

УДК 664.65

COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF HEATING DOUGH BLANK FOR THE PRODUCTION OF LAVASH ENRICHED WITH FOOD ADDITIVES

O. Brukva, S. Blagenko, E. Babko, V. Olishevskyy*National University of Food Technologies***Key words:**

Dough,
Gum,
Flour,
Density

Article history:

Received 05.05.2023
Received in revised form
26.10.2023
Accepted 27.10.2023

Corresponding author:

babkoe@ukr.net

ABSTRACT

Expanding the range of bakery products and increasing their demand requires manufacturers to adopt new approaches to equipment and technological support for their production.

At the same time, dough blanks are baked in ovens with different design characteristics, operating principles, heating methods and modes of their operation, which ultimately affects their quality characteristics of finished products.

Improving the processes of baking thin products that are enriched with food additives is an urgent task, the solution of which will ensure more efficient use of energy resources.

The purpose of the research is to improve the process of baking dough for Armenian pita bread enriched with food additives.

When baking bakery products, in most cases, the process of heat exchange is carried out by radiation, convection and heat conduction, but the dominant amount of heat is transferred by radiation. The heating of thin workpieces has its own characteristics, which are determined by its shape, size and thermophysical properties. The study of the heat exchange process was carried out using the Autodesk CFD modeling system.

The material of the research is dough from wheat flour of the highest grade for the production of pita bread enriched with food additives. Gum, wheat bran and oat flour were used as food additives. The research method is numerical simulation.

Numerical modeling of the heat exchange process in the furnace was carried out. Dough options for Armenian lavash without and with food additives were created and calculated.

It was established that the duration of heating the dough with additives is longer than without additives.

The closest to the baking process of the control sample was the dough sample with the recipe to which wheat bran was added, its temperature was 1.8% higher at the end of the process and 0.03% of the total average temperature throughout the process.

The obtained results indicate that the addition of food additives in the dough recipe affects the process of its baking. It was established that the duration of heating the dough with additives is longer than without additives. The need to adjust the process parameters, such as temperature and duration of stay in the furnace, is determined.

DOI: 10.24263/2225-2916-2023-33-34-13

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОГРІВАННЯ ТІСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛАВАШУ, ЗБАГАЧЕНОГО ХАРЧОВИМИ ДОБАВКАМИ

О. Ю. Бруква,

С. І. Блаженко, канд. техн. наук,

Є. М. Бабко, канд. техн. наук,

В. В. Олішевський д-р технічних наук

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати комп'ютерного моделювання процесу прогрівання тістової заготовки для виготовлення лавашу, збагаченого харчовими добавками.

За допомогою програмного забезпечення Autodesk CFD були проведені дослідження чисельним моделюванням, створені та прораховані варіанти тіста для вірменського лавашу без та з додаванням до нього харчових добавок. Результати моделі підтверджують доцільність використання моделювання для розрахунку процесу прогрівання тіста-лаваша.

Отримані результати свідчать про те, що додавання харчових добавок у рецептурі тіста впливають на процес його випікання. Встановлено, що тривалість нагрівання тіста з добавками більша, ніж без добавок. Визначена необхідність регулювання параметрів процесу та тривалість перебування у печі.

Ключові слова: тісто, камедь, борошно, теплоємність.

Постановка проблеми. Розширення асортименту хлібобулочних виробів та підвищення на них попиту вимагає у виробників нових підходів до апаратурно-технологічного забезпечення їх виробництва.

При цьому випікання тістових заготовок відбувається в печах із різними конструктивними характеристиками, принципів роботи, способів обігріву та режимів їх роботи, що в кінцевому варіанті впливає на якісні характеристики готових продуктів. Нині висока якість хлібобулочної продукції забезпечується не тільки практичними знаннями і великим досвідом фахівців, а й теоретичним знаннями, що необхідні для детального вивчення і моделювання процесів, які відбуваються у заготовці при випіканні, що важливо для подальшого розвитку пічної техніки. Для цього успішно використовуються інструменти як фізичного моделювання, так і сучасні програмні пакети автоматизованого проектування [1—8]. У літературі описані математичні моделі випікання масивних виробів (хліб, булки) і тонких виробів (лаваш, коржі). При цьому відсутні дані досліджень моделі прогріву тіл, які відносяться до перехідної області від тонких до масивних тіл. Тому удосконалення процесів випікання тонких виробів, які збагачені харчовими добавками, є актуальним завданням, вирішення якого забезпечить більше ефективне використання енергоресурсів [9—11].

