

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕЛЬМЕНІВ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФОРМИ

Голубков П.С., інженер, Войтенко О.К., канд. техн. наук, доцент,
Бурдо О.Г., д-р техн. наук, професор
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Анотація. Обговорюються технологічні проблеми перспективного напрямку харчових технологій – виробництва пельменної продукції кубічної форми. Аналізуються конструкції традиційних агрегатів та ліній по виготовленню пельменів. Пропонується гіпотеза, що витрати енергії при виробництві пельменів можна скоротити за рахунок використання в агрегаті сформованого, замороженого фаршу. Наведено конструкцію та принцип дії розробленого роботизованого комплексу для виготовлення пельменів розміром 22x22x22 мм.

Аналізуються етапи термомеханічного циклу формування, термічної обробки заготовок та контролю якості готової продукції. Представлено модульно-процесову схему розробленого комплексу. Визначено комплекси параметрів, що характеризують ключові операції при виготовленні пельменів. Наведені діапазони змін температурних та часових параметрів, обґрунтовано завдання систем управління. Визначено статичні балансові енергетичні моделі. Розглянуто параметричну і теплофізичну моделі термомеханічного процесів в апараті.

Сформульовано завдання і проведено аналітичне моделювання теплового стану основних елементів: фаршу, тіста, хватів та доквілля. Наведено умови однозначності, граничні умови. Методами електротеплової аналогії отримано модель термічних опорів для етапів включених та виключених нагрівачів. Запропоновано методику розв'язання нестационарної задачі теплопередачі із залученням чисел подібності.

Подано результати експериментального моделювання кінетики охолодження та заморожування заготовів фаршу у тісті. Визначено рівень криоскопічних температур для фаршу та тіста. Аналізуються тепловізограми розігріву нагрівача у заготовці фаршу у тісті.

Ключові слова: харчові технології, обладнання для виробництва пельменів, аналітичне та експериментальне моделювання термомеханічних процесів.

MODELING OF THERMOMECHANICAL PROCESSES OF SPECIAL FORM DUMPLINGS PRODUCTION

Golubkov P., engineer, Voytenko O., PhD, associate professor,
Burdo O., ScD, professor
Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

Abstract. In current paper technological problems of the food technologies perspective direction - cubic form dumplings production are discussed. Designs of traditional devices and production lines for making dumplings are analyzed. The proposed hypothesis is that the energy consumption in dumplings production can be reduced by using of formed and frozen forcemeat in the aggregate. The design and principle of operation of the developed robotic complex for the production of 22x22x22 mm dumplings are given.

The stages of the thermomechanical cycle of forming and heat treatment of workpieces and quality control of finished products are analyzed. The modular-process scheme of the developed complex is presented. The complexes of parameters that characterize key operations at dumplings production are defined. The ranges of temperature and time parameters changes are given, the tasks for control systems are substantiated. Static balance energy models are determined. The parametric and thermophysical models of thermomechanical processes in the apparatus are considered.

The task is formulated and analytical modeling of the thermal state of the main elements is carried out: forcemeat, dough, grabs and the environment. The single-valuedness conditions and boundary conditions are given. The model of thermal resistances for the stages of switched on and off heat elements is obtained by the methods of

electrothermal analogy. The method for solving a nonstationary heat transfer problem involving similarity numbers is proposed.

The results of experimental modeling of cooling and freezing kinetics of forcemeat in the dough are presented. The level of cryoscopic temperatures for forcemeat and dough was determined. The thermograms of the heater heating in the forcemeat blank in the dough are analyzed.

Key words: food technologies, equipment for dumplings production, analytical and experimental modeling of thermomechanical processes.

Вступ. Наразі сфера створення напівфабрикатів кулінарної продукції постійно розширюється. Серед різних кулінарних виробів найбільш демократичним блюдом вважаються пельмені [1, 2], які присутні в меню як столових, так і дорогих ресторанів. Виробництво пельменів стало настільки популярним, що його вже можна виділити в окрему галузь. Технологічні аспекти виготовлення напівфабрикатів достатньо глибоко досліджено та широко впроваджено [2]. Але сама техніка виробництва пельменної продукції (ПП) постійно удосконалюється. В роботі поставлено за ціль створити роботизований комплекс для виготовлення пельменів спеціальних форм. Така форма, що важко реалізується, добре захищає продукцію від підробки та є гарантією якості виробника. Ціль роботи досягнуто, по-перше, розробкою інноваційного обладнання, а, по-друге, залученням до управління роботою комплексу сучасних засобів контролю та автоматизації. А в результаті розроблено обладнання, яке спроможне виготовляти продукцію кубічної форми при скороченні економічної складової на виготовлення ПП.

