обробки та їх кореляція з показниками якості не наведені, що не дає змогу прогнозувати властивості готового продукту.

Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення досліджень впливу робочих параметрів сушіння на якісні характеристики сушених продуктів і встановлення взаємозв'язку між обраними режимами та показниками якості. Для переробки сировини було обрано устаткування з використанням вакуумної технології, яка дає змогу суттєво знизити температуру кипіння в робочій камері (до 45°C), що забезпечує збереження термолабільної речовини

і, як наслідок, підвищення якості та харчової цінності отриманих продуктів. Крім того, для інтенсифікації процесу зневоднення запропоновано використовувати низькочастотні коливання. Одним із критеріїв якості сушених продуктів є ступінь набухання, розчинності та відновлюваності, тому дослідження мають будуть спрямовані в цьому напрямі.

Метою статті є дослідження впливу технологічних параметрів процесу сушіння на тривалість процесу та якісні характеристики висушеного продукту (набухлість, розчинність і відновлюваність).

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати способи й технологічні аспекти виробництва сушених напівфабрикатів із рослинної сировини, визначити напрямки удосконалення процесів та апаратів, що використовуються для реалізації процесу сушіння;
- розробити вібраційну вакуумну сушарку з амортизаційною пружиною безперервної дії для сушіння рослинної сировини;
- дослідити вплив технологічних параметрів (амплітуди та частоти) процесу сушіння на тривалість процесу та на якісні характеристики сушених продуктів (набухлість, розчинність і відновлюваність).

Матеріали і методи. Для забезпечення постійного безперервного сушіння, а також для підвищення якості готових продуктів була розроблена вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії з амортизаційною пружиною (рис. 1).

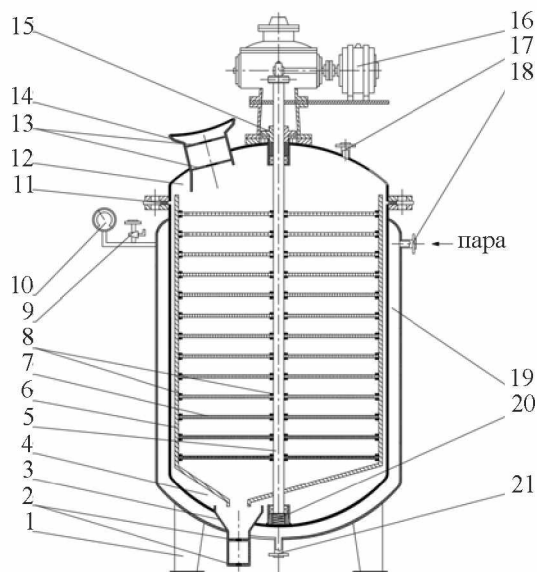


Рис. 1. Вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії для сушіння овочевої сировини: 1 — опори; 2 — запірний клапан; 3 — горловина; 4 — робоча камера; 5 — робочий вал; 6 — каркас для лотків; 7 — лотки з отворами змінного перетину; 8 — суцільне зварне з'єднання; 9 — клапан для видалення надлишкового тиску; 10 — манометр; 11 — затискач; 12 — кришка апарату; 13 — дозуючий клапан; 14 — завантажувальний бункер; 15 — ущільнювач; 16 — вібратор; 17 — трубопровід системи вакуумування; 18 — патрубок для подачі теплоносія; 19 — парова оболонка; 20 — патрубок для відведення конденсату; 21 — амортизаційна пружина

Реалізація сушіння в апараті здійснюється таким чином: вичавки з моркви із завантажувального бункера дозуються клапаном на лотки з отворами змінного перетину, які закріплені в корпусі для лотків та приєднанні суцільним зварним з'єднанням до робочого вала. Робочий вал під'єднується до вібратора, що створює механічні коливання, а знизу закріплений в амортизаційній пружині, яка дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на центральний вал з перфорованими лотками. Таке конструктивне рішення суттєво збільшує термін експлуатації робочих вузлів апарата. Нагрівання робочої камери здійснюється за допомогою подачі пари в парову оболонку через патрубок та вимірюється манометром, а надлишковий пар виводиться клапаном. Вивантажування висушеного продукту здійснюється за допомогою запірного клапана, через горловину, тому що сушарка працює в безперервному режимі, а продукт покидає апарат періодично, а саме накопичується до зазначеної маси, після чого спрацьовує запірний клапан. Такий принцип дає змогу зберегти вакуум в апараті. Робоча вакуум камера герметизується металевими ущільнювачами та затискачами, що фіксують кришку апарата.

