

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

На правах рукопису

КОВАЛЬОВ Олександр Володимирович

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ПОДУ ТА ЙОГО
КОНСТРУКЦІЇ НА РЕЖИМ ПІДВОДУ ТЕПЛОТИ
В ХЛІБОПЕКАРСЬКІЙ ПЕЧІ

Спеціальність 05.18.12 - процеси, машини та агрегати
харчової промисловості

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Київ - 1993

АВ 27.162

Робота виконана в Київському технологічному Інституті харчової промисловості.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Теличун В.І.

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент
Пахомов В.М.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Федоров В.Г.

кандидат технічних наук, доцент
Рекославський В.В.

Провідна організація - "Укрхлібпром" Держхлібопродуктів
України

Захист відбудеться "26" травня 1993 року
о 16 годині на засіданні спеціалізованої Ради Д068.17.04
Київського технологічного Інституту харчової промисловості,
аудиторія А-311.

В дисертацію можна ознайомитися в бібліотеці Інституту.

Автореферат розіслано "14" квітня 1993 року.

Учений секретар
Спеціалізованої Ради
к.т.н.

М.І.Сороколіт

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00803145 (L)

Б ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

А к т у а л ь н і с т ь . Успішне впровадження та удосконалення техніки неможливе без знання існуючих конструкцій, специфіки експлуатації та розрахунків сучасного обладнання. Хлібопекарські вироби займають значне місце в харчовому раціоні людини. В зв'язку з цим постає задача більш повного задоволення попиту на ці продукти, постійного поліпшення їх якості. Для цього необхідне більш глибоке вивчення закономірностей окремих процесів і виявлення зв'язків між показниками якості продукції з метою створення їх математичних моделей, визначення оптимальних режимів.

Рациональне використання досягнень науки в практичній діяльності потребує знань властивостей різноманітних матеріалів та продуктів, що зазнають теплової обробки. Серед них важливе місце займають теплофізичні властивості та їх кількісні характеристики, оскільки теплова обробка широко використовується в харчовій промисловості, зокрема хлібопекарській.

М е т о ю дисертаційної роботи є вивчення теплофізичних характеристик тіста-хліба в процесі теплової обробки, визначення залежності ТФХ тіста-хліба від розпушеності та температури, матеріалу, інтенсивності тепlopідведення; дослідження теплового стану поду з різноманітних матеріалів і різної товщини з використанням БОМ, для обґрунтування матеріалу та розмірів поду хлібопекарської печі при випіканні національних виробів.

З а д а ч і досліджень. Аналіз процесів теплопереносу в тісті-хлібі під час випікання. Визначення залежності ТФХ тіста-хліба від температури, густини матеріалу та інтенсивності тепlopідведення в процесі теплової обробки. Сдержання залежності тепlopровідності тіста в процесі роздушування. Дослідження зміни ТФХ матеріалів, що використовуються для подів хлібопекарських печей, від температури. Розрахунок теплового стану поду з різноманітних матеріалів при випіканні національних виробів. Обґрунтування конструкції поду хлібопекарської печі для випікання національних виробів та впровадження результатів дослідження у практику.

Наукова новизна полягає в наступному:

- розроблено спосіб визначення теплофізичних характеристик матеріалів у квазістаціонарному тепловому режимі при роз'єднанні експерименту в часі. Спосіб дозволяє визначати залежність ТФХ матеріалів, які використовуються для подів, при температурах співрозмірних реальним виробничим умовам;

- розроблена установка для визначення ТФХ вологих колоїдних капілярно-шаристих матеріалів методом плоского імпульсного джерела теплоти. Спосіб дозволяє одержати залежність ТФХ тіста-хліба від температури, густини матеріалу та інтенсивності теплопідведення;

- зроблено аналіз матеріалів, використовуваних у конструкціях подів, розроблена математична модель та програма розрахунку теплового стану поду конвейерної хлібопекарської печі. Це дозволило експериментально встановити вплив ТФХ матеріалу на його тепловий стан;

- отримано математичний вираз для визначення оптимальної товщини матеріалів, використовуваних у конструкції поду хлібопекарської печі, за їх тепловою активністю;

- одержано емпіричні вирази для визначення раціональної температури середовища в зоні підігріву поду та оптимальної товщини поду по тепловій активності матеріалу;

- розроблена програма розрахунку теплового стану поду конвейера хлібопекарської печі в процесі випікання. Програма є універсальною, дає можливість моделювати теплові режими печей різних конструкцій при випіканні виробів широкого асортименту.