Аналіз літературних джерел та формулювання проблеми. Комплект обладнання для пельменів складається з: агрегату для формування пельменів, обладнання для приготування тіста (борошнопросіювач, тістоміс), фаршу (м'ясорубка, фаршмішалка), а також холодильних камер [3]. При декомпозиції комплексу весь процес роботи з сировиною розчленовується на окремі технологічні операції. [2, 4, 6]. Принцип дії безліч різних агрегатів однаковий: апарат формує з готового тіста безперервну трубку, в середину якої безперервно подається підготовлений фарш [7 – 9]. Перед заморожуванням відштамповані пельмені не повинні знаходитися при плюсовій температурі понад 20 хвилин.

Визначається стала тенденція, де крім начинки відрізняються форма і розмір кінцевих виробів. Це квадратні і овальні пельмені, стандартної форми і в формі півмісяця. [10]. Постійно удосконалюються функціональні можливості пельменних апаратів. Так апарат Sfera [1] має можливість введення і відображення параметрів на панелі оператора з РКІ графічним дисплеєм [1, 6]. Багатофункціональний пельменний апарат HLT-700 забезпечує автономний контроль за формуванням тіста, заповненням виробу начинкою, що дозволяє випускати на ньому широку гамму виробів [11]. Особливої уваги гідна унікальна машина SD-97B, що дозволяє формувати вироби, що складаються з двох шарів - зовнішнього шару оболонки і внутрішнього шару начинки [12]. Найбільш оригінальним з обладнання для виробництва напівфабрикатів є автомат AFD-888, який виробляє екзотичні пельмені у вигляді ручного ліплення.

Вишукані та оригінальні вироби отримуються на устаткуванні фірми ANKO [1]. Популярні пельменні апарати, лінії виробництва пельменів для невеликих, та великих виробництв. Це апарати марок HLT (Тайвань), MG (Польща), JGL (Китай), пельменні лінії R-265B, R-320-B (Італія). Це лінії R-265-B, R-320-B, призначені для виробництва пельменів типу ravioli і cappelletti. До складу лінії входять машина для виробництва тістової стрічки (стрічкоформуюча машина) і машина для формування пельменів. Форма пельменів залежить від використовуваного робочого блоку. Відомі пельменні автомати JGL 120-5 і JGL 135, що були сконструйовані, виготовлені і перевірені за стандартом Торгового міністерства КНР «SB 140-83».

Для всіх цих апаратів характерні наступні етапи. М'ясо на склад поступає в охолоджену чи у заморожену вигляді і розморожується для первинної обробки. Надалі м'ясо знову заморожується і поступає на склад. Перед виготовленням ПП, м'ясо знову розморожується, для формування фаршу, який подається на лінію отримання ПП. Таким чином відоме обладнання має загальні проблеми: багаторазове «заморожування - розморожування» негативно впливає на якісні показники ПП та на економічні характеристики, пов'язані із витратами енергії на холодильні системи. В роботі сформульовано гіпотезу, що фарш до апарату можна подавати сформованим у замороженому стані.

Технологічна схема та конструкція інноваційного комплексу. Інноваційне обладнання використовує фарш у замороженому вигляді. Заготівки фаршу поступають на лінію виробництва ПП з температурою від -13°C до -30°C. Апарат по виробництву пельменної продукції особливої кубічної форми (рис. 1), має барабанний конструктив. Продуктивність виробництва пельменів - 600-1200 шт на годину. Вага одного пельменя дорівнює 12грамам, при розмірах 22x22x22мм. У склад апарату входить пневматичний механізм й компресорне обладнання. Тісто подається у верхню та нижню камери формування ПП.