У формуванні об'єму пшеничного хліба, структури та еластичності його м'якучки основна роль належить клейковинним білкам, які утворюють у тісті еластичний каркас, що забезпечує газо- і формоутримувальну здатність тіста, обумовлює хороші показники якості готових виробів. Для формування структури тіста і хліба з безглютенової сировини використовують харчові добавки — структуроутворювачі. Здебільшого це камеді рослинного або мікробіологічного походження, похідні ефі-

рів целюлози, пектини, альгінати тощо [12]. Рослинні камеді відносяться до групи галактомананів — сахаридів, що складаються з манози і галактози в різному співвідношенні. Це нейтральні полісахариди без іонних властивостей. Камедь гуара має найкращу розчинність у холодній воді, утворює в'язкі псевдопластичні розчини, є хорошим емульгатором. Близькою за властивостями до камеді гуара є камедь тари. Камедь рожкового дерева у холодній воді не розчиняється, вона розчинна за температури 45 °С. Ці камеді зареєстровані як харчові добавки: камедь гуару — E412, тари — E417, рожкового дерева — E410. Камеді гуара і тари широко використовуються у хлібопекарській, кондитерській, консервній промисловості як структурують-ворювачі, загусники, вологоутримуючі агенти. Камедь рожкового дерева використовується в меншій мірі через погану розчинність у тістових системах, що мають температуру 28—32 °С. Ксантанова камедь (E415) продукується мікроорганізмами *Xanthomonas campestris*. Вона являє собою екзополісахарид, головний ланцюг якого ідентичний молекулі целюлози, а бокові — це залишки молекул глюкози, манози, глюкуронової та піровиноградної кислот ацетильних груп [12]. За даними низки дослідників, ця камедь є кращим структурують-ворювачем порівняно з іншими камедями, проявляє синергічні властивості за використання з камедями природного походження. Так, у Харківському державному університеті харчування та торгівлі доведена доцільність використання 0,2—0,3% цієї камеді до маси крохмалю в технології безбілкових хлібобулочних виробів [13]. У НУХТ розроблена технологія безглютенного хліба із суміші крохмалів і борошна круп'яних культур за використання як структурують-ворювача 1% камедей гуару і ксантану у співвідношенні 70:30 [13]. Цю камедь успішно використовують також у технології кексів з рисового борошна. Проте широке використання цієї камеді дещо стримується її вартістю, яка значно дорожча за інші структурують-ворювачі.

У пропонованому дослідженні вперше представлені результати моделювання в симуляційному середовищі програми Autodesk CFD процесу прогріву тонких тістових заготовок, які збагачені харчовими добавками.

Метою дослідження є удосконалення процесу випікання тіста для вірменського лавашу, збагаченого харчовими добавками.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити вплив температури робочої камери на тепломасообмінні процеси;
- обґрунтувати раціональні параметри режиму випікання тонких виробів з урахуванням моделювання в симуляційному середовищі програми Autodesk CFD.

Матеріали і методи. При випіканні хлібобулочних виробів у більшості випадків процес теплообміну здійснюється випромінюванням, конвекцією і теплопровідністю, але домінуюча кількість теплоти передається випромінюванням. Прогрів тонких заготовок має свої особливості, які обумовлені його формою, розміром і теплофізичними властивостями. Дослідження процесу теплообміну проводилось за допомогою системи моделювання Autodesk CFD.

Матеріалом дослідження є тісто з пшеничного борошна вищого сорту для виготовлення лавашу, збагаченого харчовими добавками. Як харчові добавки використовували камедь, пшеничні висівки та вівсяне борошно. Методом досліджень є проведення чисельного моделювання. Аналіз функціональних можливостей різного програмного забезпечення показав, що однією з найпоширеніших програм для дослідження гідродинаміки потоків рідин і газів та теплообміну є програма CFD компанії Autodesk, тому для чисельного моделювання використано саме її.

Результати досліджень. Температурний режим випікання кожного виду виробів

має свої особливості, на які також впливають сорт і хлібопекарські властивості борошна, рецептура тіста, тривалість кінцевого вистоювання, щільність завантаження пода печі, її конструкція тощо. Тривалість випікання виробів одного і того ж сорту не тільки в різних печах, а й в однакових може бути різною, що пояснюється різними тепловими і зволожувальними режимами, а також в якійсь мірі зміною якості сировини й тіста.

