

I. О. Гузьова, В. М. Атаманюк

Національний університет "Львівська політехніка",

кафедра хімічної інженерії

iryna.o.huzova@lpnu.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ТА МЕТОДУ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ПРОЦЕСІ СУШІННЯ ЦУКАТІВ ІЗ ГРУШ

<https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.140>

Досліджено кінетику сушіння гарячих (80 °С) та холодних (20 °С) цукатів із груш. В результаті узагальнення дослідних даних визначено коефіцієнт сушіння та виведено аналітичну залежність для розрахунку часу сушіння. Отримано експериментальні дані щодо зміни температури теплового агенту за висотою шару цукатів. Доведено, що припинення подавання гарячого теплового агенту в певний момент часу та охолодження верхніх шарів цукатів холодним тепловим агентом і одночасне досушування нижніх шарів дасть змогу зменшити енергетичні затрати процесу на 1135,64 кДж/кг<sub>вологи</sub>.

**Ключові слова:** цукати; температура; кінетика; сушіння; енергозбереження.

### Вступ

Сушіння рослинної сировини є лімітувальною та енергоємною стадією виробництва як органічної сировини, так і харчових продуктів [1–3]. До найкорисніших продуктів, виготовлених із дешевої вітчизняної сировини, належать цукати. Це поживний, корисний для здоров'я продукт, насичений вітамінами та мінералами. Сушіння цукатів – енергозатратний процес, оскільки довготривалий процес сушіння до кінцевої вологості повинен відбуватися зі збереженням всіх поживних речовин та органолептичних властивостей. Саме тому організація сушильного процесу з мінімізацією енергозатрат та збереженням якості готового продукту є актуальним завданням.

Автори статей [1–2] доводять, що 40 % енергії у харчових технологіях можна економити за рахунок малозатратних методів, які не пов'язані із великими капіталовкладеннями. Хоча, в будь-якому випадку, інвестувати в енерго-ефективні проєкти економічно вигідно. Окупність таких капіталовкладень доволі висока, тому що за короткий проміжок часу знижуються енерговитрати, а це економічно вигідно. Саме тому перспективним методом економії енергії є зменшення затрат обладнання, що вже працює. Зневоднення харчової сировини характеризується тривалістю процесу, безпечністю продуктів та жорсткими екологічними умовами роботи обладнання. Тому найактуальнішим є аналіз харчового продукту, визначення характеру та тривалості

процесу сушіння та аналіз методу сушіння харчової продукції.

Аналізуючи процеси сушіння рослинної сировини, бачимо, що така сировина може містити як зовнішню вологу, яка видаляється у перший період сушіння, так і внутрішню, що видаляється в другий [4–9]. Багато речовин, зокрема харчових продуктів, підлягають сушінню лише упродовж другого періоду, довготривалого в часі [10–14].

Найперспективнішими методами сушіння рослинної сировини є сушіння за допомогою електромагнітних джерел енергії [3, 11–14], фільтраційний метод [4–9] та конвективний метод зі змінними температурними режимами [8–10]. Є перспективні методи сушіння, які можна реалізовувати на енергоощадному обладнанні. Актуальним завданням залишається вдосконалення як використовуваних методів сушіння, так і обладнання для їх реалізації.

**Мета досліджень** – дослідити кінетику сушіння цукатів із груш та довести енерго-ефективність запропонованого методу сушіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. На основі експериментальних досліджень узагальнити дані щодо кінетики сушіння цукатів з груш, розрахувати час сушіння та знайти коефіцієнт сушіння.

2. Запропонувати енергоощадний метод сушіння цукатів на основі експериментальних досліджень.

3. Розрахувати питомі енергозатрати на процес та підтвердити ефективність запропонованого методу сушіння цукатів із груш.

### Матеріали та методи досліджень

З плодів груші нарізали скибки розміром  $20 \times 20 \times 20$  мм, витримували 3 год у розчині лимонної кислоти ( $\text{pH} = 3$ ) за температури  $25^\circ\text{C}$ , відтак у цукровому сиропі (70 % мас.) температурою  $80^\circ\text{C}$  до повного його охолодження. Потім сироп зціджували, нагрівали до  $80^\circ\text{C}$  і знову заливали ним цукати. Це повторювали три рази до повного насичення цукатів цукром. Після закінчення процесу цукати ставали прозорими на вигляд, твердої консистенції.

