



UDC 664.655.041–37

Volodymyr Fedorov¹, TSD., Prof.
Oleg Kepko², PhD., Assoc.
Valentyna Kepko³, PhD., Assoc.
Andrii Berezovskyi², PhD., Assoc.
Oleksandr Trus², PhD., Assoc.
Eduard Prokopenko², PhD., Assoc.
Svitlana Zhurilo², Senior Lecturer

ORCID: 0000-0002-4453-4122
ORCID: 0000-0003-1443-307X
ORCID: 0000-0001-6432-7211
ORCID: 0000-0002-9526-3721
ORCID: 0000-0002-9493-5469
ORCID: 0000-0003-4642-7635
ORCID: 0000-0002-0533-0485

¹*Professor-consultant, Ukraine*

²*Uman National University of Horticulture*

³*Bila Tserkva National Agrarian University*

e-mail: alex_trus@ukr.net, тел.: 097-944-45-45

STUDY OF TECHNOLOGICAL AND COMMERCIAL INDICATORS OF ORIENTAL TYPES OF FLATBREAD DUDING BACKING IN A TANDOOR

Summary. National eastern types of flatbread (lavash, Obi-non, Dambinon etc.) are baked both in mechanized and manually operated ovens for individual or mass use of finished products. Among the last type of ovens, the most widespread is the tandoor with an electric or gas source of heat supply.

Two types of thermoelectric sensors were used to study the external and internal heat and mass exchange during baking of flatbread in Uzbek horizontal tandoor. These are the thermocouples for temperature measurement and primary converters of the heat flow density transmitted from the outside to the dough and into the middle of the product, as well as an electronic scale to determine the loss of mass.

The thermometric monitoring of the baking of Obi-non flatbreads made it possible to show the technological and commercial advantages of the tandoor over baking in mechanized ovens, as well as to compare the dynamics of temperature changes in the center of the flatbread dough with the theoretical solution of the problem of thermal conductivity in the plate.

The recommendations for the distribution of energy sources in mechanized ovens and the design of their hearthstone (bottom) have been developed.

Key words: oriental flatbreads, heat supply distribution, heat balance, material balance, energy-saving and organoleptic indicators.



Formulation of the problem. The baking chamber of the tandoor has the shape of a horizontally located pot with an open narrow part, through which round-shaped dough pieces are stuck onto the surface of the pan heated by an infrared burner. Thus, heat is supplied from the «hearth» by heat conduction, from the burner – by radiation and from the environment of the baking chamber – by convection.

The small-sized (10 x 10 x 1.2 mm) quick-response heat flow sensors [1–3] with the thermocouples mounted in them were pressed into the experimental piece from both sides in the center, and a separate thermocouple was placed in the center. The temperature of the baking chamber environment and the weight loss of the flatbread were also measured. These data were obtained by direct measurement of the heat flow density using small-sized, low-inertia thermometers that do not interfere with the flow of the technological process.

During the research, methods of organoleptic, physico-chemical, functional-technological and structural-mechanical research were used [4–6].

Formulation of the aim of work. Eastern types of bread are still baked in tandoors and traditional ovens with manual service. The research objective is to study the time and space thermal load on the product, to summarize the thermal and material balances, to compare the results with known data of baking flatbreads in mechanized ovens. In addition, it became possible to check the analytical solution of the problem with non-homogeneous boundary conditions due to the simple geometric shape of flatbreads.

The main part. Data averaged by statistical processing from the baking of six 0.2 kg Obi-non flatbreads at an ambient temperature of 175...185 °C (Fig. 1, curve 1) give simple kinetic dependences for the temperatures of the lower t_l (which contacts with the «hearth») 2, the upper t_u of the 3 surfaces and the center t_c 4 as well as for heat loads – from the contact q_1 5 and the radiative and convective q_2 6.

Balance calculations gave positive results: heat was supplied (per 1 kg of product) from the «hearth» with a thermal conductivity of 72 kJ/kg and the radiant-convective one – 233 kJ/kg. Calculation according to the equation of theoretical heat consumption, taking into account the cost of mass loss, gave 293 kJ/kg.

Since the difference in the total heat flow was less than 4.1 %, an attempt was made to verify the solution of the direct problem of thermal conductivity of a one-dimensional body (plate) with a known variable heat flow on one surface and, for clarity, with a known variable temperature on the second surface [7–11].