Практична цінність роботи. Наукові результати роботи сприяють вирішенню народногосподарської задачі щодо створення хлібопекарських печей з оптимальним тепловим режимом, що забезпечує поліпшення якості виробів, економію паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використаних подів із матеріалів з оптимальними теплофізичними характеристиками. Створена установка для визначення ТФХ матеріалів, що використовуються для подів, яка дозволяє швидко, без особливої підготовки матеріалів, визначати їх ТФХ при різноманітних температурних режимах. Розроблені способи /квазістаціонарний, імпульсний/ визначення ТФХ вологих

колоїдних капілярно-шаристих матеріалів, які дозволяють отримати залежність ТФХ тіст-хліба від температури, густини матеріалу та інтенсивності теплопідведення. Розроблена методика пошарового визначення теплових потоків у тісті-хлібі, що дає змогу досліджувати процес випікання.

Використання тонких перфорованих та щільних датчиків дає змогу дослідити процес заглиблення зони випаровування з поверхневих шарів в середину тістової заготовки.

В п р о в а д ж е н н я р е з у л ь т а т і в
д о с л і д ж е н ь в п р а к т и к у .

Результати досліджень впроваджені при удосконаленні конструкції печі ХЛП - 82 /Ташкент, Алма-Ата, Коканд/ для національних виробів та створенні нової конструкції печі ХЛП-88 /Чирчик/.

Розроблений спосіб визначення ТФХ вологих колоїдних капілярно-шаристих матеріалів впроваджений в учбовий процес КТІХП для проведення науково-дослідних робіт по визначенню ТФХ тіста-хліба.

А п р о б а ц і я р о б о т и .

Основні матеріали роботи викладені на конференції "Проблеми впливу теплової обробки на харчову цінність продуктів харчування" в місті Харкові /1990 рік/; на Республіканських конференціях у Києві /1991 рік/; Одесі /1991 рік/; на наукових конференціях КТІХП /1986 - 1992 роках/.

П у б л і к а ц і ї .

Матеріали роботи висвітлені у 18 публікаціях, в тому числі 5 авторських свідоцтвах на винаходи.

О б с я г р о б о т и .

Дисертація викладена на 168 сторінках друкованого тексту, складається з вступу, п'яти розділів, висновків, вміщує 15 таблиць, 47 малюнків; список використаної літератури складає 238 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність роботи, сформульовані наукова новизна та практична цінність. Викладені основні положення виконаної роботи та її значення для народного господарства.

У першому розділі наведені відомості про особливості тепломасообмінних процесів, що відбуваються під час випікання хліба.

Головним фізичним процесом, що має місце при випіканні, є перенос теплоти і вологи в тісті-хлібі. Теорія переносу теплоти та вологи під час випікання дає можливість обгрунтувати оптимальний режим випікання і є основою для удосконалення та створення нових конструкцій печей. Основи теплофізичної теорії процесу випікання розроблені А. С. Гінзбургом і базуються на сучасному вченні тепломасообміну, створеному академіком О. В. Ликовим та його школою.

На прогрівання тіста-хліба в процесі випікання впливають теплофізичні параметри пекарської камери /температура та відносна вологість паровітряної суміші/, а також ряд чинників, пов'язаних з особливостями виробів, що випікаються /їх маса, форма, вологість, шпаристість тощо/. Вплив температури, а також відносної вологості паровітряної суміші пекарської камери на прогрівання тіста-хліба було встановлено в працях А. С. Гінзбурга, Ф. Г. Шу-масва, І. І. Маклюкова, А. А. Міхелева, О. Т. Лісовенка, Л. Я. Ауермана, М. В. Белікова, В. І. Теличкуна, О. А. Руденка-Грицюка, Л. С. Лазаренко та інших.

Розглянуто питання про особливості кондуктивного підведення теплоти при випіканні хліба. Спроби обгрунтування оптимального режиму випікання, вдосконалення хлібопекарських та кондитерських печей здійснені в роботах Г. П. Марсакова, Р. В. Молодих, М. І. Краснопевцева, В. Н. Лаврова, А. С. Гінзбурга, А. А. Міхелева, В. В. Нащокіна, О. Т. Лісовенка, О. В. Володарського, М. Н. Сігала та інших.

