



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Харчова
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Заснований у 1965 р.

33-34

Київ НУХТ 2023

Results of research and development operations on technology of foodstuff, chemical, biochemical, microbiological processes, devices, the equipment, automation of food productions and economy of the food industry are provided.

The journal was designed for scientists, engineers and technical personnel of the food industry

Journal "Food Industry" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical sciences (Decree of MES of Ukraine # 32 from January 15, 2018) and the category "Б" (Decree of MES of Ukraine # 612 from May 7, 2019, # 975 from July 11, 2019; in specialties 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Food Industry" is indexed by the following scientometric databases:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Publications are represented in authoring edition.

Висвітлені результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників харчової промисловості.

Журнал «Харчова промисловість» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних наук (Наказ МОН України № 32 від 15.01.2018) та категорію «Б» (Накази МОН України № 612 від 07.05.2019 р. та № 975 від 11.07.2019, за спеціальностями 122, 133, 141, 144, 151, 162, 181), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Харчова промисловість» індексується такими наукометричними базами:

- Google Scholar
- Index Copernicus

Статті друкуються в авторській редакції.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
01601 Kyiv, Ukraine
(044) 287-92-45, internal 92-45
E-mail: foodpromnuft@gmail.com

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
м. Київ, 01601
(044) 287-92-45, внутрішній 92-45
E-mail: foodpromnuft@gmail.com

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies.
Minutes of meeting № 5 of
December 21, 2023

Рекомендовано вченою радою
Національного університету харчових
технологій.
Протокол № 5 від 21 грудня 2023 року

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу «Харчова промисловість»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Олександр ГАВВА
Oleksandr GAVVA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Accountable secretary

Анастасія ДЕРЕНІВСЬКА
Anastasia DERENIVSKA

канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine

Члени редакційної колегії:

Андрій МАРИНІН
Andrii MARYNIN

канд. техн. наук, ст. наук. співр., Україна
Ph. D., Senior Research Officer, National University of Food Technologies, Ukraine

Василь КИШЕНЬКО
Vasil KYSHENKO

канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine

Віктор ЄМЦЕВ
Viktor YEMTSEV

д-р екон. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віктор СТАБНИКОВ
Viktor STABNIKOV

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віра ЮРЧАК
Vira YURCHAK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Віталій ПРИБИЛЬСЬКИЙ
Vitaliy PRYBYL'S'KYI

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Галина ПОЛІЩУК
Galina POLISCHUK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Галина СИМАХІНА
Halyna SIMAKHINA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Лариса АРСЕНЬЄВА
Larysa ARSEN'YEVA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Микола ЯКИМЧУК
Mykola YAKYMCHUK

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Наталія ГУСЯТИНСЬКА
Nataliia HUSIATYNSKA

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Наталія ПУШАНКО
Nataliia PUSHANKO

канд. техн. наук, Україна
Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine

Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО
Oksana KOCHUBEI-LYTVYVENKO

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр КУРГАЄВ
Oleksandr KURGAEV

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр СЕРЬОГІН
Oleksandr SER'OHIN

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Олександр ШЕВЧЕНКО Olexander SHEVCHENKO	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена БЛИК Olena BILYK	канд. техн. наук, Україна Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана ЛІТВИНЧУК Svitlana LITVYNCHUK	канд. техн. наук, Україна Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій ТОКАРЧУК Serhiy TOKARCHUK	канд. техн. наук, Україна Ph. D., National University of Food Technologies, Ukraine
Станка ДАМЯНОВА Stanka DAMYANOVA	д-р техн. наук, Болгарія DSc, Razgrad Branch of the University of Ruse, Bulgaria
Стефан СТЕФАНОВ Stefan STEFANOV	д-р інж., проф., Болгарія DSc, University of Food Technologies, Plovdiv, Bulgaria
Тамара НОСЕНКО Tamara NOSENKO	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Тетяна ЛЕБЕДЕНКО Tetiana LEBEDENKO	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., Odessa National Academy of Food Technologies Ukraine
Тетяна ПИРОГ Tetyana PYROH	д-р біол. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Тетяна СИЛЬЧУК Tetiana SYLCHUK	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Юлія КАМБУЛОВА Yuliia KAMBULOVA	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ, СИРОВИНА ТА МАТЕРІАЛИ

Сировина та матеріали

Грицевіч М. Ю., Дорохович В. В. Дослідження впливу крохмальної сировини на сорбційно-десорбційні властивості низькобілкового печива

Побрусило М. В., Івчук Н. П. Обґрунтування доцільності використання пшона для виготовлення безглютенового печива

Страшинський І. М., Грицай М. С. Особливості застосування заміників неорганічних фосфатів у технології виробництва м'ясопродуктів