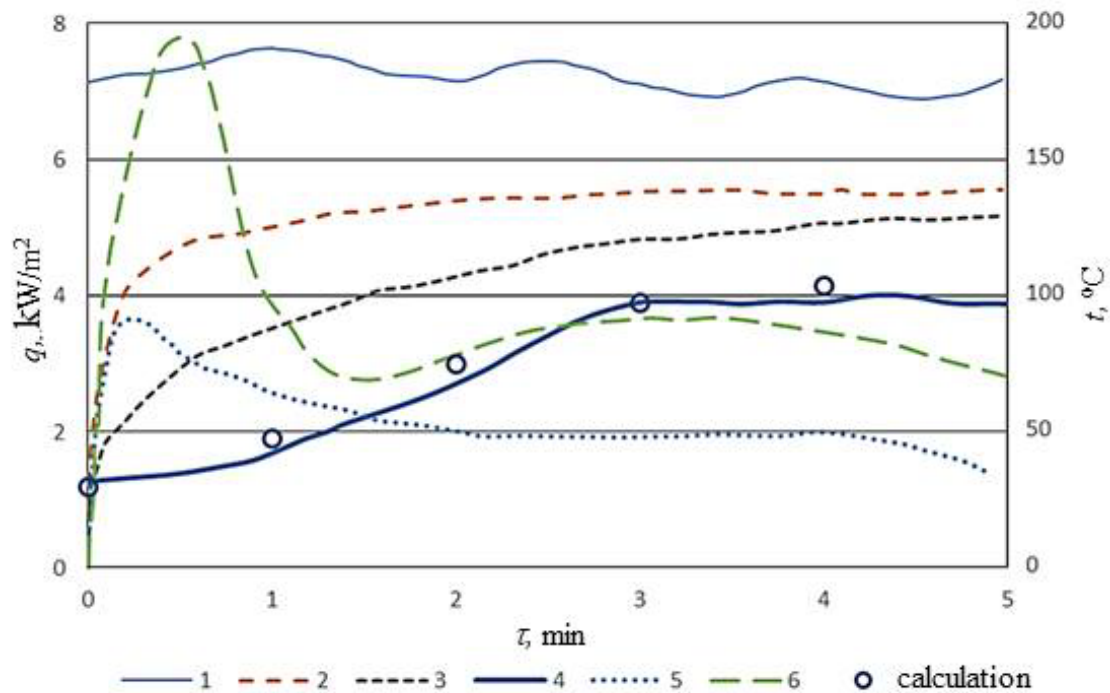


Figure 1. Change in temperature and heat loads on both sides of Obi-non flatbread during baking in a tandoor

The simplest approximation equations were obtained for q_l and t_u :

$$q_1(\tau) = 2000 + 2300 \cdot e^{-1,52\tau} \quad (1)$$

$$t_u(\tau) = 130 - 96 \cdot e^{-0,83\tau} \quad (2)$$

where τ – time, min;

q_l – heat flow density on the surface of the flatbread from the side, W/m²;

t_u – exterior wall (the upper) temperature.

Substitution of the coefficients from (1) and (2), as well as the thermophysic characteristics of flatbread dough from [12, 13] – heat conductivity $\lambda(\tau) - 0.29...0.26$ W/(m·K) and thermal conductivity $\alpha(\tau) - (1...2) \cdot 10^{-7}$ m²/s, made it possible to compare experimental and calculated temperature data in the center of the flatbread. During the calculation $t_u(\tau)$ changes in the thickness of the flatbread h during baking were taken into account according to the simplest linear dependence (since λ was measured only at the beginning and end of baking), as well as the change in the effective α due to the heat of moisture evaporation. The calculation was carried out for $\tau = 0; 1; 2; 3; 4$ min. In Figure 1 the results are plotted in circles.



Good data coincidence allows to hope that, based on the results of thermometric studies of various technological processes, it is possible to obtain new «inverse» information, as during the study of the dependence of the thermal conductivity of cream on fat content, an almost functional inverse dependence was obtained [14–16]. It can significantly reduce the time of determination of cream fat content during their processing. Now it will be possible to find out in what state – in the form of liquid water or steam – the moisture in the middle of the flatbread dough moves at any moment in time.