За допомогою програмного забезпечення Autodesk CFD проведені дослідження чисельним моделюванням процесу теплообміну в печі. Були створені та прораховані варіанти тіста для вірменського лавашу без додавання (контроль) та з додаванням до нього харчових добавок, в яких змінювались такі параметри як густина, коефіцієнт теплопровідності та теплоємність. Вихідні теплофізичні характеристики для моделювання процесу випікання тіста 4 варіантів наведено в табл. 1—3.

Таблиця 1. Густина тіста для вірменського лавашу, збагаченого харчовими добавками

Густина тіста, кг/м ³			
Зразок 1 (пшеничне борошно)	з додаванням		
	зразок 2 (ксантанова камедь, 1%)	зразок 3 (пшеничні висівки, 25 %)	зразок 4 (пшенично-вівсяне(10%) борошно)
1100	1020	1064	985

Таблиця 2. Залежність коефіцієнта теплопровідності від температури тіста для вірменському лавашу, збагаченого харчовими добавками

Температура, °C	Коефіцієнт теплопровідності тіста, Вт/(см·K)			
	Зразок 1 (пшеничне борошно)	з додаванням		
		зразок 2 (ксантанова камедь, 1%)	зразок 3 (пшеничні висівки, 25 %)	зразок 4 (пшенично-вівсяне(10%) борошно)
30	0,003	0,0029	0,0027	0,0023
36	0,00356	0,0041	0,0034	0,0032
55	0,00377	0,0043	0,00362	0,00345
77	0,00382	0,00456	0,00374	0,00351
92	0,00445	0,00472	0,00433	0,00411
98	0,00604	0,0061	0,00591	0,00576
101	0,00637	0,00634	0,00618	0,006

Таблиця 3. Залежність теплоємності від температури тіста для вірменському лавашу, збагаченого харчовими добавками

Температура, °C	Теплоємність тіста, Дж/(г·K)			
	Зразок 1 (пшеничне борошно)	з додаванням		
		зразок 2 (ксантанова камедь, 1%)	зразок 3 (пшеничні висівки, 25 %)	зразок 4 (пшенично-вівсяне (10%) борошно)
30	2	1,73	1,95	1,63
36	2,34	1,85	2,27	1,78
55	3,09	2,83	3	2,57
77	4,3	4,02	4,19	3,87
92	4,7	4,18	4,6	4,03

Продовження таблиці 3

98	6,16	5,84	6,06	5,65
101	6,52	6,22	6,43	6,01

У програмі Autodesk Inventor Professional створена геометрична модель секції тунельної печі (рис. 1), прототипом якої є піч лінії АЛ-130, та проведено моделювання процесу теплообміну в системі Autodesk CFD і аналіз розподілу температури в довільному перетині моделі тунельної печі в довільний проміжок часу (рис. 2).