Успенко О.В., Білко М.В., Кучеренко В.М. Вплив енологічних продуктів на органолептичні показники деалкоголизованого вина

Технології: дослідження, застосування та впровадження

Євтушенко О. В., Сірик А. О. Аспекти впровадження інформаційної системи екоменеджменту на підприємствах харчової промисловості

Божко А. Ю., Усатиук С. І. Визначення критеріїв ідентифікації для оцінювання показників якості оздоблювальних напівфабрикатів з використанням порошку керобу

Козак О. С., Теличкун В. І. Визначення газової проникності скоринки та м'якушки батона в процесі вакуумного охолодження

Роженко А. С., Мельник О. Ю. Удосконалення технології бісквітного напівфабрикату з використанням продуктів переробки комах

Данилевич І. О., Пасічний В. М., Шубіна Є.А., Маринін А.І. Удосконалення технології маринованих напівфабрикатів з м'яса птиці

РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

Процеси харчових виробництв

Олішевський В. В., Бабко Є. М., Цюрпита М. Є. Підвищення ефективності процесу очистки дифузійного соку з використанням нанорозмірного алюміній-вмісного коагулянту

CONTENTS

SECTION 1. TECHNOLOGIES, RAW MATERIALS AND MATERIALS

Raw Materials and Materials

7 Hrytsevich M., Dorokhovych V. Study of the influence of starch raw materials on the sorption-desorption properties of low-proteincookies

15 Pobrusylo M., Ivchuk N. Justification of the feasibility of using millet for the production of gluten-free cookies

25 Strasynskyi I., Hrytsai M. Features of the application of inorganic phosphate substitutes in meat production technology

35 Uspalenko O., Bilko M., Kucherenko V. The influence of enological products on the organoleptic indicators of dealcoholic wine

Technologies: Researches, Application and Introduction

43 Yevtushenko O., Siryk A. Aspects of environmental management information system implementation at food industry enterprises

53 Bozhko A., Usatiuk S. Determination of identification criteria for assessment of quality indicators of decorative semi-finished products using carob powder

62 Kozak O., Telychkun V. Determination of the gas permeability of baton crush and crumb during vacuum cooling

71 Rozhenko A., Melnyk O. Improving the technology of semi-finished biscuit using insect processing products

81 Danylevych I., Pasichnyi V., Shubina Ye., Marynin A. Improving the technology of marinated semi-finished poultry meat

SECTION 2. PROCESSES AND EQUIPMENT

Processes of Food Industries

89 Olishkevskyi V., Babko E., Tsiurpyta M. Improving the efficiency of the diffusion juice purification process using nano-sized aluminum-containing coagulant

Бруква О. Ю., Блаженко С. І., Бабко Є. М., Олішевський В. В. Комп'ютерне моделювання процесу прогрівання тістової заготовки для виготовлення лавашу, збагаченого харчовими добавками

Грінінг К. Р., Губеня О. О. Зміна реологічних властивостей суспензії лікарських і косметичних засобів під час подрібнення в бісерних млинах

Обладнання та устаткування

Гавва О. О., Кривопляс-Володіна Л. О. Методологія квантифікаційного підходу до вибору оптимальних структур адаптронних функціональних модулів пакувальних машин

Люлька Д. М., Серьогін О. О., Изволенський І. Є., Мащенко О. А., Чорний Ю. А. Розроблення методів і засобів діагностики з підвищенням надійності екстракційного обладнання

Деренівська А. В., Блаженко С. І., Масло М. А., Костін В. Б. Дослідження характерних параметрів технологічного процесу формування захисної повітряної упаковки

98 Brukva O., Blazhenko S., Babko E., Olishkevsky V. Computer modeling of the process of heating dough blank for the production of lavash enriched with food additives

106 Hrininh K., Gubenia O. Change of rheological properties of a suspension of medicinal and cosmetic products during grinding in bead mills

Equipment and machinery

116 Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Methodology of the quantitative approach to the selection of optimal structures of adaptronic functional modules of packaging machines

126 Liulka D., Serohin O., Izvolenskyi I., Maschenko O., Chorny Y. Development of diagnostic methods and tools to improve the reliability of extraction equipment

137 Derenivska A., Blazhenko S., Maslo N., Kostin V. Study of characteristic parameters in the technological process of forming protective airpackaging

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 більш ефективне використання енергоресурсів [9—11].

У формуванні об'єму пшеничного хліба, структури та еластичності його м'якушки 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 структуроутворювачі, 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 пірвіноградної кислот ацетильних груп [12]. За даними низки дослідників, ця камедь є кращим структуроутворювачем 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 структуроутворювача 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 структуроутворювачі.

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).

