

## РІВНЯННЯ МАСООБМІНУ ПРОЦЕСУ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ РІПАКУ З ВІБРОХВИЛЬОВИМ ТРАНСПОРТУВАННЯМ ПРОДУКЦІЇ

<sup>1</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України;  
Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету

### *Анотація*

*Результатом фізико-математичного моделювання досліджуваного процесу віброхвильового терморадіаційного сушіння стало отримання рівняння масообміну при застосуванні другої теореми подібності та введення у математичну модель критеріїв Стантона, Фруда, Бурдо, величини яких відображаються через основні фактори впливу та були знайдені експериментально.*

**Ключові слова:** інфрачервоне опромінення, терморадіаційне сушіння, ріпак, теорія розмірностей, віброхвильове транспортування, віброконвеєрна машина, псевдорозріджений шар.

### Вступ

За терморадіаційного сушіння коефіцієнт теплообміну має значну величину та протяжність процесу сушіння порівняно з конвективним або кондуктивним способом зменшується у 30...100 разів [1,2]. За рахунок співпадання напрямів градієнтів температур та вологовмісту швидкість такого сушіння значно перевищує швидкість конвективного сушіння, хоча реалізація його вимагає у 3...4 рази більше енерговитрат [3, 4]. Конструктивне удосконалення терморадіаційних сушарок протягом останніх років дозволило зрівняти енерговитрати при їх експлуатації з конвективними апаратами, а застосування вібраційних та хвильових ефектів дало можливість значно зменшити теплові навантаження на шари продукції; що зумовило актуальність розробки перспективних схем процесів та обладнання для сушіння в умовах інфрачервоного опромінення.

*Метою роботи є отримання математичної залежності між основними параметрами процесу інфрачервоного сушіння на основі опрацювання результатів експериментальної оцінки сушіння та віброхвильового транспортування сипких мас ріпаку та сої при використанні критеріїв подібності та теорії розмірностей.*

### Результати дослідження

Під час обробки харчової сировини в полі інфрачервоного опромінювання за умов відкритого робочого простору полягає в тому, що електромагнітні хвилі від джерела випромінювання проникають у продукт на глибину до 2 мм і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється у теплову, що викликає нагрівання продукту. Змонтовані у котках стрічки механічні віброзбуджувачі створюють на поверхні гнучкого вантажонесучого органу біжучої або стоячої хвилі [5, 6] забезпечує як транспортування продукції, так і інтенсивне її перемішування. Тим самим зменшується теплова інтенсивність на поверхневий шар при збереженні достатньо високої швидкості потоку. При цьому достатньо забезпечити коливання тільки даних котків для підтримання високої кінетики досліджуваного процесу, що значно зменшує енерговитрати на привод порівняно з існуючими віброконвеєрними терморадіаційними установками.

Експериментальний аналіз таких параметрів процесу як питома маса продукції  $P_s$ , швидкість транспортерної стрічки  $v_c$ , розміри часток сировини  $d_3$ , густина вологи  $\rho_B$ , коефіцієнт теплопроводності  $a$ , об'ємна продуктивність процесу за вологою  $P_v$ , питома температура пароутворення  $r$ , потужність опромінення  $N_{оп}$ , енергія  $Q_B$  для пароутворення при застосуванні чисел подібності та теорії розмірностей дозволили отримати рівняння масообміну досліджуваного процесу терморадіаційного сушіння ріпаку.

$$St = 2Pe^{1.08} Bu^{1.2} \cdot \frac{1}{\nu} \left( \frac{\Pi_V r}{a^3} \right)^{1.2} \cdot \left( \frac{P_s d}{\rho} \right)^{1.56}$$

Представлена модель дозволяє отримати математичну інтерпретацію залежності між основними характеристиками процесу з можливістю подальшого аналізу закономірностей їх зміни.

### Висновки

За даними експериментальних досліджень, при використанні методу «аналізу розмірностей» та теореми Федермана- Букінгема було побудовано критеріальне рівняння процесу масообміну при інфрачервоному сушінні у рухомому шарі продукції, що визначається критеріями Пекле, Стантона, Бурдо, функцією, яка характеризує продуктивність досліджуваного процесу; та дозволяє сформулювати рекомендований ряд параметрів робочого режиму.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Şevik, S., Aktaş, M., Dolgun, E. C., Arslan, E., Tuncer, A. D.: Performance analysis of solar and solar-infrared dryer of mint and apple slices using energy-exergy methodology. *Solar Energy*, 180, 537–549 (2019).
2. Delfiya, D. A., Prashob, K., Murali, S., et al.: Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810 (2022).
3. Sun, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S.: Recent developments of artificial intelligence in drying of fresh food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(14), 2258–2275 (2019).
4. Selimefendigil, F., Özcan Çoban, S., Öztör, H. F.: Convective drying of a moist porous object under the effects of a rotating cylinder in a channel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(5), 1569–1590 (2020).
5. Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., Sarana, V., Heipel, Y., Borodych, B.: Technical and economic substantiation of the process of semi-fluidisation treatment of fruit and berry products. *Animal Science and Food Technology* 13(2), 35–43 (2022).
6. Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., Gudzenko, M., Sarana, V., Mukoid, R. (2021). Hydrolysis of vegetable raw pectin-containing materials under vibration and centrifugal mixing of liquid environment. In: Ivanov, V., et al. (eds). *Advances in Design, Simulation, and Manufacturing V. DSMIE-2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 277–286. Springer International Publishing. (2022). [doi](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_28): 10.1007/978-3-030-77823-1\_28

**Паламарчук Ігор Павлович** — професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, е-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com), Київ.

**Паламарчук Владислав Ігоревич** — канд. техн. наук, доцент Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, е-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com), Вінниця.

### *The mass exchange equation of the infrared drying process of canola with vibratory wave transportation of the product*

#### **Abstract**

*The result of physical-mathematical modeling of the investigated process of vibration-wave thermoradiation drying was obtaining the mass transfer equation when applying the second theorem of similarity and introducing into the mathematical model the Stanton, Froude, Bourdeau criteria, the values of which are displayed through the main influencing factors and were found experimentally.*

**Keywords:** infrared irradiation, thermal radiation drying, rapeseed, theory of dimensions, vibration wave transportation, vibroconveyor machine, fluidized bed.

**Igor Palamarchuk P.** — Professor of National University Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, e-mail: [vibroprocessing@gmail.com](mailto:vibroprocessing@gmail.com)

**Vladislav Palamarchuk I.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of <sup>1</sup>Vinnitsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics, e-mail: [kupc1989@gmail.com](mailto:kupc1989@gmail.com), Vinnitsia