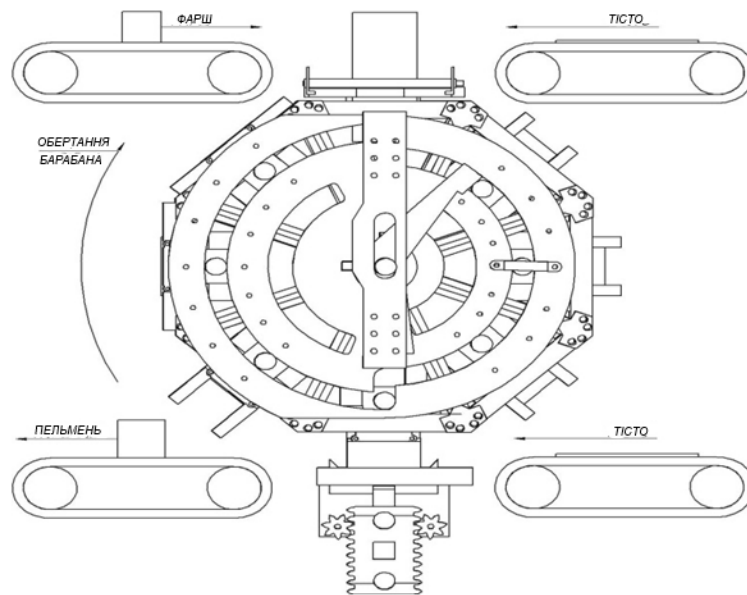
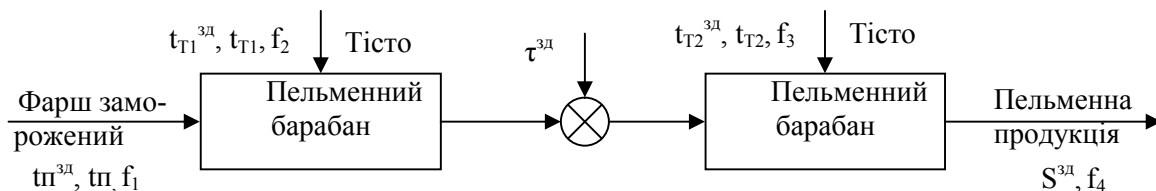


Рис. 1 – Конструктивна схема обладнання

Фарш кубічної форми, подається до верхньої частини пельменного барабана та розміщується на хваті с тістом, температура якого 20...25°C. Хвати з тістом облекають формований фарш у тісто. Після цього кулісний механізм повороту барабана повертається в початкове положення. Така ж операція відбувається і в нижній зоні апарата. Після цього настає технологічна пауза, необхідна для з'єднання тіста. При третій операції проходить вилучення готової одиниці ПП. На транспортерній стрічці, ПП проходить аналіз на якість. Система контролю включає камеру і обчислювальний модуль, що аналізує форми по фотографії.

Визначимо модульно-процесову схему комплексу із ключовими технологічними параметрами і їх взаємодією (рис.2). Технологічний процес виробництва пельменів є процесом, що пов'язаний як із забезпеченням відповідних температур, так й з узгодженням теплових та механічних операцій.



tn^{3d} – задана температура пельменя; tn – температура пельменя; S^{3d} – форма пельменя задана; τ^{3d} – час простою заданий технологічним регламентом; t_{T1}^{3d} – температура тіста в верхній подачі (1 подача) задана; t_{T1} – температура тіста в верхній подачі (1 подача); t_{T2}^{3d} – температура тіста в нижній камері (2 подача) задана; t_{T2} – температура тіста в нижній камері (2 подача); $f_1 - f_4$ – неконтрольовані обурення.

Рис. 2 – Модульно-процесова схема інноваційного обладнання

Зміна τ^{3d} – час зліпки призводить до зміни температур фаршу в бік збільшення, а також температуру тіста, нанесеного на фарш в бік зменшення. Час простою може змінюватися від 1 до 4 секунд, час подачі сировини в апарат від 3 до 6 секунд, а час, витрачений на виконання операції виконавчим механізмом, становить 2 секунди на обидва напрямки. З верхньої в нижню камеру пельменна продукція поступає за 5 тактів роботи барабана. У підсумку, час, що витрачено на переміщення, може істотно відрізнитися для різних видів продукції, і складати, на виробництво однієї одиниці від 6 до 12 секунд, а час, проведений в барабані фаршу з 50% нанесеним тістом буде відповідно складати від 30 до 60 секунд.