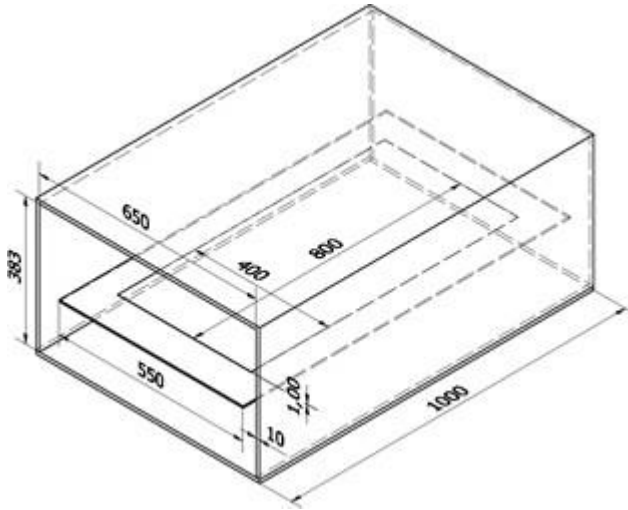


Рис. 1. Геометрична модель секції тунельної печі

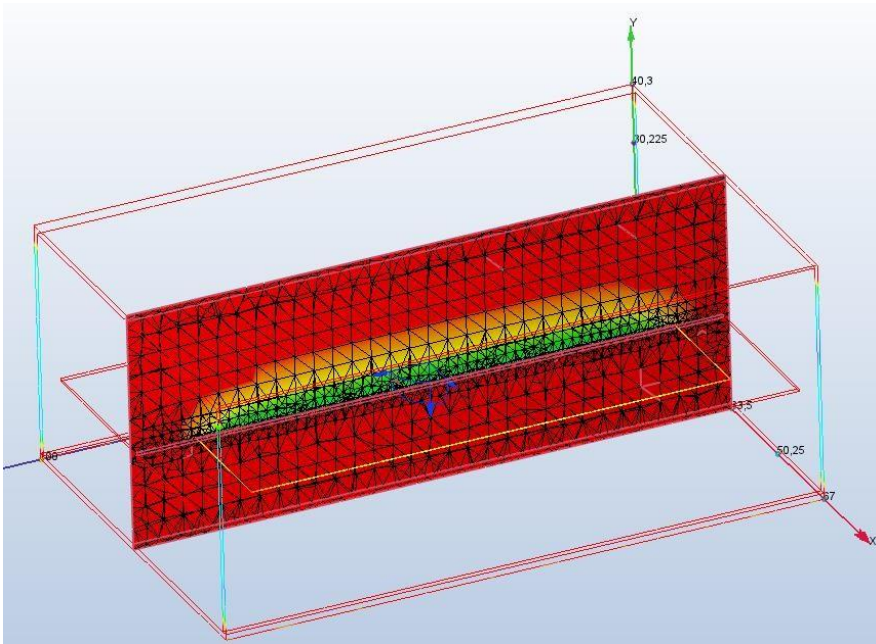


Рис. 2. Розподіл температури у повздовжньому перетині моделі

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.

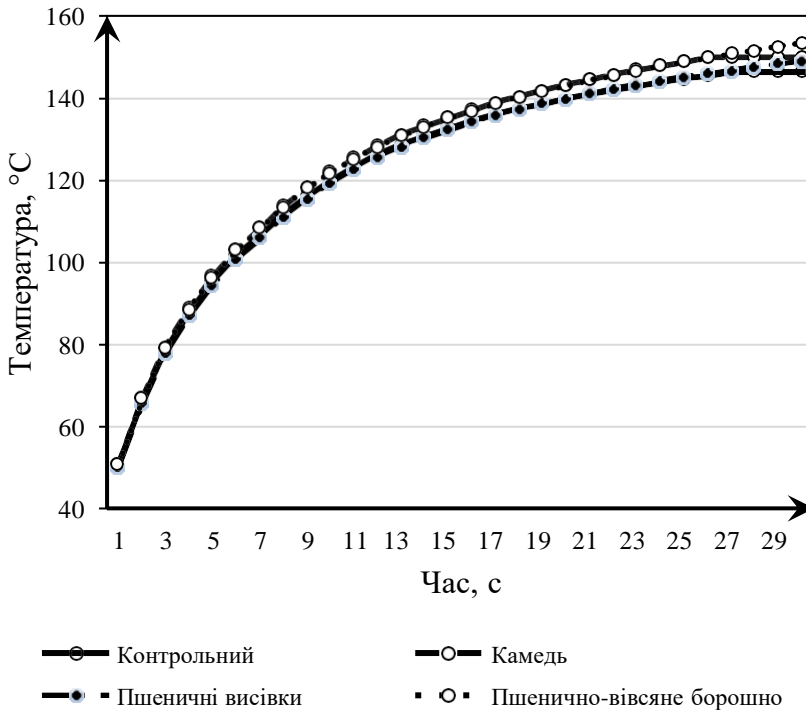


Рис. 3. Залежність температури лавашу від часу нагрівання

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.