Приготовлені цукати розділяли на дві половини. Першу половину залишали в сиропі температурою  $80^\circ\text{C}$ , другу половину – в охоложеному сиропі  $20^\circ\text{C}$ . Відділивши від рідкої фази, окремо сушили і гарячі ( $80^\circ\text{C}$ ), і холодні ( $20^\circ\text{C}$ ) цукати. Скибки розкладалися у контейнері, виготовленому із фторопласту (рис. 1) на чотирьох перфорованих перегородках по 30 штук на кожну. Сушіння здійснювалося фільтруванням гарячого теплового агента ( $100^\circ\text{C}$ ) зі швидкістю 6 м/с, згідно із методикою, наведеною у [15].

Через задані проміжки часу фіксували зміну ваги контейнера за допомогою електронної ваги AXISIS-3000 із точністю до 0,01 г. Дослід тривав до досягнення цукатами вологості 25 % (за сухою речовиною). Така вологість дає змогу зберігати цукати до шести місяців без втрати їх органолептичних властивостей. Рівноважна вологість за цих умов становить 18 %.

Для шару цукатів температурою  $80^\circ\text{C}$  виконували додатковий експеримент. За висотою шару були встановлені термопари (рис. 1), на вході та на виході з контейнера 1 під'єднані термопари 4 та 5 відповідно. Також до кожної з чотирьох частин контейнера 1 були під'єднані термопари I–IV, розміщені від верхнього краю контейнера так: термопара I – 10 мм, термопара II – 40 мм, термопара III – 70 мм, термопара IV – 100 мм (рис. 1). Термопара 4 зверху контейнера фіксувала сталу температуру теплового агента на сушіння, термопара 5 знизу – температуру теплового агента на виході із контейнера.

Температури по всій висоті шару, а також на вході та на виході фіксували восьмиканальним термоелектричним перетворювачем ПТ-108, який дає змогу виводити виміряні значення на персональний комп'ютер через 1,8 с.

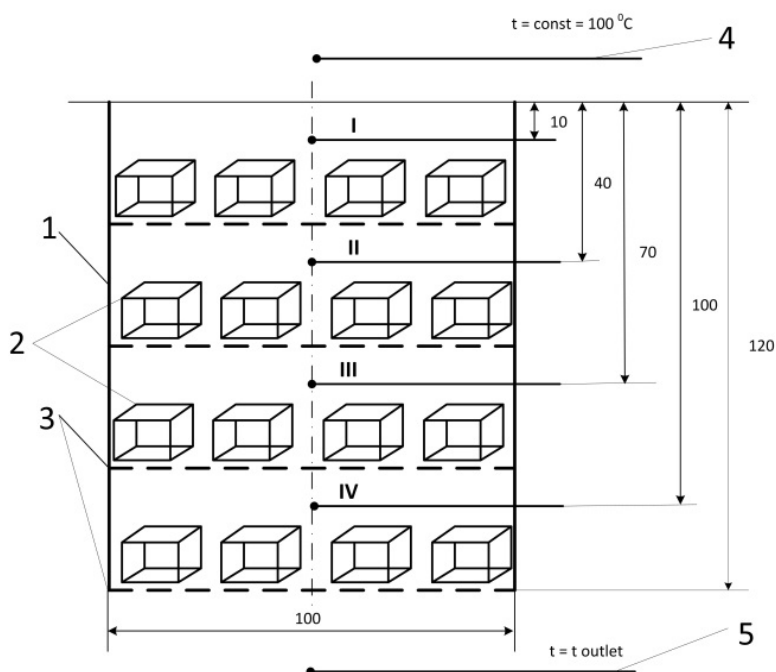


Рис. 1. Схема контейнера для фільтраційного сушіння цукатів:

1 – корпус; 2 – шари цукатів; 3 – решітки; 4 – термопара на вході в контейнер;

5 – термопара на виході з контейнера;