Значення об'ємних продуктивностей на виході обладнання позначені τ^{3d} , $\Delta\tau^1$, $\Delta\tau^2$, τ^{10} и ut . Формально залежність зміни цих змінних від ut можна записати наступним чином:

$$ut = (\Delta\tau^1 + \tau^{3d} + \Delta\tau^2 + \tau^{10}) * 5, \quad (1)$$

Робота сил (моментів) необхідна для обертання барабана і висушення хватів тиском перетворюється, в кінцевому підсумку, в теплоту. Це електрична енергія, яка перетворюється в механічну в компресорі і виконавчому механізмі. Коефіцієнти потужності і корисної дії для кожного конкретного рецепту при виробництві є нелінійними функціями аргументів часу технологічного простою обладнання:

$$u\tau = \int_{t_{\min}}^{t_{\min}} (\Delta\tau^1 + \tau^{3d} + \Delta\tau^2 + \tau^{70}) * 5, \quad (2)$$

де $\Delta\tau^1$ і $\Delta\tau^2$ коефіцієнт мінімального і максимального часових проміжків простою в $[t_1, t_2]$.

Вимірювання температур і реалізацію на їх основі теплового захисту здійснюють рідко. Тим більше, що ця задача непроста не тільки технічно, але й методично, бо об'єкт вимірювання температури має розподілені параметри. Відповідний енергетичний баланс відображається рівністю:

$$\int_{t_1}^{t_2} M_c(t) \omega_{вал}(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} P_{компресора}(t) \cos\varphi(t) \eta(t) dt, \quad (3)$$

де $\omega_{вал}(t)$, $\cos\varphi(t)$, $\eta(t)$ – відповідна частота обертання валу, коефіцієнти потужності і корисної дії компресора в момент часу $t \in [t_1, t_2]$.

Величина питомих енерговитрат розраховується за усередненим на змінних інтервалах часу τ_{cp} електричної потужності, що витрачається на ведення процесу:

$$\eta_{виробництва}(t) = \int_t^{t+\tau_{cp}} P_{nn}(t) dt / \int_t^{t+\tau_{cp}} Q_m(t) dt, \quad (4)$$

Час усереднення τ_{cp} повинен бути вибраний таким, щоб в спектрі усереднених потужності і продуктивності були б пригнічені високочастотні складові, викликані перехідними процесами в контурі стабілізації струму.

Функції оптимізації мають забезпечити досягнення умовних оптимумів по енергоефективності процесу (мінімуму питомих енерговитрат) і якості пельменної продукції.

Величина питомих енерговитрат розраховується за усередненими на ковзких інтервалах часу τ_{cp} електричної потужності, що витрачається на ведення процесу, і часу, що витрачається на нагрів тіста:

$$\eta_{виробництва}(t) = \int_t^{t+\tau_{cp}} P_{nn}(t) dt / \int_t^{t+\tau_{cp}} Q_m(t) dt, \quad (5)$$

Аналітична модель інноваційного пельменного апарату. Апарат складається з шести елементів, конструкції яких однакові. Тому можна вважати, що теплові схеми і моделі теплопереносу у всіх елементах подібні. Параметрами якості вважаємо температуру на поверхні тіста (T_t) і питомі витрати енергії на переробку 1 кг продукту. Враховуються комплекси параметрів, які характеризують конструкцію апарату і енергетичні показники нагрівачів. На основі параметричної схеми складена фізична модель апарату (рис. 3), яка є постановкою завдання формування математичної моделі.

Параметричну та повну, трьохмірну математичну модель апарату наведено у роботі авторів [14]. В основі моделювання перший закон термодинаміки і рівняння Фур'є-Кірхгофа, які відображають теплові взаємодії між елементами даної системи. Отримане рівняння встановлює зв'язок між тимчасовою і просторовою зміною температури в будь-якій точці досліджуваного об'єму. При постійній теплопровідності рівняння це спрощується і приводиться до лінійного диференціального рівняння в приватних похідних другого параболічного типу [14].

Проведемо її подальше спрощення за таких умов.

1. Задача є осісиметричною відносно центру фаршу, координата якого $X_{ц}$.
 2. Поле температур вважається одномірним.
 3. Температура повітря навколишнього середовища стала.
- За такими умовами характеристики елементів мають вигляд (табл.1).