Дослідження інтенсивності теплового потоку, що передається кондукцією тісту-хлібу, має на меті встановлення зв'язку між основними параметрами та вибір раціональних режимів процесу. Питаннями вимірювання теплових потоків у хлібопекарських печах займа-

лися Ф. Г. Щумаєв, В. І. Маклюков, О. А. Герашенко, В. Г. Федоров, О. Т. Лісовенко, В. І. Телічкун, В. В. Рекославський, Ю. О. Терентьев та інші. Розробка малогабаритних малоінерційних датчиків теплового потоку, особливо шаруватих, дала поштовх для розвитку теплометричних досліджень в хлібопекарській промисловості. Перенос теплової енергії до тіста-хліба визначається, головним чином, співвідношенням коефіцієнтів теплової активності матеріалу поду і тіста-хліба. Вирішальний вплив на ріст виробу справляє нижче теплопідведення. При вільному збільшенні об'єму тіста-хліба приріст висоти, обумовлений нижнім теплопідведенням за даними О. Т. Лісовенка, становить близько 80 відсотків загального збільшення висоти.

Для більш глибокого вивчення процесів тепломасообміну при випіканні та уточненні розрахунку печей необхідно знати характер зміни ТФХ тіста-хліба та матеріалу поду конвейєрної печі. Перші роботи по визначенні ТФХ тіста-хліба були виконані В. В. Нащокіним, А. С. Гінзбургом, В. О. Фогелем, О. Т. Лісовенком. У роботах Н. В. Белікова, І. М. Лагузіної, В. О. Фогеля, А. В. Хлопкіної наведені результати досліджень подів із різноманітних матеріалів.

Існує багато методів визначення ТФХ матеріалів, однак процес теплофізичних вимірювань поки що залишається трудомістким. Для комплексного визначення ТФХ вологих колоїдних капілярно-шпारистих матеріалів потрібні спеціальні прилади з широким діапазоном технічних характеристик, а також методики досліджень, які дають змогу одержувати результати з високою точністю при мінімальних трудовитратах. Роботи О. П. Герашенка в галузі теплотриї та В. Г. Федорова в галузі тепломасометрії процесів та продуктів харчових виробництв, а також праці Є. С. Платунова, Т. Г. Грищенка та інших по створенню теплометричних методів дослідження ТФХ матеріалів дає можливість розробляти прилади для комплексних вимірювань ТФХ харчових продуктів і твердих матеріалів. Класифікацій методів експериментального дослідження ТФХ проводили Г. Н. Дульнев, А. С. Гінзбург, А. Ф. Чудновський, Л. П. Філіппов, С. С. Буравой, В. М. Пахомов та інші.

Виходячи з літературних даних, можна припустити, що на кінетику процесів тепломасопереносу, на зміну ТФХ тіста-хліба, фізико-хімічні та біохімічні процеси, що мають місце при випіканні тіста-

хліба, істотно впливає організація теплопідведення.

Другий розділ присвячений опису методів та об'єктів дослідження. Теплофізичні характеристики тіста-хліба визначалися методом регулярного режиму другого роду та методом плоского імпульсного джерела теплоти. Теплофізичні характеристики матеріалів, що використовуються в конструкції поду, визначалися методом регулярного режиму другого роду при роз'єднанні експерименту в часі. Для дослідження теплового стану матеріалів, застосованих для подів, розроблена математична модель, яка дозволила провести обчислювальний експеримент, встановити вплив ТФХ матеріалу поду на його тепловий стан.

Для вимірювання теплових потоків та температури на поверхні та всередині тіста-хліба використовувались датчики температури та теплового потоку. Тістова заготовка формувалася із окремих плоских шарів тіста певної товщини, між якими закладалися датчики. Вибір методу визначення ТФХ диктувався технічними можливостями його реалізації, вимогами до продуктивності та точності вимірювань, діапазоном досліджуваних характеристик та заданих параметрів щільності теплового потоку $/q/$, температурою $/t/$, густиною $/\rho/$ та вологістю $/W/$ досліджуваного матеріалу, економічними затратами на проведення випробувань. Теплометричні методи комплексного дослідження ТФХ в регулярному режимі другого роду базуються на вирішенні одновимірної задачі теплопровідності при нагріванні /охолодженні/ пластини для граничних умов другого роду. Для регулярної стадії режиму формули мають вигляд:

$$\lambda = \frac{(q_1 + q_2)h}{2 \Delta t} \quad /1/$$

$$c\rho = \frac{q_1 - q_2}{u h} \quad /2/$$

$$a = \frac{(q_1 + q_2)h^2 u}{2(q_1 - q_2)\Delta t} \quad /3/$$

де: q_1 і q_2 - відповідно щільність теплового потоку на одній та протилежній поверхнях зразка, Вт/м²;

h - товщина зразка, м;

Δt - температурний перепад на поверхнях зразка, °C;

$u = dt/d\tau$ - швидкість зміни температури, K/c.