Одними з показників якості, що визначають споживчі та технологічні властивості сушеної продукції, є ступінь її розчинності та ступінь набухання в змочувальній рідині. Ступенем набухання називають відношення маси вологого продукту m_b (після набухання протягом часу τ) до початкової маси сухого продукту m_c . Визначається за формулою:

$$Q = \frac{m_b}{m_c} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Ступінь розчинності зразків визначається за формулою:

$$D = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\% = \frac{m_c - m_n}{m_n} \cdot 100\% , \quad (2)$$

де m_p — маса розчинної за час τ частини зразка, кг; m_n — маса нерозчинної за час τ частини зразка, кг.

Ступені розчинності та набухання визначались для овочевих вичавок, висушених в експериментальній вібраційній вакуумній сушарці за умов різних режимів обробки сировини, а саме: зі зміною амплітуди (A , м) та частоти (ν , Гц). Визначена кількість сировини (m_c) заливалась визначеною кількістю води і витримувалась протягом $\tau = 15$ хв. Після цього воду зливали та визначали масу вологого продукту (m_b). Вологий зразок поміщали в сушильну шафу, висушували та визначали його масу. Отримана маса являє собою масу нерозчинної за час τ частини продукту (m_n). Маса розчинної за час τ частини зразка визначалась як різниця між початковою масою (m_c) та масою нерозчинної за час τ частини зразка (m_n).

Викладення основних результатів дослідження. З метою визначення впливу основних технологічних параметрів сушіння, амплітуди, частоти ко-

ливань і вакууму в апараті на швидкість перебігу процесу були проведені експерименти з сушіння рослинної сировини та визначення вологовмісту в сушених продуктах.

Результати експериментальних досліджень кінетики сушіння рослинної сировини залежно від параметрів сушіння наведені на рис. 2—4. Експерименти проводили за умов різних технологічних параметрів сушіння, які вказані в табл. 1.

Таблиця 1. Режими сушіння овочевих вичавок

Найменування	Амплітуда, м	Частота, Гц	Тиск, МПа
Режим 1	0	0	0,09
Режим 2	0,005	6	0,09
Режим 3	0,005	8	0,09

На рис. 2 представлені результати експерименту кінетики сушіння вичавок з моркви за умов різних параметрів сушіння. Так, процес сушіння вичавок при режимі 3 триває 82 хв, а при режимі 2 — 96 хв, тривалість процесу сушіння при режимі 1 проходить 118 хв, що на 45% більше, ніж при режимі 3.

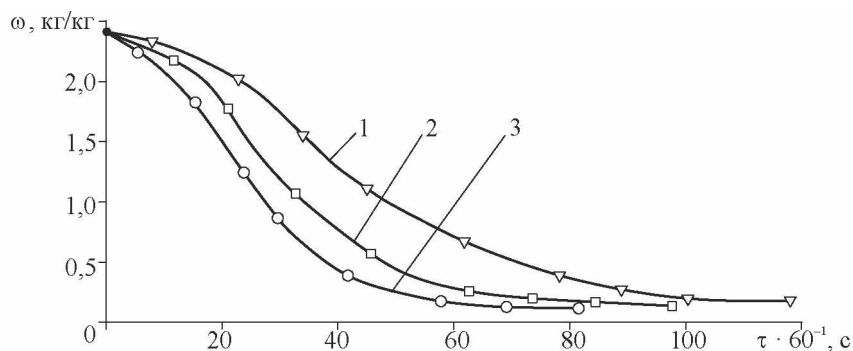


Рис. 2. Кінетика сушіння вичавок з моркви: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

На рис. 3 представлені результати експерименту кінетики сушіння вичавок з буряку за умов різних параметрів сушіння.

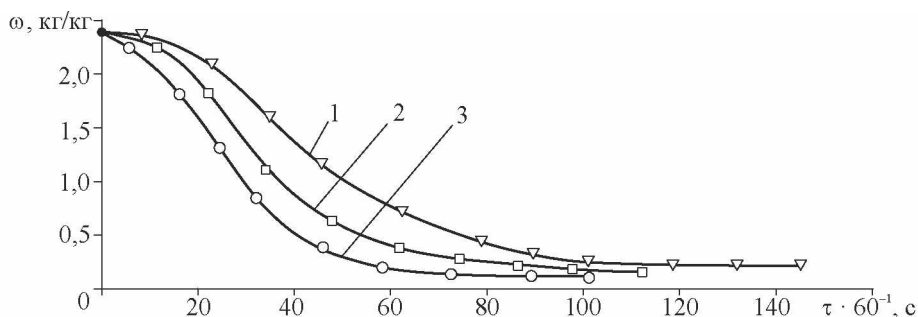


Рис. 3. Кінетика сушіння вичавок з буряку: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Так, сушіння вичавок при режимі 3 триває 104 хв, при режимі 2 — 112 хв. Тривалість процесу сушіння при режимі 1 проходить 146 хв, що на 40% більше, ніж при режимі 3.