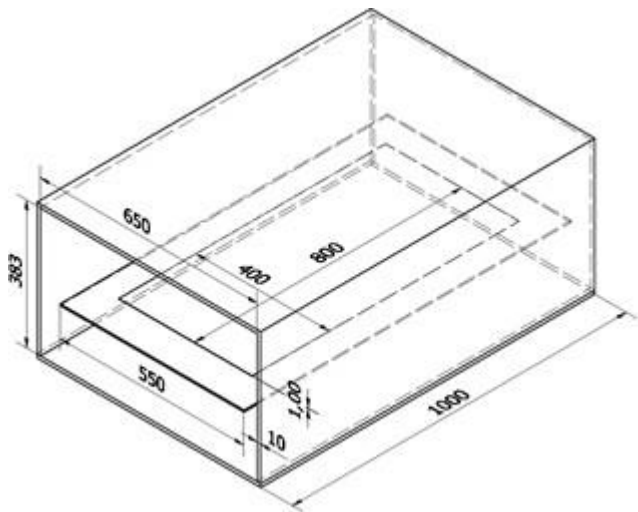


Рис. 1. Геометрична модель секції тунельної печі

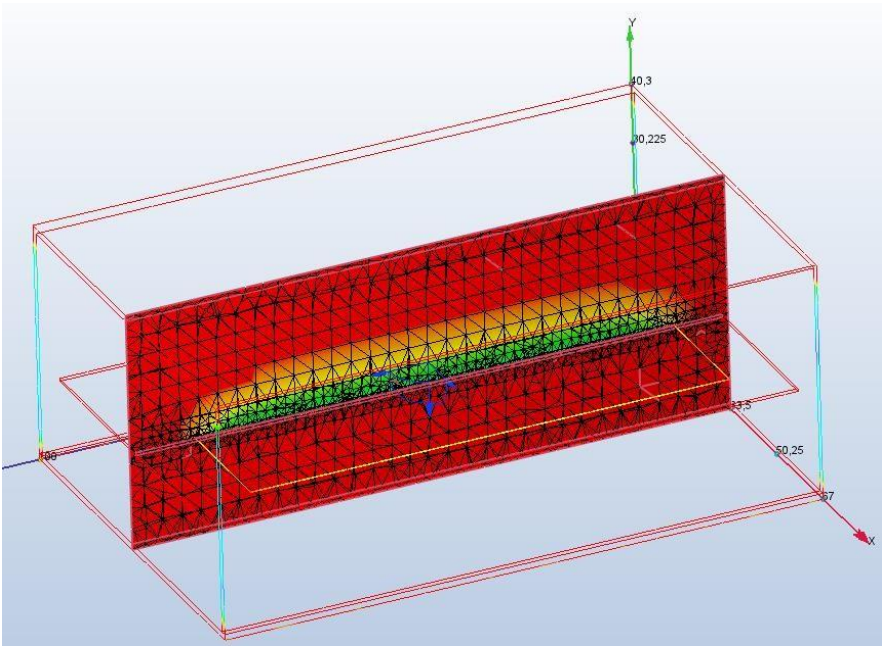


Рис. 2. Розподіл температури у повздовжньому перетині моделі

Дані досліджень свідчать (рис. 3—5), що значна різниця температур між лавашем і нагрітим повітрям печі обумовлює інтенсивну теплопередачу на крайніх ділянках заготовки, і тому високу температуру в крайніх точках.

Середні температури повздовжнього та поперечного перетину мають різницю менше 1%. Найбільша різниця є на 5 с процесу, що підкреслює те, що початок процесу є найбільш інтенсивним.

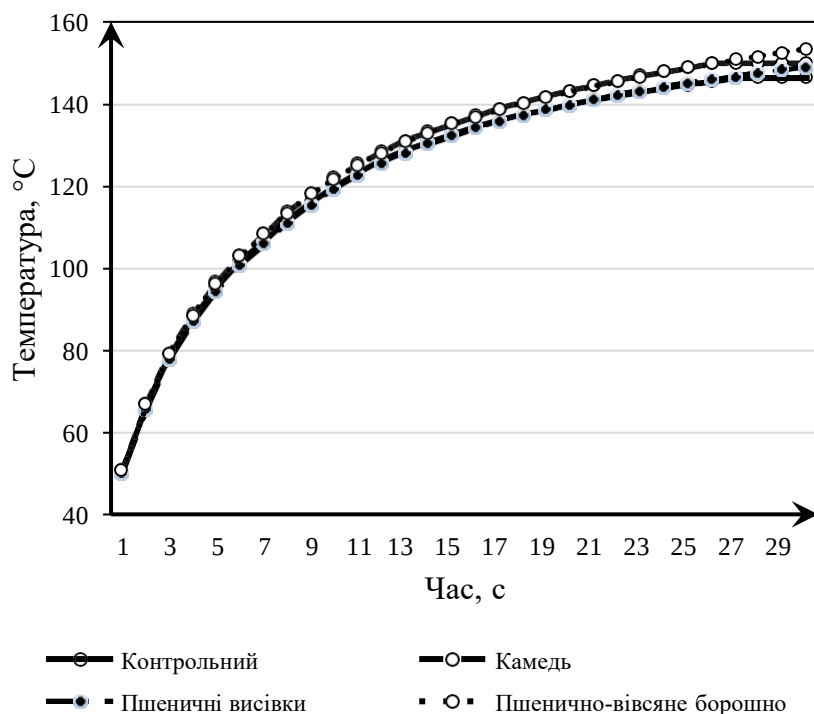


Рис. 3. Залежність температури лавашу від часу нагрівання

Отримані результати свідчать, що додавання харчових добавок у рецептурі тіста впливає на процес його випікання. Встановлено, що тривалість нагрівання тіста з добавками більша, ніж без добавок.