Імпульсний метод миттєвого плоского джерела теплоти заснований на вирішенні рівняння теплопровідності у випадку дії в досліджуваному об'єкті короткочасного імпульсу теплоти.

Розрахункові формули мають вигляд:

$$\lambda = 0,1205 \frac{q_0 h}{\Delta t_m \tau_m} \quad /4/$$

$$c = 0,241 \frac{q_0}{\rho h \Delta t_m} \quad /5/$$

$$a = \frac{h^2}{2 \tau_m} \quad /6/$$

де: q_0 - поверхнева енергетична щільність миттєвого теплового джерела, Дж/м²;

Δt_m - максимальна різниця температур між протилежними поверхнями зразка, °C;

τ_m - тривалість розповсюдження максимуму теплової хвилі до протилежної поверхні зразка, °C.

При метрологічному аналізі засобів вимірювання проведена перевірка відтворюваності дослідів на експериментальній установці. Відтворюваність дослідів оцінювали за критерієм Кохрена, який визначали як відношення найбільшої з оцінок дисперсії до суми всіх оцінок дисперсії. Проведено визначення порогу чутливості вимірювальних приладів. Математична обробка результатів проведена згідно з методами математичної статистики з визначенням достовірності кількісних відмінностей результатів досліджень. Характер зв'язку між окремими параметрами та його кількісний вираз знаходили у вигляді кореляційної залежності. В роботі використано метод математичного планування експерименту для знаходження оптимальних параметрів теплофізичної апаратури. Математична обробка експериментів проводилась з використанням ЕОМ.

У третьому розділі викладені результати досліджень теплофізичних характеристик тіста-хліба в процесі розстоювання та теплової обробки. Досліджено розповсюдження потоків

теплоти всередині та на поверхні тіста-хліба під час випікання. Визначено ТФХ матеріалів, які використовуються в конструкції подів.

Коефіцієнт теплопровідності тіста з пшеничного борошна I сорту при температурі розстоювання 30°C може бути визначений з рівняння:

$$\lambda = (0,47\rho - 59) \cdot 10^{-3}, \quad \text{Вт/(м·К)} \quad /7/$$

Зміна теплопровідності тіста в процесі розстоювання відбувається за рахунок зменшення його густини.

В процесі теплової обробки коефіцієнт теплопровідності та масової теплоємності м'якуша лінійно зростає в інтервалі температур 20 ... 70 °C. Коефіцієнт температуропровідності на цьому температурному інтервалі суттєво не залежить від температури, а із збільшенням густини лінійно зменшується. Вагомий вплив на величину ТФХ справляє інтенсивність теплопідведення. Із збільшенням інтенсивності теплових потоків зростає внутрішній масоперенос і теплофізичні коефіцієнти збільшуються на 12 - 14 %.

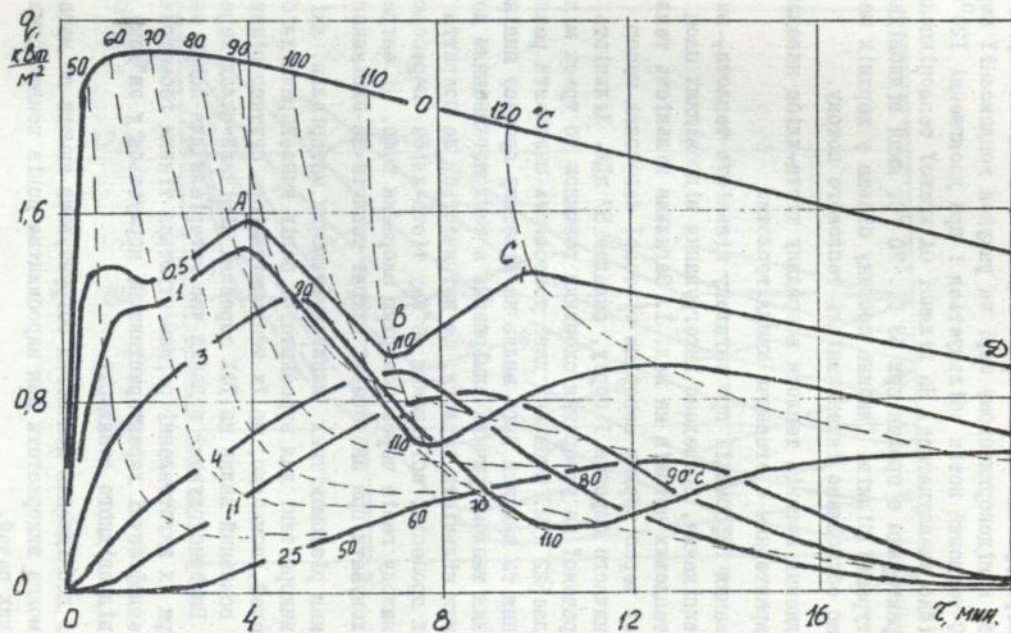
Одержано вирази, які встановлюють залежність ТФХ від температури / t /, густини / ρ /, інтенсивності теплопідведення / q / для тіста-хліба з пшеничного борошна I сорту:

$$\lambda = 3,10 \cdot 10^{-3} t + 4,10 \cdot 10^{-2} t^{12,8} + 3,5 \cdot 10^{-5} q + 2,6 \cdot 10^{-4} \rho - 16 \cdot 10^{-2}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м·К}} \quad /8/$$

$$c = 3,7 \cdot 10^{-2} t + 1,76 \cdot 10^{-30} t^{15,1} - 1,63 \cdot 10^{-4} q + 3,7 \cdot 10^{-3} \rho - 0,357, \quad \frac{\text{к·Дж}}{\text{кг·К}} \quad /9/$$

$$a = 2,88 \cdot 10^{-7} - 2,6 \cdot 10^{-10} \rho + 8,6 \cdot 10^{-11} q, \quad \text{м}^2/\text{с} \quad /10/$$

Кінетика теплоприпливу через верхню поверхню тіста-хліба наведена на мал. I. Нумерація ліній відповідає глибині закладення датчиків теплового потоку. На глибині до трьох міліметрів, починаючи з 4-ої хвилини, характерне різке падіння теплового потоку, що обумовлено просуванням зони випаровування всередину тіста-хліба. Криві теплопідведення 0,5; I ; 3 ; мають характерні чотири ділянки. Ділянка OA відповідає прогріванню тіста-хліба до 90 °C,



Мал. І. Криві теплових потоків у тісті-хлібі в процесі випікання на глибини від верхньої поверхні, мм.

при досягненні якої тепловий потік зменшується /ділянка АВ/ до досягнення температури 110°C , що обумовлено збільшенням температури тіста-хліба в підскоринковому шарі за рахунок конденсації пари. На ділянці ВС тепловий потік збільшується і при досягненні 120°C починає постійно зменшуватись. На ділянці ОА кривої теплопідведення 0,5; і характерним є прогин при $68 \dots 70^{\circ}\text{C}$, який відповідає процесу денатурації білків. Глибина прогину більша у верхніх шарах зразка, що обумовлено інтенсивністю теплового потоку.

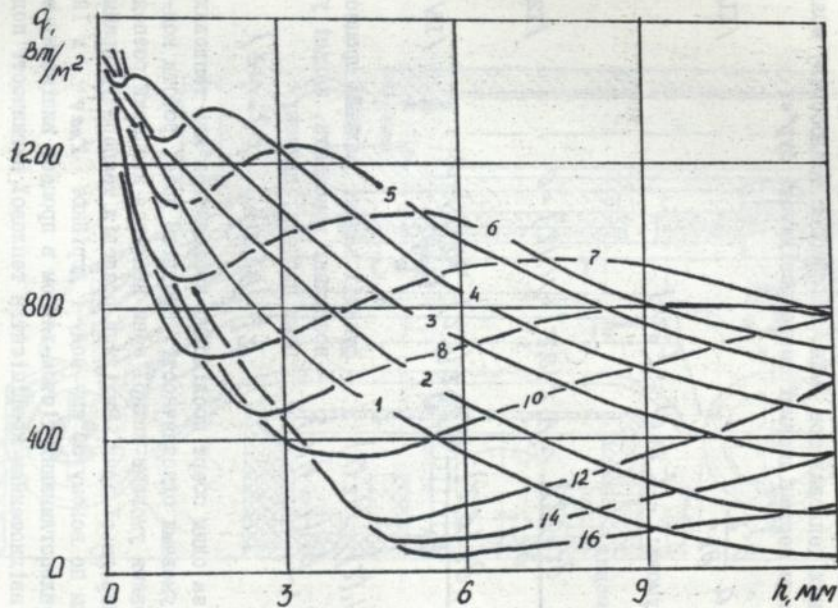
Розповсюдження потоків теплоти всередину тіста-хліба наведено на мал. 2. Характерним є згасаюча хвиля теплоти.