The comparison of the above data was made with the results of baking flatbreads in Danko–Sultan-Khodzaiev, Bruver–Salikhov and BN–50 ovens [17, 18]. The experiments were carried out in production conditions without changing the baking modes. The measuring equipment and measurement points were the same, but all thermometers and thermocouples had compensating leads of sufficient length to allow monitoring of the baking from the beginning to till the end.

In Danko–Sultan-Khodzaiev, Bruver–Salikhov ovens the Obi-non flatbreads weighing 0.2 kg were baked and in the BN–50 oven – the Dambi-non flatbreads weighing 0.5 kg.

We compared the amount of heat that reached the outer surface of the flatbread per 1 kg of dough Q_1 , to the contact surface Q_2 and their sum $Q = Q_1 + Q_2$, as well as the theoretical consumption Q_T , and the mass loss $\Delta m/m$ in percent and imbalance $(Q_T - Q)/Q_T \cdot 100$ (Table 1).

Table 1

Heat and material balances of furnaces

Oven	$\Delta m/m$	Q_1	Q_2	Q	Q_T	$\pm\%$
Bruver–Salikhov oven	6,5	198	128	326	340	+ 4,1
Danko–Sultan-Khodzaiev oven	8,5	174	193	367	394	+ 6,9
BN–50 oven	12,5	296	125	421	470	+ 10,4
Tandoor	4,6	233	72	305	293	– 4,1

To compare the kinetics of heat supply to flatbreads in different ovens, the parametric numbers $\pi_\tau = \tau/\tau_f$ та $\pi_\alpha = q_c/q$, were used, where τ is the current baking time, τ_f is the final baking time, q_c and q are the current and final intensity of heat supply from the hearth.

The results of the calculation of the dependence of π_α from π_τ showed that it is the most stable for the tandoor: in the initial period (up to $\pi_o = 0.5$), π_q ranges from 0.3 to 0.43, and subsequently it is maintained at the level of 0.3 (Fig. 2). For the BN–50 oven, π_q ranges strongly (from 0.1 to 0.5), for the other two, it initially ranges from 0.6 to 0.7 and gradually decreases to 0.3. Figure 2 also shows the change in the total heat inflows $q(\pi_\tau)$ for the

tandoor and the Bruver–Salikhov oven.

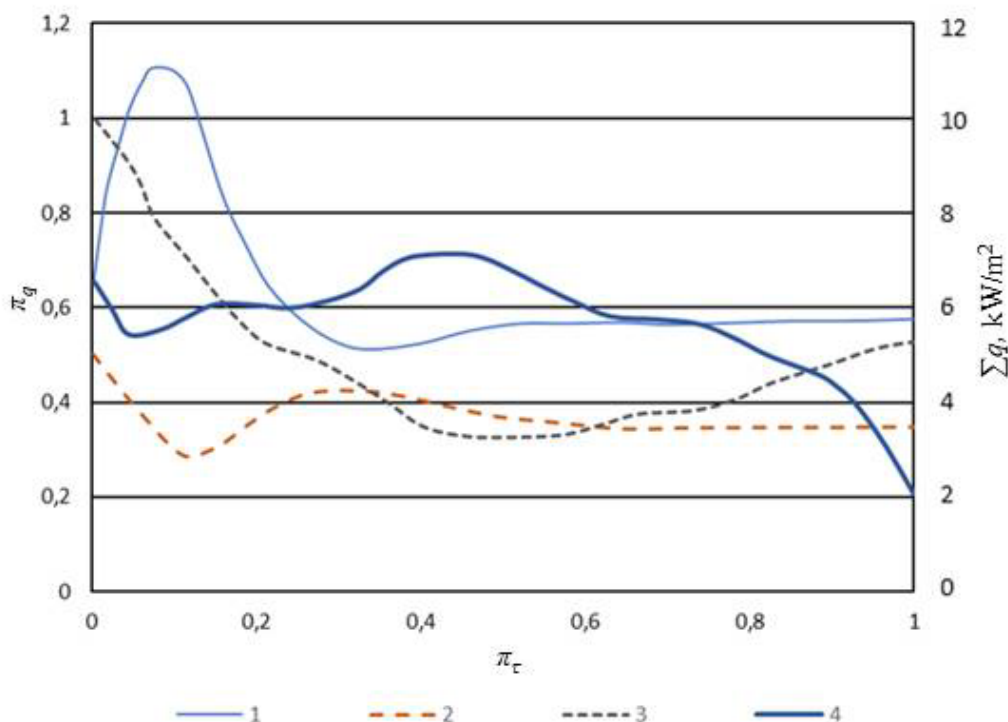


Figure 2. Comparison of the total heat release rate Σq and the share of energy supplied from below π_q , for a tandoor (1, 3) and Bruver–Salikhov oven (2, 4)