I – термопара над першим шаром цукатів; II – термопара над другим шаром цукатів;

III – термопара над третім шаром цукатів; IV – термопара над четвертим шаром цукатів

### Результати досліджень та їх обговорення

На рис. 2 зображено кінетичні криві сушіння гарячих (крива 1) та холодних (крива 2) цукатів з груш, які свідчать про значну тривалість сушіння до кінцевої вологості 25 %. Цукати температурою 80 °С досягають кінцевої вологості за 2700 с, а цукати температурою 20 °С – за 3210 с. Також кінетичні криві вказують на відсутність періоду постійної швидкості сушіння. Це можна також спостерігати на рис. 3, де немає горизонтальної ділянки періоду постійної швидкості сушіння, а є чітко виражені періоди зниження швидкості сушіння як для гарячих (крива 1), так і для холодних (крива 2) цукатів. Як бачимо на рис. 3, на початку процесу швидкість сушіння істотно зменшується, протягом подальшого сушіння повільніше. Таке явище

пояснюється клітинною структурою рослинної сировини, наявністю капілярної води міжклітинного простору та осмотично зв'язаної води між клітинами та в самих клітинах. Капілярна вода міжклітинного простору видаляється на початку процесу, на її дифузію до поверхні частинки та на її випаровування з поверхні в ядро потоку теплового агенту витрачається невелика кількість енергії. Набагато більше енергії витрачається на видалення осмотично зв'язаної води, такої води, яка дифундує із середини клітини до її поверхні, далі до поверхні частинки та випаровується з поверхні частинки в ядро потоку теплового агенту. Такими явищами дифузії води і зумовлений тривалий процес сушіння та наявність лише зниження швидкості сушіння.

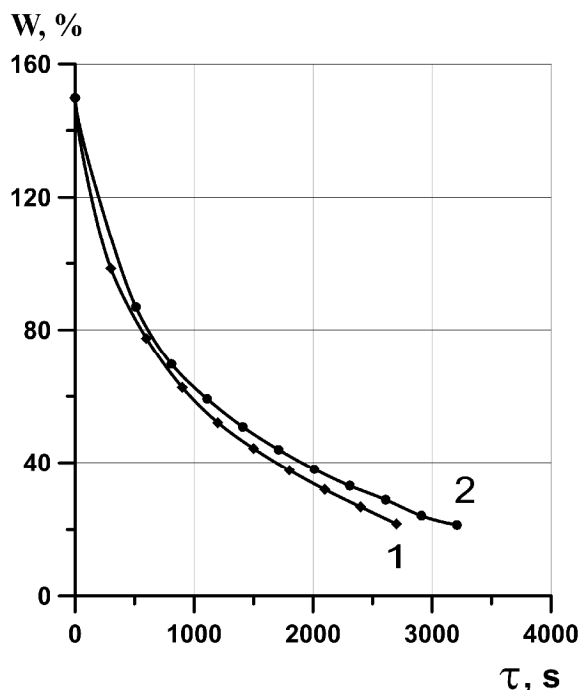


Рис. 2. Кінетичні криві сушіння шарів і гарячих (1) та холодних (2) цукатів із груш

На сушіння холодних цукатів витрачається більше енергії, ніж на сушіння гарячих. Це пояснюється тим, що холодний цукат мусить прогріватися зсередини, отже, градієнт температур між серединою та поверхнею матеріалу буде великим, а його зниження тривалим у часі, тоді як під час сушіння гарячих цукатів градієнт температур зменшується набагато швидше.