Для одержання інформації про загальну кількість теплоти, витраченої на випікання, проведено інтегрування відповідних площ під лініями теплових потоків на мал. 1. Загальна кількість теплоти, підведена через верхню поверхню тістової заготовки масою 0,3 кг з пшеничного борошна I сорту, складає 57 кДж. Кількість теплоти, витраченої на утворення скоринки товщиною до трьох міліметрів, складає 22 кДж. Отримані дані дозволяють визначити режим теплопідведення та вивчити його вплив на кінетику процесу випікання. Зіставлення теплометричних вимірювань з теплопоглинанням дозволяє визначити кількість теплоти, що витрачається на покриття теплофізичних процесів, збільшення об'єму тіста-хліба, переборювання опору виходу газів через поверхню скоринки тощо. Ці затрати належить враховувати при визначенні витрат теплоти на випікання.

Дослідження різноманітних теплоакуючих матеріалів, які можуть бути використані для виробництва подів конвейерних хлібопекарських печей, показало, що їх теплоактивність суттєво різниться, при чому основний вплив на ТФХ справляє хімічний склад керамічної маси. Використовувані в даний час матеріали для подів мають різні ТФХ. При їх виготовленні регламентуються тільки геометричні розміри, а теплофізичні характеристики не нормуються у зв'язку з відсутністю відповідного стандарту.

Проведені дослідження допомогли обґрунтувати вимоги до матеріалів, які можна використати для виробництва подів конвейерних хлібопекарських печей.

В ч е т в е р т о м у р о з д і л і наведена математична модель теплового стану поду конвейерної хлібопекарської печі з



Мал. 2. Криві розповсюдження потоку теплоти в середину тіста-хліба в різні моменти часу випікання в хвиликах.

тістом-хлібом. Для аналізу теплообміну в хлібопекарській печі в процесі прогрівання поду і випікання виробів необхідно розрахувати нестационарний розподіл температур в товщі поду по ходу конвейера. За основу для розрахунку прийнята хлібопекарська піч ХЛП-82 для випікання національних виробів. Піч умовно розбита на п'ять характерних теплових зон /мал. 3/. Процес теплообміну можна описати рівнянням нестационарної теплопровідності Фур'є:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad /II/$$

Початкові умови: $t(x, 0) = t_0(x)$

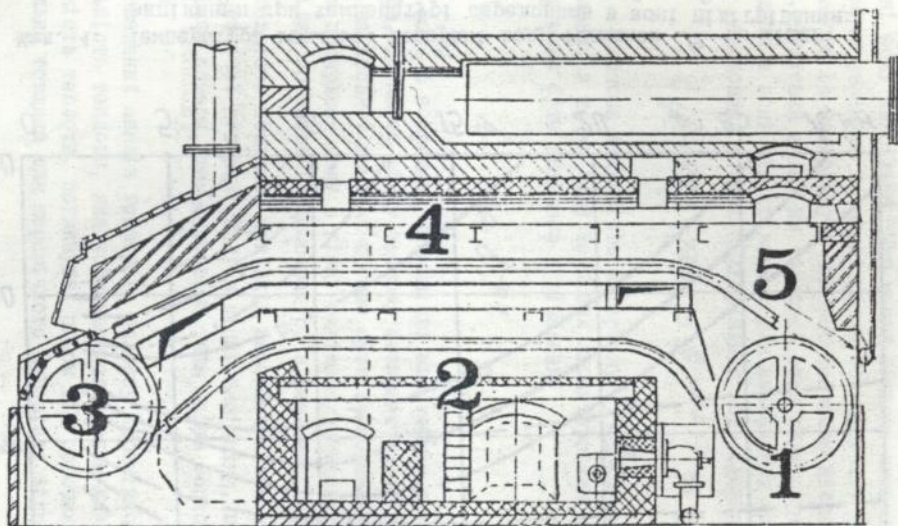
Граничні умови:

$$-\alpha_1 \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} - \beta_1 t(0, \tau) + \mu_1(\tau) = 0 \quad /I2/$$