From Table 1 and Fig. 2, it can be seen that the supply of heat in the tandoor is uniform, and its consumption for baking is the smallest. The loss of mass in this oven is also the smallest (this is due to the uniform moistening of the flatbreads). The organoleptic indicators of finished products for the tandoor are also the highest [19–21].

Conclusions. During the construction and adjustment of ovens for oriental flatbreads, the kinetics of heat transfer curves 5 and 6 of Figure 1, curves 1 and 3 of Figure 2 should be used. It is necessary to monitor the uniform moistening of the dough pieces.

References

1. Федоров В. Г., Геращенко О. А. Датчик для измерения локальных тепловых потоков. А.с. 159048. *Бюллетень изобретений*. 1963. № 23. С. 58.
2. Knauss H., Roediger T., Gaisbauer U., Kraemer E., Bountin D. A., Smorodsky B. V., Maslov A. A., Sculijes J., Sailer F. A Novel Sensor for Fast Heat Flux Measurements. AIAA Paper 2006-3637. San Francisco. 2006. 32 p.
3. Knauss H., Roediger T., Bountin D. A., Smorodsky B. V.,



Maslov A. A., Scruelijes J. Novel Sensor for Fast Heat-Flux Measurements. *AIAA Journal of Spacecraft and Rockets*. 2009. Vol. 46(2). P. 255–265.

4. Дорохович А. Н., Дорохович В. В., Теличкун В. И., Ташева С., Вълчев Г. Обоснование режима выпечки мучных кондитерских изделий. *Научни трудове на УХТ «Хранителна наука, техника и технологии»*. 2012. Том 59. С. 785–790.

5. Дудко С., Малиновський В., Оболкіна В. Термообробка борошняних кондитерських виробів. *Продовольча індустрія АПК*. 2017. Вип. 5. С. 22–24.

6. Neill G., Al-Muhtaseb Ala'a H., Magee T. R. A. Optimisation of time/ temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*. 2012. Vol. 113(3). P. 422–426.

7. Федоров В. Г. Повышение эффективности процессов и аппаратов пищевых производств на основе методов измерения тепломассометрии : автореф. дис. ... докт. тех. наук. Киев, 1983. 36 с.

8. Алиев С. Размытие фазовых переходов в полупроводниках и высокотемпературных сверхпроводниках. Баку : ЭЛМ, 2007. 298 с.

9. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П. Фазовые переходы в молекулярных кристаллах n-алкано-спиртов. *Физика твёрдого тела*. 2008. Т. 50(1). С. 123–129.

10. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П., Nakamura N. Особенности фазовых переходов в молекулярных кристаллах диолов. *Физика твердого тела*. 2009. Т. 51(10). С. 2006–2011.

11. Егоров В. М., Марихин В. А., Мясникова Л. П. Фазовые переходы в молекулярных кристаллах дикарбоновых кислот. *Физика твердого тела*. 2013. Т. 55(5). С. 975–980.

12. Федоров В. Г., Скарбовійчук О. М., Кепко О. І., Кравчук П. О. Теплофізичні характеристики продуктів і матеріалів АПК: довідник. Умань: Редакційно-видавничий відділ Уманського НУС, 2014. 352 с.

13. Fecht H.-J., Wunderlich R., Battezzati L., Etay J., Ricci E., Seetharaman S., Egly I. Thermophysical Properties of Materials. *Europhysics News*. 2008. Vol. 39(5). P. 19–21. DOI: 10.1051/epn:2008501.

14. Кепко В. М., Федоров В. Г., Кепко О. І., Пушка О. С. Використання кореляції товарознавчих і теплофізичних характеристик вершків для їх експертизи. *Science and technology of the present time: priority development directions of Ukraine and Poland: Proceedings International multidisciplinary conference, Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October, 2018*. Wolomin: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 102–106.

15. Wang Yunna, Li Yang, Han Jie, Li Yan, Zhang Liebing. Effect of Melting Point on the Physical Properties of Anhydrous Milk Fat. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 274(1). pp. 012072.