Найбільш наближеним до процесу випікання контрольного зразка був зразок тіста з рецептурою, до якого додавалися пшеничні висівки, його температура була вищою на 1,8% в кінці процесу і на 0,03% загальної середньої температури протягом усього процесу, а найбільш віддаленим — четвертий, в рецептурі якого було пшенично-вівсяне борошно.

Температура борошна була вищою на 4,9% в кінці процесу і на 2,38% загальної середньої температури протягом усього процесу. Це підтверджує, що вид борошна впливає на процес випікання більше, ніж добавки. Отже, для того, щоб використовувати розглянуті рецептури, необхідно змінити параметри процесу, зокрема температуру в печі та (або) час перебування заготовки всередині печі приблизно на 5—10 с залежно від рецептури. Підбір цих параметрів вартий окремого дослідження, бо вирішення цього питання не є прямим, так як при різних температурах, процеси відбуваються по-різному і немає абсолютно прямо пропорційної залежності.

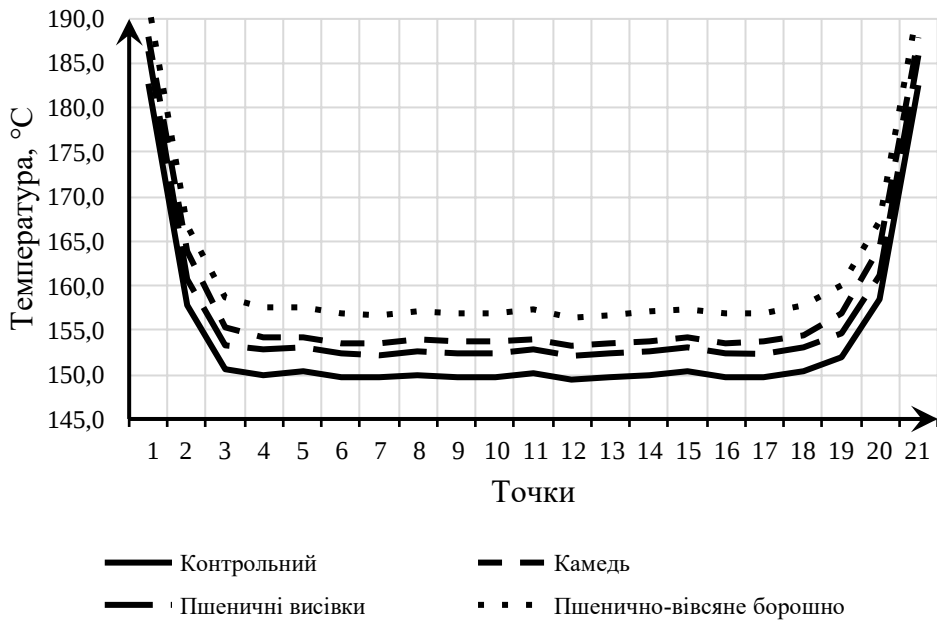


Рис. 4. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину (30 с)