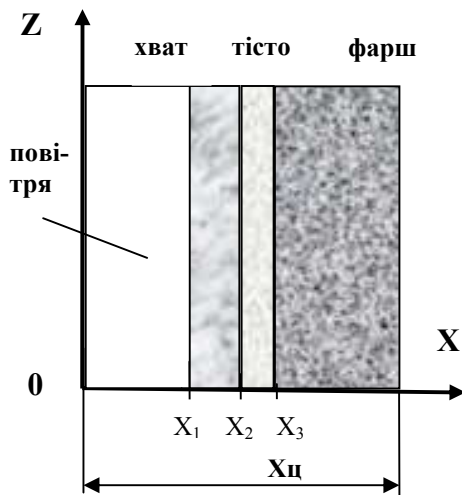


Рис. 3 – Фізична схема

Таблиця 1

Геометричні умови елементів фізичної моделі

зона	елемент	координати	температура
1	фарш	$X_3 \leq X \leq X_{\text{ц}}$	$t_{\text{ф}}$
2	тісто	$X_2 \leq X \leq X_3$	$t_{\text{т}}$
3	хват	$X_1 \leq X \leq X_2$	$t_{\text{х}}$
4	навколишнє середовище	$0 \leq X \leq X_1$	$t_{\text{с}}$

Оскільки завдання є осесиметричним [15], то розглядається модель до центру фаршу, координата якого Хц. Таким чином:

Апарат складається з 4 зон (табл.1). Температура тіста на рівні Тт забезпечується за допомогою нагрівача, потужність якого N. Характер підведення енергії N - об'ємний, за рахунок джоулевої теплоти.

За умов спрощення конкретизуємо встановлені закономірності для всіх 4 зон апарату (табл. 2).

Таблиця 2

Умови однозначності та математичні моделі елементів комплексу

№ зони	Зона	Початкові умови	Модель	
			1 етап	2 етап
1	фарш	$(\tau = 0):$ $t_f = t_{\text{н}}$	$\frac{\partial t_f}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 t_f}{\partial x^2} \right), (6)$	
2	тісто	$t_{\text{т}} = t_{\text{тн}}$	$\frac{\partial t_{\text{т}}}{\partial \tau} = a_{\text{т}} \left(\frac{\partial^2 t_{\text{т}}}{\partial x^2} \right), (7)$	
		$(t_{\text{т}} = t_{\text{тр}})$		$\frac{\partial t_{\text{т}}}{\partial \tau} = a_{\text{т}} \left(\frac{\partial^2 t_{\text{т}}}{\partial x^2} \right) + \frac{N \eta}{V_{\text{т}} c_{\text{т}} \rho_{\text{т}}}, (8)$
3	хват		$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial x^2} \right), (9)$	
				$\frac{\partial t_3}{\partial \tau} = a_3 \left(\frac{\partial^2 t_3}{\partial x^2} \right) + \frac{N \eta}{V_3 c_3 \rho_3}, (10)$
4	повітря		$\frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial \tau} = a_{\text{в}} \left(\frac{\partial^2 t_{\text{в}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{\text{в}}}{\partial z^2} \right), (11)$	$\frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial \tau} = a_{\text{в}} \left(\frac{\partial^2 t_{\text{в}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_{\text{в}}}{\partial z^2} \right), (12)$

Для 1-ої зони (рис.4) відомо: об'єм продукту V_1 ; енергія, температури – $t_{\text{ф}}$. На першому етапі відбувається тільки підвищення температури зони 1 і зниження температури в інших зонах [15]. Для другої зони аналіз виконуємо окремо для 1 етапу (нагрівання тіста не проводиться, тісто охолоджується від початкової температури $t_{\text{т}} = t_{\text{тн}}$ до температури, коли потрібно його підігріти ($t_{\text{т}} = t_{\text{тр}}$) та для 2-го етапу, коли включаються нагрівачі. Для 1-ої зони слід врахувати конвективний теплообмін на ділянці «зовнішня поверхня хватів - повітря навколишнього середовища».

Моделі (6) - (12) доповнюються відповідними граничними умовами (табл.3).

Таблиця 3

Рівняння граничних умов

№	Границя зон	Граничні умови	Рівняння
1	1-ої і 2-ої	ГУ 3-го роду	$\frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial \tau} = -\frac{\alpha_{\text{в}}}{\lambda_3} (t_{\text{в}} - t_3) (13)$
2	2 і 3	ГУ 4-го роду	$\lambda_3 \left(\frac{\partial t_3}{\partial x} \right)_3 = \lambda_{\text{т}} \left(\frac{\partial t_{\text{т}}}{\partial x} \right)_{\text{т}} (14)$
3	3 і 4	ГУ 4-го роду	$\lambda_{\text{т}} \left(\frac{\partial t_{\text{т}}}{\partial x} \right)_{\text{т}} = \lambda_{\text{ф}} \left(\frac{\partial t_{\text{ф}}}{\partial x} \right)_{\text{ф}} (15)$

Наведена система доповнюється рівняннями, які виражають теплофізичні властивості всіх елементів комплексу.