16. Li B. Z., Truong T., Bhandari B. Crystallization and melting properties of mixtures of milk fat stearin and omega-3 rich oils. 2017. Vol. 218. P. 199–206.
17. Зубков А. Ф., Теличкун В. И., Михелев А. А., Федоров В. Г. Кинетика теплоподвода при выпечке национальных сортов хлеба. *Хлебопекарская и кондитерская промышленность*. 1976. № 3. С. 19–20.
18. Le-bail A., Dessev Tz., Leray D., Lucas T., Mariani S., Mottollese G., Jury V. Influence of the amount of steaming during baking on the kinetic of heating and on selected quality attributes of bread. *Journal of Food Engineering*. 2011. Vol. 105(2). P. 379–385.
19. Tolstorebrov I., Eikevik T. M., Bantle M. A. DSC determination of phase transitions and liquid fraction in fish oils and mixtures of triacylglycerides. *Food research international*. 2014. T. 58. P. 132–140.
20. Upadhyay N., Goyal A., Kumar A., Lal D. Detection of adulteration by caprine body fat and mixtures of caprine body fat and groundnut oil in bovine and buffalo ghee using differential scanning calorimetry. *International Journal of Dairy Technology*. 2017. Vol. 70(2). P. 297–303.
21. Phinney D. M., Frelka J. C., Heldman D. R. Composition-based prediction of temperature-dependent thermophysical food properties: Reevaluating component groups and prediction models. *Journal of food science*. 2017. T. 82(1). P. 6–15.

Стаття надійшла до редакції 21.04.2023 р.

**В. Федоров¹, О. Кепко², В. Кепко³, А. Березовський²,
О. Трус², Е. Прокопенко², С. Журило²**

¹Професор-консультант

²Уманський національний університет садівництва

³Білоцерківський національний аграрний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І ТОВАРНИХ ПОКАЗНИКІВ СХІДНИХ СОРТІВ КОРЖИКІВ ПІД ЧАС ВИПІКАННЯ В ТАНДИРІ

Анотація

Національні східні сорти коржиків (лаваш, обі-нон, дамбі-нон, тощо) випікають як в механізованих так і в печах з ручним обслуговуванням для індивідуального або масового використання готової продукції. Серед останнього типу печей найбільш поширюється тандир з електричним або газовим джерелом підведення теплоти.

Для дослідження зовнішнього та внутрішнього тепломасообміну під час випікання коржиків в узбецькому горизонтальному тандирі використовували два типи термоелектричних датчиків – термопари для вимірювання температури та первинні перетворювачі густини теплового потоку, що передається зовні до тіста коржика та в середину виробу, а також електронна вага для визначення убитку маси.



Балансові розрахунки показали, що теплота, яка підводилась (на 1 кг продукції) від «черіння» теплопровідністю становить 72 кДж/кг, а променисто-конвективно – 233 кДж/кг. Розрахунок за рівнянням теоретичної витрати теплоти з врахуванням витрати на убуток маси склав 293 кДж/кг.

Оскільки різниця в сумарній витраті теплоти склала менше 4,1 %, зроблена спроба перевірки розв'язання прямої задачі теплопровідності одномірного тіла (пластини) з відомим змінним тепловим потоком по одній поверхні та, для однозначності, з відомою змінною температурою на другій поверхні.

Теплометричний і термометричний моніторинг випікання коржиків обі-нон дав можливість показати технологічні і товарні переваги тандира перед випіканням у механізованих печах, а також порівняти динаміку зміни температури в центрі тіста коржика з теоретичним розв'язанням задачі теплопровідності в пластині. Проведено порівняння даних із результатами випікання коржиків у печах Данько – Султан-ходжаєва, Брувера – Саліхова та БН–50. Дослідження проводили у виробничих умовах без зміни режимів випікання. Вимірювальна апаратура і точки вимірювання були такими ж, але усі тепловіри і термопари мали компенсаційні провідники достатньої довжини, щоб забезпечити моніторинг випікання від початку до кінця.

Вироблені рекомендації до розподілу джерел енергії в механізованих печах та конструкції їх подиків (подів).

Ключові слова: східні коржики, розподіл тепlopідведення, тепловий баланс, матеріальний баланс, енергоощадні та органолептичні показники.