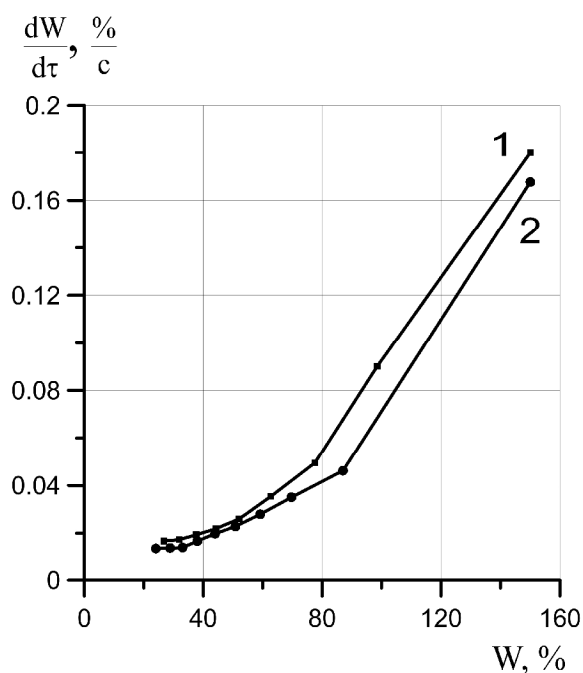


Рис. 3. Швидкість сушіння цукатів 1 – гарячих; 2 – холодних

Узагальнимо кінетичні криві сушіння з метою аналітичного розрахунку часу сушіння цукатів із груш.

Рівняння кривої швидкості сушіння в другому періоді [16] має вигляд:

$$-\frac{dW}{dt} = K(W - W_p) \quad (1)$$

де  $W$  – поточна вологість, %;  $W_p$  – рівноважна вологість цукатів, %;  $K$  – коефіцієнт сушіння,

який залежить від режиму сушіння та властивостей матеріалу, 1/с.

Інтегруючи рівняння (1), отримаємо:

$$\frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = e^{-K\tau} \quad (2)$$

де  $W_0$  – початкова вологість цукатів, %.

Для визначення коефіцієнта сушіння апроксимуємо експериментальні дані кінетики сушіння рівнянням (2). Криві апроксимації наведено на рис. 4. Точки на графіку відповідають експериментальним значенням залежно від режиму сушіння, а криві є узагальненням експериментальних даних експоненційною функцією.

Отже, рівняння (3) для процесу сушіння цукатів із груш температурою 80 °С та температурою 20 °С тепловим агентом зі швидкістю 6 м/с та початковою температурою 100 °С має вигляд

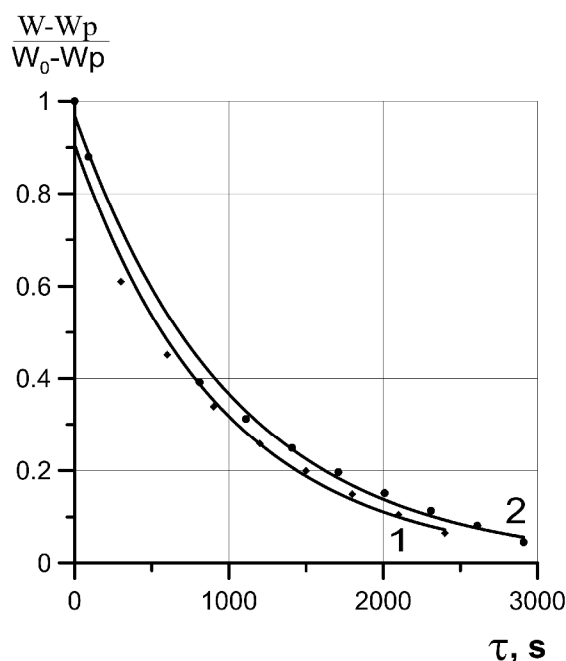


Рис. 4. Узагальнювальні криві швидкості сушіння:  
1 – гарячий цукат; 2 – холодний цукат

На рис. 5 бачимо, що процес сушіння із фільтруванням теплового агента крізь шар цукатів зональний. Розглянемо шар I (рис. 5), який першим контактує із тепловим агентом. У початковий момент часу температура теплового агента зменшується до 72 °С. Це значення дещо

$$\frac{W - W_p}{W_0 - W_p} = e^{-0,001\tau} \quad (3)$$

З рівняння (3) видно, що коефіцієнт сушіння  $K = 0,001$  1/с, а час сушіння цукатів з груш можна розрахувати згідно із такою залежністю:

$$\tau = \frac{1}{0,001} \ln \frac{W_0 - W_p}{W - W_p} \quad (4)$$

Отримане на підставі узагальнення дослідних даних рівняння (4) дає можливість розрахувати час сушіння цукатів із груш тепловим агентом швидкістю 6 м/с та температурою 100 °С.