На рис. 4 представлені результати експерименту кінетики сушіння петрушки за умов різних параметрів сушіння.

Так, сушіння петрушки при режимі 3 триває 76 хв, при режимі 2 — 88 хв. Тривалість проходження процесу сушіння при режимі 1 проходить 108 хв, що на 42% більше ніж при режимі 3.

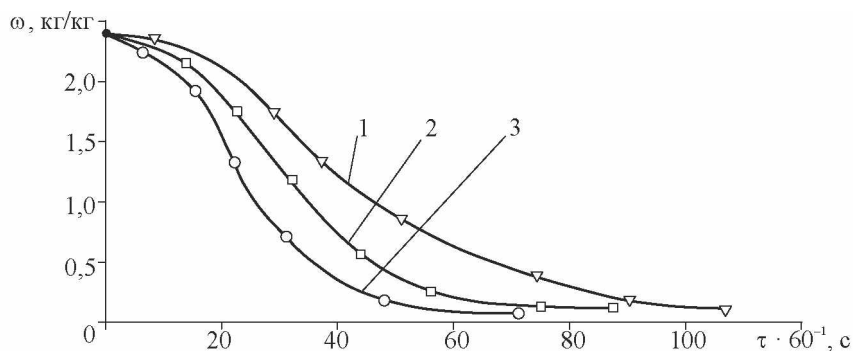


Рис. 4. Кінетика сушіння петрушки: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Проведені дослідження дали змогу підтвердити ефективність використання вібрації в процесах сушіння рослинної сировини.

Також слід зазначити, що вичавки з буряку за однакових параметрів процесу сушаться на 26% довше, що характеризується фізико-хімічним складом сировини, а саме: вмістом у буряку пектину, що впливає на процес та з'являє вологу в продукті.

Результати експериментальних досліджень ступеня набухання та розчинності овочевих вичавок після процесу сушіння у вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії при різних параметрах сушіння представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Динаміка набухання та розчинності вичавок з овочевої сировини залежно від режимів сушіння

Дослідження	Буряк			Морква		
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 1	Режим 2	Режим 3
Ступінь набухання $Q \pm 0,01, \%$	9,8	17,4	22,3	14,6	19,9	24,2
Ступінь розчинності $D \pm 0,01, \%$	0,11	0,47	0,61	0,54	0,54	0,64

Однією з основних якісних характеристик оброблених вичавок є ступінь розчинності, показник якого характеризує наявність у зразках продукту активних корисних компонентів, які, незважаючи на термін обробки в процесі сушіння, збереглись.

На рис. 5 та 6 представлені графіки кінетики процесу відновлення морквяних і бурякових вичавок відповідно.

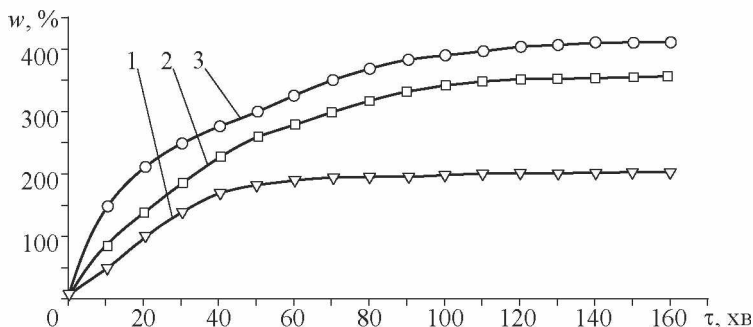


Рис. 5. Кінетика процесу відновлення морквяних вичавок:

1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

За результатами дослідження кінцевий вологовміст зразків згідно з кривою 3 та кривою 2 відрізняється від кривої 1 в два рази, що зумовлено пористістю структури вичавок, але, як видно з представлених графіків кінетики процесу набухання, криві за умов вібрації (2 та 3) мають однаковий характер.

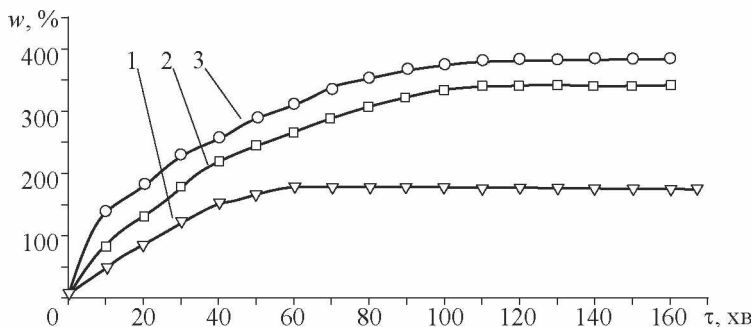


Рис. 6. Кінетика процесу відновлення вичавок з буряку:

1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Експериментальні дослідження довели перевагу методів обробки сировини під впливом вібрації, що визначило вибір параметрів процесу, а саме: режиму 3 ($A = 0,005$ м, $\nu = 8$ Гц).