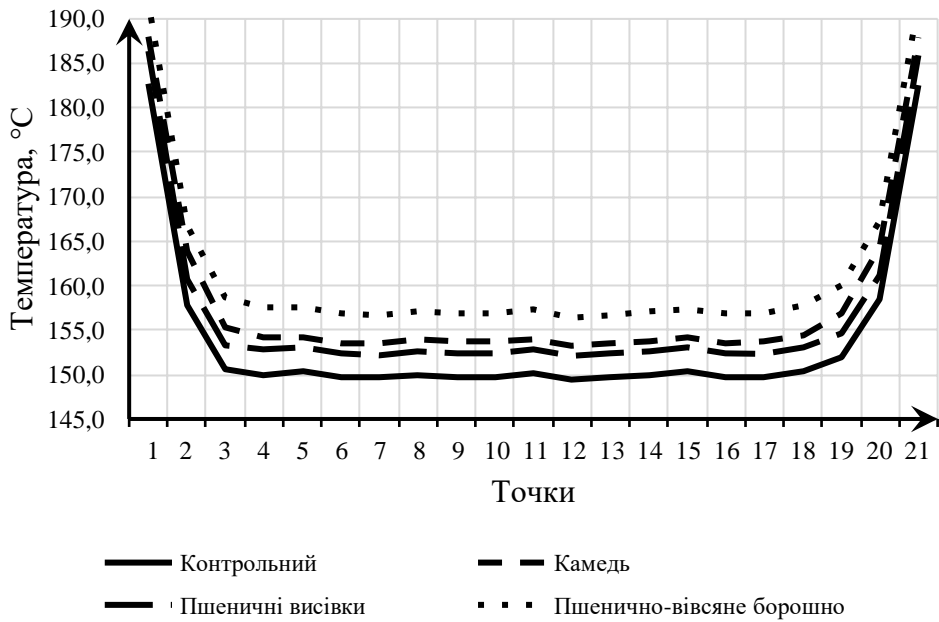


Рис. 4. Розподіл температури в різних точках повздовжнього перетину (30 с)

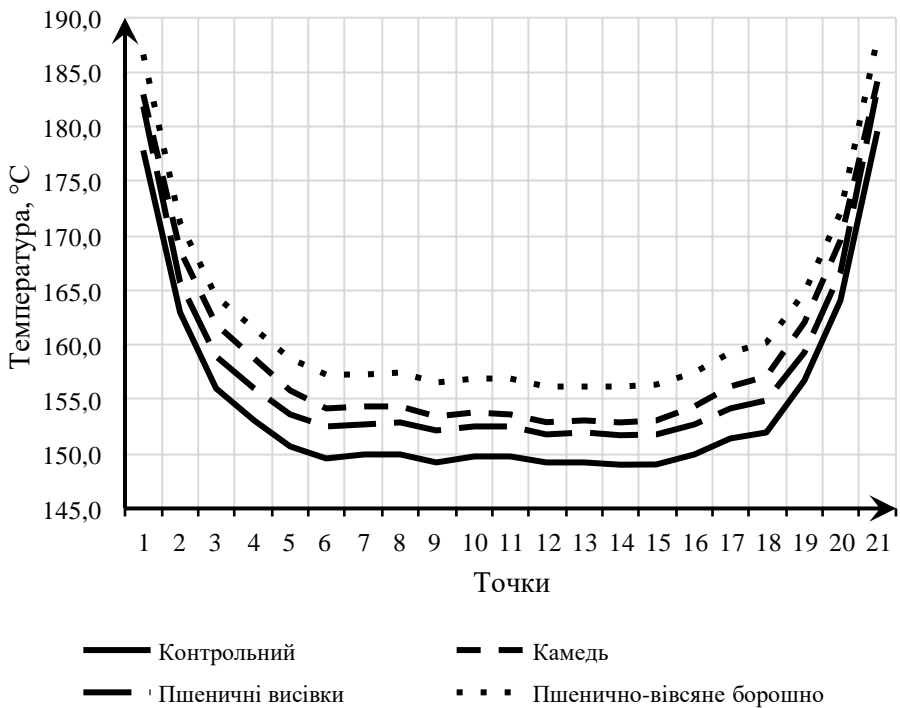


Рис. 5. Розподіл температури в різних точках поперечного перетину (30 с)

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 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 гідроколоїдів 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.