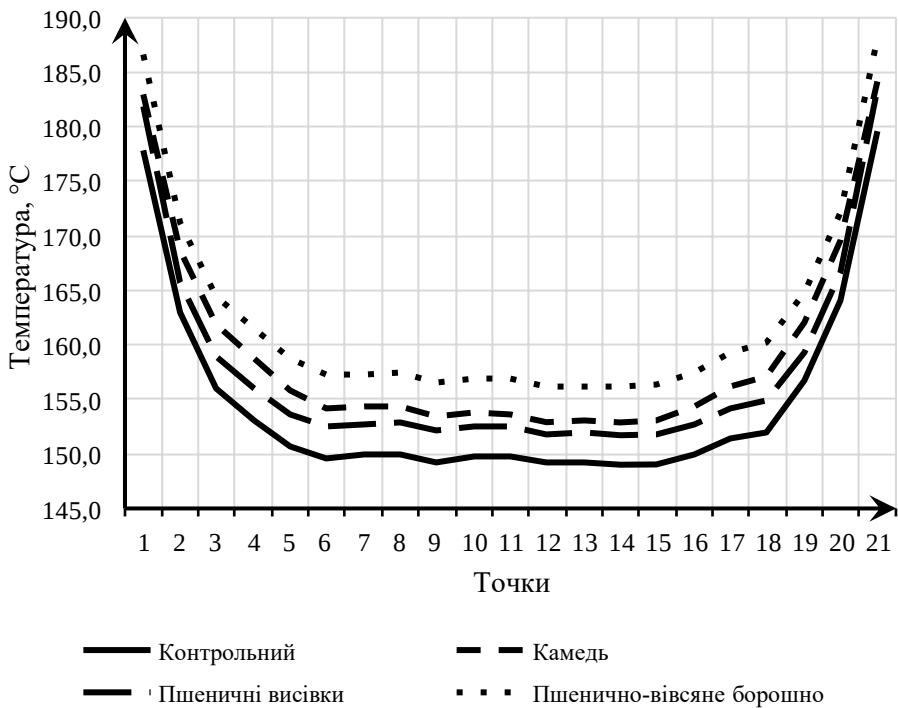


Рис. 5. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину (30 с)

Висновки. Показано, що запропоноване комп'ютерне моделювання процесу прогрівання тістової заготовки надає можливість проводити комплексне дослідження процесу випікання в умовах одночасної зміни вхідних параметрів і граничних умов моделі. Результати запропонованої моделі, яка враховує ефективні теплофізичні характеристики, підтверджує доцільність використання моделювання для розрахунку процесу прогрівання тіста-лаваша.

Отримані результати свідчать про те, що додавання харчових добавок у рецептурі тіста впливає на процес його випікання. Встановлено, що тривалість нагрівання тіста з добавками більша, ніж без добавок. Визначена необхідність регулювання таких параметрів процесу, як температура і тривалість перебування у печі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhang, J. and Datta, A.K. Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering*. 2006. Vol. 75. Pp. 78—89.
2. Arpita Mondal, A. K. Datta. Two-dimensional CFD modeling and simulation of crustless bread baking process. *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 99, Iss. 2. Pp. 166—174.
3. Zhang, L., Doursat, C., Vanin, F. M., Flick, D. and Lucas, T. Water loss and crust formation during bread baking. Part I: Interpretation aided by mathematical models with highlights on the role of local porosity. *Drying Technology*. 2017. Vol. 35. Pp. 1506—1517.
4. M. Micaela, Ureta, Yves, Diascorn, Mireille Cambert, Denis Flick, Viviana O. Salvadori and Tiphaine, Lucas. Water transport during bread baking: Impact of the baking temperature and the baking time, *Food Science and Technology International*. 2018. Vol. 0(0). 1—11 P.
5. Urosh Kokolj, Leopold Shkerget, Jure Ravnik. A numerical model of the shortbread baking process in a forced convection oven. *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 111, Pp. 1304—1311.
6. Десик, М. Г., Теличкун, В. І., Теличкун, Ю. С., Германчук, А. І. Дослідження впливу геометричних параметрів хліба на тепломасообмінні процеси. *Харчова промисловість*. 2012. № 12. С. 203—207.
7. Десик, М. Г., Теличкун, Ю. С., Литовченко, І. М., Теличкун, В. І. Математичне моделювання прогріву тістової заготовки циліндричної форми. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2016. Т. 22, № 4. 134—140.
8. Дудко, С. Д. Досягнення і проблеми у вивченні процесу випікання масивних борошняних виробів: огляд літератури. Частина 1: внутрішній тепломасообмін у тісті-хлібі. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 3.
9. Rosell, C. M., Santos, E., and Collar, C. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab. *European Food Research Technology*, 2010. Vol. 231, Pp. 535—544.
10. Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kuhne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M. and Gellynck, X. Nutritional value of bread: influence of processing, Food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 2008. Vol. 48, Pp. 243—257.
11. Bonnand-Ducasse, M., Della Valle, G., Lefebvre, J., and Saulnier, L. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties. *Journal of Cereal Science*. 2010. Vol. 52. Pp. 200—206.
12. Дорохович, А. М., Оболкіна, В. І., Гавва, О. О., Кияниця, С. Г. Нові види гідроколідів і можливість їх використання при виробництві кондитерської продукції. *Вісник Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського*. Дон.: ДонДУЕТ, 2004. № 1. С. 36—46.
13. Луньова, О. С., Кучерук, З. І. Наукове обґрунтування технології дієтичних і безбілкових хлібобулочних виробів. *Харчова наука і промисловість*. 2011. № 1(14). С. 25—30.