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень було доведено, що параметри сушіння суттєво впливають на тривалість процесу та якісні показники отриманих сушених продуктів.

Згідно з результатами дослідження кінетики процесу відновлення сушених вичавок кінцевий вологовміст зразків, висушених під дією вібрації, відрізняється від зразків, висушених без вібрації майже на 100%, що зумовлено пористістю структури сушених вичавок, зневоднених під дією вібрації.

Теоретично встановлений і експериментально підтверджений оптимальний режим вібрації для вібраційно-вакуумного сушіння при вакуумі в робочій камері 0,09 МПа: амплітуда вібрації — $A = 0,005$ м, частота вібрації — $\nu = 8$ Гц. При цьому тривалість сушіння становить 82 хв, 104 хв та 76 хв для вичавок з моркви, буряку та петрушки відповідно (за результатом кінцевого вологовмісту).

Висновки

На підставі проведених досліджень впливу основних технологічних параметрів сушіння на якість сушеної рослинної сировини (вичавок з моркви та буряку, петрушки):

1. Визначено способи й технологічні аспекти виробництва сушених напівфабрикатів із рослинної сировини, напрямки удосконалення процесів та апаратів, що використовуються для реалізації процесу сушіння.

2. Розроблено конструкцію вібраційної вакуумної сушарки безперервної дії з амортизаційною пружиною, яка дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на робочий вал з перфорованими лотками та досліджено вплив робочих параметрів (амплітуда та частота) сушарки на кінетику сушіння рослинної сировини.

3. Досліджено вплив технологічних параметрів (амплітуди та частоти) процесу сушіння на тривалість процесу та на якісні характеристики сушених продуктів (набухання, розчинність і відновлюваність). Результати дослідження зміни вологовмісту з плином часу за умов різних режимів сушіння рослинної сировини доводять ефективність застосування вібрації при реалізації процесу. Експериментальні дослідження відновлюваності овочевих вичавок довели перевагу обробки сировини під впливом вібрації, що підтвердило вибір параметрів процесу (амплітуда — $A = 0,005$ м, а частота $\nu = 8$ Гц).

Отже, запропонований спосіб сушіння рослинної сировини в розробленій сушарці дає змогу суттєво підвищити якість отриманих сушених продуктів і використовувати їх як збагачувачі кулінарної, хлібопекарної, кондитерської продукції та для оздоровчого харчування.

Література

1. Kiptelaya L., Zagorulko A., Zagorulko A. Improvement of equipment for manufacture of vegetable convenience foods. *Eastern-european journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 2, No 10(74). P. 4—8.
2. Potapov V., Plevako, V., Kostenko, S., Pedorich, I., Arkhipova, V. “Physical and Analytical Modeling of Infrared Frying in ARJM-0.07-1 Apparatus”. *Industrial Technology and Engineering*. 2016. Vol. 3(20), P. 54—61.
3. Nistor O., Seremet L., Andronoiu D., Rudi L., Botez E. Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*. 2017. Vol. 236/1. P. 59—67.
4. Снежкин Ю.Ф., Шапарь Р.А. Особенности процесса сушки пектиносодержащих материалов. *Промышленная теплотехника* 2006. № 28/3. С. 25—27.
5. Demarchi S., Irigoyen R., Giner S. Vacuum drying of rosehip leathers: Modelling of coupled moisture content and temperature curves as a function of time with simultaneous time-varying ascorbic acid retention. *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 233. P. 9—16.
6. Bizmark N., Mostoufi N., Sotudeh-Gharebagh R., Ehsani H. (). Sequential modeling of fluidized bed paddy dryer. *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 101/3. P. 303—308.
7. Quality changes of pasteurised orange juice during storage: A kinetic study of specific parameters and their relation to colour instability / S. Wibowo, T. Grauwet, J.S. Santiago, J. Tomic, L. Vervoort, M. Hendrickx, A. Van Loey. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 187. P. 140—151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.131>.
8. Chen Z., Guo X., Tao Wu A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods, *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016. Vol. 30. P. 28—34.
9. Pla, R. Kamyar D., Hashemian N., Mehdizadeh H., Moshgbar M. Moisture soft sensor for batch fluid bed dryers: A practical approach. *Powder Technology*. 2018. Vol. 326/15. P. 69—77.