Залежності зміни температури теплового агента під час фільтраційного сушіння в часі за висотою шару цукатів з груш наведено на рис. 5.

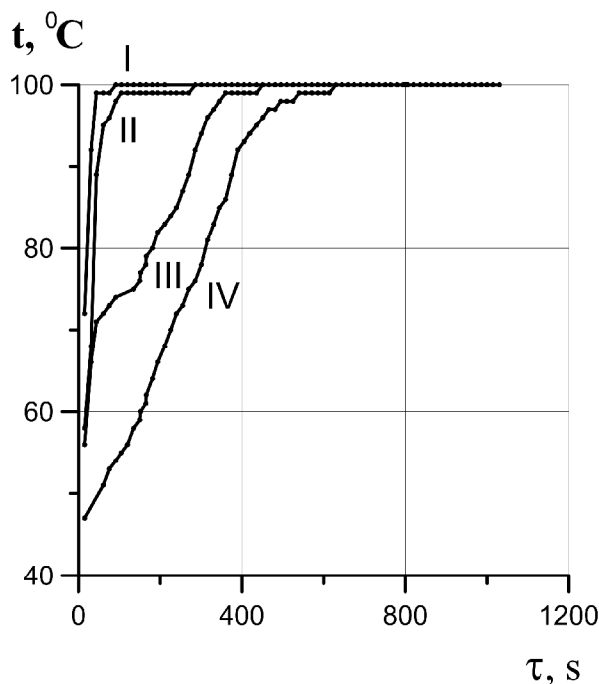


Рис. 5. Зміна температури теплового агента під час фільтраційного сушіння в часі за висотою шару цукатів, мм: I – 10; II – 40; III – 70; IV – 100

більше за температуру мокрого термометра. Таке явище пояснюється тим, що процес сушіння цукатів відбувається в період, коли швидкість зменшується, тобто в період часткового насичення теплового агента вологою. У наступний період часу (до 91 с) температура теплового

агенту зростатиме. Таке явище пояснюється тим, що під час сушіння через кожний проміжок часу випаровування вологи з матеріалу є менш інтенсивним і тепловий агент насичується вологою менше. Настає такий момент (91 с для шару І), коли температура теплового агента не змінюється і дорівнює температурі на вході в шар. Після 91 с шар І досягає кінцевої вологості, його температура дорівнює температурі теплового агента і в подальшому процесі масообміну він участі не бере.

Аналогічні процеси відбуваються із нижніми шарами. Після 286 с досягає кінцевої вологості ІІ шар, через 451 с – ІІІ шар, через 630 с – ІV шар. Після вказаних проміжків часу шари надалі в масообміні участі не беруть.

Внаслідок такого механізму сушіння цукатів із груш у шарі одночасно існують сухий шар матеріалу з температурою 100 °С, який акумулюватиме теплову енергію, і вологий шар матеріалу з температурою, нижчою за 100 °С. За певного співвідношення висот сухих та вологих шарів цукатів, коли акумульованої енергії сухих шарів буде достатньо для висушування вологих шарів, на сушіння доцільно подавати холодний тепловий агент, який охолодить верхні шари матеріалу та висушить вологий матеріал.

Відповідно до результатів експериментальних досліджень, необхідно визначити кількість частини енергії, акумульованої верхніми шарами, необхідної для випаровування вологи із нижніх шарів без нагрівання теплового агента, який фільтрується крізь загальний шар цукатів із груш. Користуючись експериментальними даними (рис. 5), побудуємо графік залежності висоти шару досягнення рівноважної вологості від часу (рис. 6).