У співвідношеннях (6) – (15): $a = \lambda / (c_p \rho)$ – коефіцієнт температуропровідності; α – коефіцієнт тепловіддачі; λ – коефіцієнт теплопровідності; N – потужність електричного нагрівача; τ – час роботи; індекси В – повітря навколишнього середовища; З – металевий захват; Т – тісто; f – фарш.

Отримана система диференціальних рівнянь та відповідних умов однозначності (6) - (15) визначають одномірне нестационарне поле температур в елементах комплексу, його енергетичну взаємодію із навколишнім середовищем. Розв'язати наведені моделі, отримати результат в явному вигляді складно. Надалі залучаються методи теорії подібності.

Основними елементами схеми є фарш з початковою температурою t_f , тісто t_T , хват t_x та навколишнє середовище t_B . Для умов вимкнених нагрівачів температурне поле визначається: $t_f < t_T, < t_3 < t_B$. Для умов включених нагрівачів температурне поле визначається: $t_f < t_T, < t_3 > t_B$. Напрямок теплового потоку визначається зі схеми (рис.4, а) – нагрівачі вимкнено, (рис.4,б) – нагрівачі вклучені.

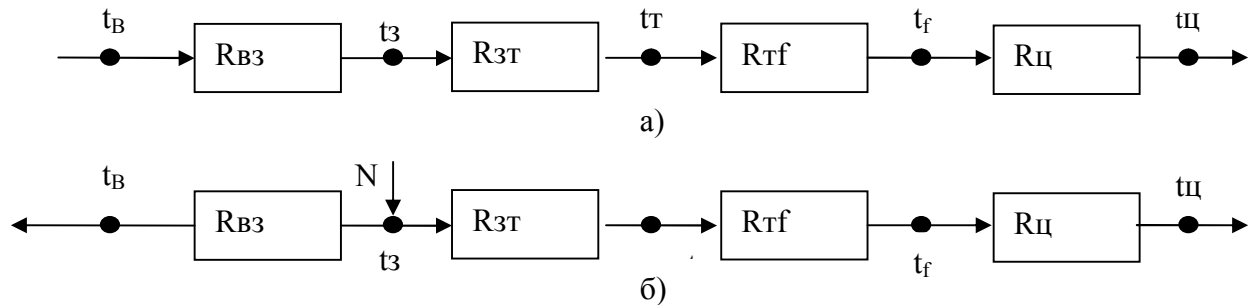


Рис. 4 – Електротеплова модель схеми переносу теплоти

Відповідні термічні опори виражаються у вигляді рівнянь (табл.4).

Таблиця 4

Рівняння термічних опорів

№	Ділянка	Рівняння
1	поверхня хвата	$R_{BZ} = (\alpha F_3)^{-1}$ (17)
2	хват	$R_{ZT} = \delta_3 (\lambda_3 F_3)^{-1}$ (18)
3	тісто	$R_{Tf} = \delta_T (\lambda_T F_3)^{-1}$ (19)
4	фарш	$R_{Ц} = \delta_{Ц} (\lambda_f F_3)^{-1}$ (20)

У співвідношеннях (17) - (20) вважається, що процес теплоперенесення є квазістационарним. Прийнято, що термічні опори контакту між поверхнями елементів дорівнюють 0. Разом з тим, сталою є тільки температура (t_B), температура тіста (t_T) повинна підтримуватися на рівні 20 ± 2 °С. Температури інших елементів постійно змінюються, а це визначає не стаціонарність процесів теплопередачі.

Інженерна практика розв'язання таких задач заснована на використанні чисел подібності Біо та Фур'є [15].

Сенс числа Біо– це співвідношення внутрішнього термічного опору тепло переносу (а це сумою R_{ZT} , R_{Tf} та $R_{Ц}$) до зовнішнього (теплообіном між повітрям і поверхнею хвата). Визначальною в системі є теплоємність фаршу. Тому, число Фур'є можна розраховувати тільки для фаршу.

Експериментальне моделювання. Об'єктом експериментальних досліджень була фаршева заготовля, із встановленими датчиками температури у фарші та в тісті. Такий робочий осередок розміщався у морозильній камері. Сигнали від датчиків оброблялись контролером та фіксувались на планшеті. Таким чином отримано кріоскопічну криву, яка відображає процес охолодження, переохолодження, процес кристалізації вологи при сталій температурі, і заморозки до температури - 15 °С. Початкові температури тіста та фаршу дорівнювали + 25 °С. Кріоскопічну криву наведено у роботі авторів [14], а її аналіз у табл. 5.