У результаті апроксимації експериментальних даних (рис. 6) степеневою функцією отримано розрахункову залежність (5)

$$H = 4,53 \times 10^{-5} \tau^{1,198}. \quad (5)$$

Апроксимацію виконано за допомогою графічно-програмного комплексу Grapher 10.

$$S \times dH \times \rho_{cand} \times \frac{\partial W}{\partial \tau} \times dt = S \times dH \times \rho_{cand} \times \frac{\partial t_{cand}}{\partial \tau} \times c_{cand} \times dt + S \times dH \times \rho_{t.a.} \times \frac{\partial t_{t.a.}}{\partial \tau} \times c_{t.a.} \times dt \quad (6)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу шару,  $m^2$ ;  $dH$  – висота елементарної ділянки шару,  $m$ ;  $\rho_{cand}$  – густина цукатів,  $kg/m^3$ ;  $\partial W / \partial \tau$  – зміна вологовмісту теплового агента в часі за час  $dt$ ;  $r$  –

Експериментальні точки та крива степеневої функції добре узгоджуються між собою, а максимальна відносна похибка не перевищує 1,5 %, тому розрахункову залежність (5) рекомендовано для практичних розрахунків сушильного обладнання у межах висот до 120 мм, а температур 20–100 °С.

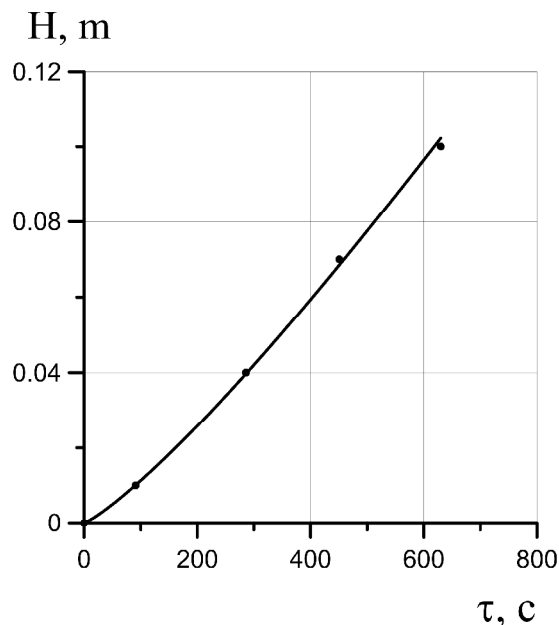


Рис. 6. Залежність висоти шару цукатів із груш від часу досягнення ним рівноважної вологості

Рівняння (5) дає змогу розрахувати висоту сухого шару цукатів в будь-який момент часу і, відповідно, час досягнення рівноважної вологості будь-якої ділянки, в межах досліджуваних висот шару.

Як видно з результатів експериментів (рис. 5–6), сушіння цукатів з груш являє собою складний тепломасообмін, в якому параметри змінюються періодично як у координатах, так і в часі [17–19].

Рівняння теплового балансу на елементарній ділянці  $dH$  у вигляді диференціального рівняння періодичного процесу сушіння у нерухомому шарі цукатів матиме вигляд:

питома теплота пароутворення  $Dж/кг$ ;  $\partial t_{cand} / \partial \tau$  – зміна температури вологого цукату в часі за час  $dt$ ;  $c_{cand}$  – теплоємність цукату  $Dж/(кг \cdot K)$ ;  $\rho_{t.a.}$  – густина теплового агента,  $kg/m^3$ ;  $\partial t_{t.a.} / \partial \tau$  – зміна

температури теплового агенту в часі за час  $dt$ ;  $c_{t.a.}$  – теплоємність теплового агенту Дж/(кг·К).

Використовуючи рівняння (6), на елементарній ділянці  $dH$  розрахуємо кількість тепла, необхідного на випаровування води ( $Q_{evap}$ ) за час  $dt$ . Узагальнення результатів наведено в таблиці.

**Кількість теплоти, необхідної на випаровування води ( $Q_{evap}$ ) на елементарній ділянці  $dH$  за час  $dt$**

$dH$ , мм	$dt$ , с	$Q_{evap}$ , кДж
10	91	78,76
40	286	99,78
70	451	157,342
100	630	154,789

Тепло, необхідне на випаровування, акумулюється сухими гарячими шарами цукатів. Його можна використати для сушіння вологих шарів. Як бачимо із результатів розрахунків, наведених в таблиці, теплоти ( $Q_{evap} = 78,76 + 99,78 + 157,342 = 335,9$  кДж), накопиченої верхніми трьома шарами цукатів, буде достатньо для сушіння нижнього шару ( $Q_{evap} = 154,789$  кДж) (рис. 1). Саме тому, в момент часу  $\tau = 451$  с, можна подавати на сушіння тепловий агент температурою  $20^\circ\text{C}$ , що забезпечить економію енергії.

Використовуючи рівняння (6), розрахуємо енергію теплового агенту температурою  $100^\circ\text{C}$ , яка витрачається на сушіння всього шару цукатів загальною висотою 110 мм та масою 550 г за 2700 с, що відповідає часу досягнення цукатами кінцевої вологості 25 %:

$$Q'_{t.a.} = 457,45 \text{ кДж.}$$

Також розрахуємо енергію теплового агенту температурою  $100^\circ\text{C}$ , яка витрачається за 451 с:

$$Q''_{t.a.} = 82,69 \text{ кДж.}$$

Під час сушіння випаровується 330 г води.

Визначимо кількість енергії на одиницю маси випарованої води, яку дає змогу застосувати запропонований енергозберігаючий метод фільтраційного сушіння:

$$q = \frac{Q'_{t.a.} - Q''_{t.a.}}{m_{\text{water}}} = \frac{457,45 - 82,69}{0,33} = 1135,64 \text{ кДж/кг}_{\text{води}}$$

Отже, припинення подавання гарячого теплового агенту в певний момент часу та охолодження верхніх шарів цукатів холодним тепловим агентом і одночасне досушування нижніх шарів цукатів дадуть змогу зменшити енергетичні затрати на процес на  $1135,64$  кДж/кг<sub>води</sub>.

## Висновки

Розроблено методику сушіння цукатів із груш фільтруванням крізь шар цукатів теплового агенту. Отримано кінетичні криві сушіння цукатів із груш. Узагальнено експериментальні дані кінетики сушіння гарячих та холодних цукатів. В результаті узагальнення визначено коефіцієнт сушіння та виведено аналітичну залежність для розрахунку часу сушіння цукатів із груш. Отримано графічні залежності зміни температури теплового агенту впродовж сушіння у часі за висотою шару цукатів. В результаті аналізу графічних залежностей доведено, що тепла, акумульовані верхніми шарами цукатів, достатньо для досушування нижніх шарів. Припинення подавання гарячого теплового агенту в певний момент часу, охолодження верхніх шарів цукатів холодним агентом, досушування нижніх шарів цукатів акумульованою енергією дали змогу зменшити енергетичні затрати на процес на  $1135,64$  кДж/кг<sub>води</sub>.

## References

- Burdo, O. G., Trishyn, F. A., Terziev, S. G., Gavrilov, A. V., Sirotyuk, I. V. (2021). Electrodynamics Processes as an Effective Solution of Food Industry Problems. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57(3), 330–344. <https://doi.org/10.3103/S1068375521030030>.
- Burdo, O. G. (2021). The role of food energy technologies in solving global mankind problems. *Problems of the Regional Energetics*, 3, 99–110. DOI:10.52254/1857-0070.2021.3-51.09.
- Burdo, O. G., Sirotyuk, I. V., Shcherbich, M. V., Akimov, A. V., Poyan, A. S. (2021). Innovation of energy technologies of food raw material dehydration and extraction. *Problems of the Regional Energetics*, 1, 86–98. <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.1-49.13>
- Kindzera, D., Hosovskyi, R., Atamanyuk, V., Symak, D. (2021). Heat transfer process during filtration drying of grinded sunflower biomass. *Chemistry & Chemical Technology*, 15(1), 118–124. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.11>
- Atamanyuk, V., Gnativ, Z., Kinzera, D., Khusanov, A., Kaldybaeva, B. (2020). Hydrodynamics of cotton filtration drying. *Chemistry & Chemical*

Technology, 14(3), 426–432. <https://doi.org/10.23939/chcht14.03.426>

6. Ivashchuk, O. S., Atamanyuk, V. M., Gnativ, Z. Ya., Chyzhovych, R. A., Zhrebetskyi, R. R. (2021). Research into kinetics of filtration drying of alcohol distillery stillage. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2021(4), 58–65. DOI: 10.32434/0321-4095-2021-137-4-58-65.