Таблиця 5

Визначення фазових рівноваг

	Час, мин		Температура, С		
	охолодження	кристалізації	початкова	камери	кріоскопічна
Тісто	25,7	5	25	-15,5	-3
Фарш	23,5	4	25	-15,5	-4

Під час другого експерименту заморожена фаршева заготівля з температурою - 15,5 °С, з розташованими в ній датчиками була поміщена в тісто. З одного боку, на пельменну заготівлю був встановлений нагрівальний елемент. Показання нагріву тіста і фаршу фіксувалися. Паралельно з цим були отримані дані тепловізора про температуру нагрівального елемента, яка за одну секунду збільшується до + 100 °С. За 2 секунди роботи нагрівального елемента температура тіста піднялася до майже + 30 °С, а фаршу до - 4 °С. При вимкненні живлення нагрівача на 1 секунду, температура тіста знижується майже на 3 градуси, а фаршу підвищується на 1 градус.

Наведені дані експериментів та криоскопічні умови (табл. 5) визначають діапазон доцільних температур роботи апарату при формуванні пельменів.

Висновки. Проведені дослідження стали базою для розробки експериментального зразка роботизованого комплексу виробництва ПП. Випробування комплексу показали, що наведені вище технологічні умови та режими забезпечуються. Апарат виробляє якісні пельмені кубічної форми. Все це підтверджує коректність зроблених припущень та доказує вірогідність запропонованої гіпотези, захищає перспективність розробленої конструкції.

References

1. Kaym, G. (2008). *Tekhnologiya pererabotki myasa*. Nemetskaya praktika. SPb: Professiya
2. Domoretskiy, V. A. (2010). *Tekhnologicheskkiye protsessy v pishchevoy promyshlennosti*. Kiyev. Askaniya.
3. Blaise, J. C., Lhoste, P., Ciccotelli, J. (1999). Safety of machinery: integration of engineering, technical and normative views, European Safety and Reliability Conference, Schuëller & Kafka (eds), Rotterdam.
4. Bernard, A. (1996). Contribution à la modélisation des produits et à l'intégration des technologies productrices dans un environnement multi-acteurs, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Nancy-1.
5. Bernard, A. (2000) Modèles et approches pour la conception et la production intégrées, APII-JESA _ 34/2000, CPI'99.
6. Sellini, F. (1999). Contribution à la représentation et à la vérification de modèles de connaissances produit en ingénierie d'ensembles mécaniques, Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale Paris.
7. Bengt, H., Christina, S., and Christina, T. (2000). Heat transfer and food products. Elsevier Applied Science, London and New York.
8. Linnemann, A.R. and Van, B.M. (2007). Food product design. An integrated approach. Wageningen Academic Publishers, Wageningen
9. Saaty, T.L., and Vargas, L.G. (2012). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process [M], International Series in Operations Research & Management Science 175, New York: Springer Science+Business Media
10. Deng, L. (2013). Kinetic functions, optimizing model and definition of "huohou" for Chinese cooking, Nongye Gongcheng Xuebao, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (29) 4, 278-284.
11. Shishmarev, V. Yu. (2017). Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v mashinostroyenii. Moskva: Feniks
12. Ambrazhey, I. M. (2011). Tekhnologiya proizvodstva myasnykh polufabrikatov. Uchebnoye posobiye. Minsk: Litaratura i Mastactva.
13. McGee, H. (2004). On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. Scribner.
14. Pernkopf, I., and Wagner, C. (2007). Die Oberösterreichische Küche: 520 Klassische Rezepte. Edition Oberösterreich.
15. Burdo, O. ta in. (2018) Integratsiya robotekhnicheskogo kompleksa proizvodstva zamorozhennykh polufabrikatov osobykh form.. *Kholodil'na tekhnika ta tekhnolohiya*, 54(4), 62-72.
16. Burdo, O.G., Kalinin, L.G. (2008). Prikladnoye modelirovaniye protsessov perenosa v tekhnologicheskikh sistemakh. Odessa: Druk.

Отримано в редакцію 09.07.2020
Прийнято до друку 02.11.2020

Received 09.06.2020
Approved 02.11.2020