7. Burdo, O., Bezbah, I., Zykov, A., ...Mazurenko, I., Li, Y. (2020). Development of power-efficient and environmentally safe coffee product technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1, 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194647>.

8. Korinchuk, D. N., Snezhkin, Y. F. (2018). Simulation of the High-Temperature Drying of a Composite Mixture in an Air Drier for Production of a Biocombustible. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 91(5), 1155–1164. DOI:10.1007/s10891-018-1844-6.

9. Mykhailik, V. A., Snezhkin, Y. F., Dmitrenko, N. V. (2015). Investigation of the State of Water in Energy Trees in the Process of Drying by Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 88(5), 1093–1099. DOI:10.1007/s10891-015-1288-1

10. Mikhailik, V. A., Dmitrenko, N. V., Snezhkin, Y. F. (2019). Investigation of the Influence of Hydration on the Heat of Evaporation of Water From Sucrose Solutions. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 92(4), 916–922. DOI:10.1007/s10891-019-02003-8

11. Burdo, O., Bezbakh, I., Zykov, A., ... Zhengzheng, S., Phylipova, L. (2021). Development of the Design and Determination of Mode Characteristics of Block Cryoconcentrators for Pomegranate Juice. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230182>.

12. Burdo, O., Bezbah, I., Kepin, N., ...Bandura, V., Mazurenko, I. (2019). Studying the operation of innovative equipment for thermomechanical treatment and dehydration of food raw materials. *Eastern-European*

*Journal of Enterprise Technologies*, 5(11–101), 24–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178937>.

13. Burdo, O. G., Bandura, V. N., Levtrinskaya, Y. O. (2018). Electrotechnologies of Targeted Energy Delivery in the Processing of Food Raw Materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 54(2), 210–218. DOI: 10.3103/S1068375518020047.

14. Burdo, O. G., Kovalenko, E. A., Kharenko, D. A. (2008). Intensification of the processes of low-temperature separation of food solutions. *Applied Thermal Engineering*, 28(4), 311–316. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2006.02.035.

15. Huzova, I. (2020). Investigation of the energy-saving method during candied fruits filtration drying. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 64(4), 555–561. <https://doi.org/10.3311/PPch.15107>.

16. Burdo, O., Bandura, V., Zykov, A., Levtrinskaya, J., Marenchenko, E. (2017). Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11–88), 34–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108843>.

17. Sorokovaya, N. N., Snezhkin, Y. F., Shapar', R. A., Sorokovoi, R. Y. (2019). Mathematical Simulation and Optimization of the Continuous Drying of Thermolabile Materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 92(5), 1180–1190. DOI:10.1007/s10891-019-02032-3.

18. Nikitenko, N. I., Snezhkin, Yu. F., Sorokovaya, N. N. (2008). Development of a theory and methods for calculating the heat and mass transfer in drying a porous body with multicomponent vapor and liquid phases. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 81(6), 1153–1167. DOI: 10.1007/s10891-009-0132-x.

19. Huzova, I. O., Atamanyuk, V. M. (2021). Mathematical interpretation of dynamics of temperature change during drying of hot monodisperse layer of organic raw materials. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(3), 278–288. <https://doi.org/10.15421/082030>.

I. O. Huzova, V. M. Atamanyuk  
Lviv Polytechnic National University,  
Department of Chemical Engineering

#### STUDY OF KINETICS AND ENERGY SAVING METHOD IN THE PROCESS OF DRYING CANDIED FRUITS FROM PEARS

The kinetics of the process of drying hot (80 °C) and cold (20 °C) candied pears were studied. The drying coefficient is found and an analytical dependence is derived for the drying time calculation. Experimental data of the change in the temperature of the thermal agent along with the height of the candied fruit layer was obtained. It was proven that stopping the supply of a hot thermal agent at a certain point in time, cooling the upper layers of candied fruit with a cold thermal agent, and simultaneously drying the lower layers of candied fruit will reduce the energy costs of the process by 1135.64 kJ/kg<sub>water</sub>.

**Key words:** candied fruits; temperature; kinetics; drying; energy saving.