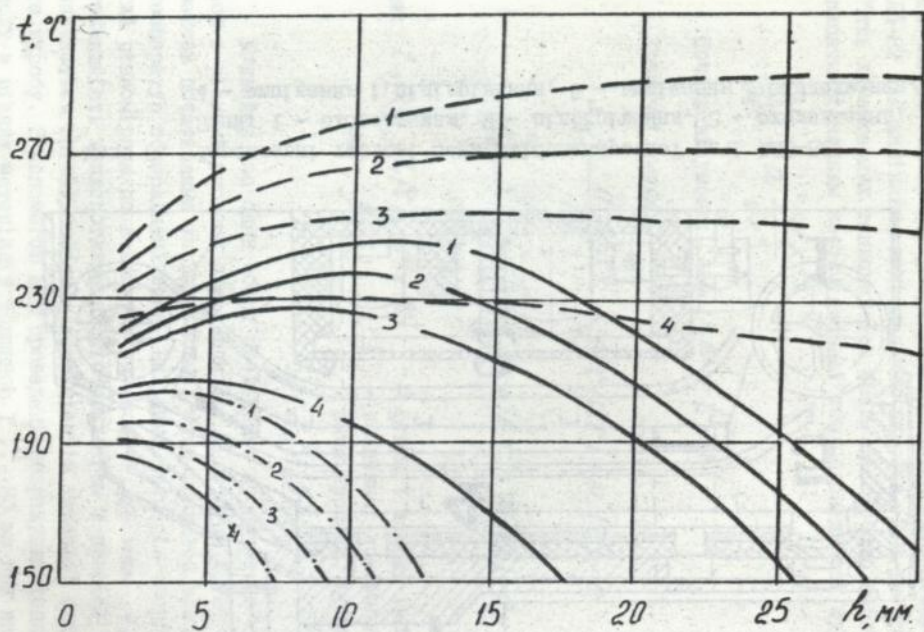
$$-\alpha_2 \frac{\partial t(l, \tau)}{\partial x} - \beta_2 t(l, \tau) + \mu_2(\tau) = 0 \quad /I3/$$

де: $t_0(x)$, $\mu_1(\tau)$, $\mu_2(\tau)$ - функції задані умовами процесу;
 α_i , β_i ($i=1, 2$) - позитивні константи, задані умовами процесу, причому
 $\alpha_i^2 + \beta_i^2 \neq 0$ ($i=1, 2$).

Конвейер за один оберт послідовно проходить п'ять теплових зон з різними умовами однозначності. Протягом всієї роботи конвейера початковими умовами кожної зони вважався кінцевий розподіл температур попередньої зони. Вихідний розподіл температур прийнятий рівномірним по всьому об'єму поду і дорівнює $t_{нач}$. Інтенсивність теплопоглинання тістом-хлібом в процесі випікання визначається співвідношенням коефіцієнтів теплової активності поду та виробу. З допомогою БОМ проведені розрахунки теплового стану поду з різних матеріалів товщиною $l \dots 30$ мм при випіканні виробів "обі-нон" з пшеничного борошна I-го сорту масою 0,3 кг. На мал. 4 показана залежність температури верхньої поверхні поду в кінці випікання від температури в зоні підігрівання поду /зона 2/.



Мал. 3. Характерні теплові зони хлібопекарської печі ХЛП-82.
 Зони: 1 - охолодження, 2 - підігрівання, 3 - охолодження,
 4 - випікання і підігрівання, 5 - випікання і охолодження.



Мал. 4. Температура верхньої поверхні поду товщиною h в кінці випікання при температурі середовища в зоні підігрівання: I - 350°C; 2 - 325°C; 3 - 300°C; 4 - 250°C
 --- метал, ————— кераміка, - . - . - керамзитобетон.

Наведені криві стану подів різної товщини при однаковій температурі середовища пекарської камери засвідчують, що функція має максимум/тобто оптимальну товщину/, при якому температура робочої поверхні поду найбільша. Чим менша теплова активність матеріалу, тим ближче максимум температури до осі ординат. Одже товщина поду, виробленого із матеріалу з низькою тепловою активністю, має бути меншою. Суттєвий вплив на тепловий стан поду справляє температура середовища в зоні підігрівання. Для визначення оптимальної температури середовища в зоні підігрівання поду одержано вираз:

$$t_{cp} = 89,3 + 1303,5 \beta^{-0,4} \quad \text{°C} \quad /14/$$

де β - теплова активність матеріалу, $\frac{h \cdot k}{c \cdot M^2 \cdot K}$.
Оптимальна, з точки зору теплових характеристик матеріалу, товщина поду може бути знайдена з рівняння:

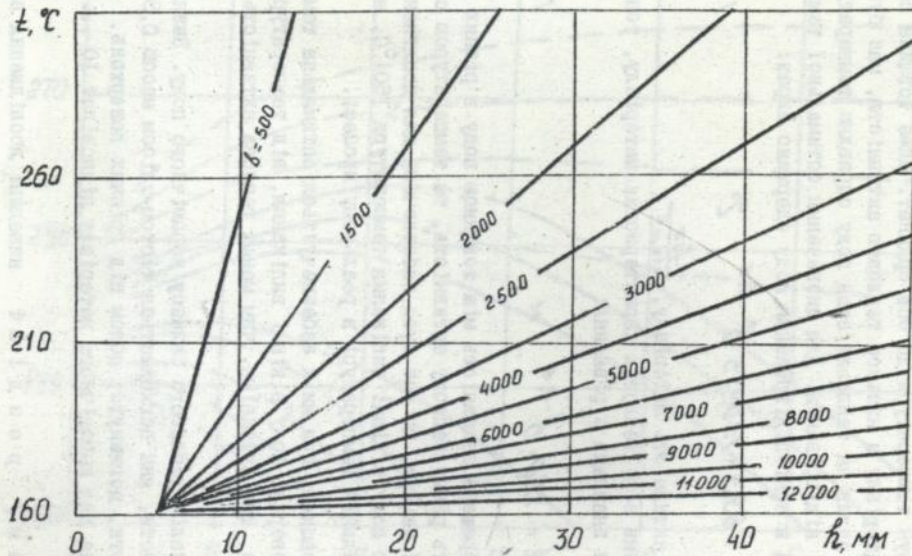
$$h = 150 \cdot \beta^{-0,4} \quad \text{мм} \quad /15/$$

На мал. 5 зображена залежність між товщиною поду в різних матеріалів, що мають різну теплову активність, та температурою середовища пекарської камери, що має бути забезпечена для досягнення робочою поверхнею поду в кінці випікання температури 150 °C, яка відповідає оптимальній температурі в реальному процесі.

Залежність товщини, при якій забезпечується оптимальна температура робочої поверхні поду в кінці випікання, від температури пекарської камери, тим суттєвіша, чим менша теплова активність матеріалу.

Проведений аналіз теплового балансу керамічного поду. Визначена кількість теплоти, яка поглинається тістом-хлібом масою 0,3 кг і кількість теплоти, поглинутої подом від гріючих поверхонь. Оптимальна товщина для керамічного матеріалу відповідає 10 ... 15 мм.

У п'ятому розділі наведені дослідження впливу матеріалу поду на процес випікання. Встановлено, що матеріал поду та його розміри суттєво впливають на теплообмін з тістом-хлібом та якість виробів. Випікалися вироби "обі-нон" масою 0,3 кг з пшеничного борошна I-го сорту на подах з керамічної плитки та



Мал. 5. Графік для знаходження оптимальної температури середовища печі в зоні випікання залежно від товщини поду із матеріалів з різною тепловою активністю в $\frac{H \times}{\text{с}^2 \text{м}^2 \text{К}}$.

металевого листа різної товщини. Вироби зпечені на керамічному поду, мали значно ліпшу якість, рівномірний колір поверхні, більший питомий об'єм. Пробні випікання національних виробів, проведені на існуючих конвейєрних печах різних конструкцій показали, що якість виробів поступається тим, що зпечені в тандирі. Це пояснюється специфічними особливостями режиму випікання національних сортів хліба. Найсуттєвішим з них є режим підведення теплоти від поду до тіста-хліба. За результатами виробничих та лабораторних досліджень визначені найбільш раціональні режими теплопідведення до нижньої скоринки при випіканні національних сортів хліба типу "обі-нон" 0,3 кг.

Дослідження типового режиму в робочій камері хлібопекарської печі ХЛП-82 при випіканні виробів "обі-нон" 0,3 кг показали, що тепловий режим близький до тандирного /див. табл. I/, вироби мають добру якість поверхні /глянець/, великий питомий об'єм, рівномірне забарвлення поверхні.

Таблиця I

Порівняльні характеристики кількості теплоти для різних печей при випіканні виробів "обі-нон"

Піч	Упікання, %	Експериментальна витрата теплоти, кДж/кг			Теоретична витрата теплоти, Q_r кДж/кг	Небаланс, %
		Q_{δ}	Q_n	ΣQ		
Данько-Султанходжаєва	8,5	174	193	367	394	+8,5
Брувера-Саліхова	6,2	198	128	326	340	+6,8
БН-50	12,5	296	125	421	470	+12,5
Тандир	4,6	233	72	305	293	-4,1
ХЛП-82	6,0	235	100	335	340	+5,0

ЛНБ ім. В. Стефани
АН України

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Дослідження процесу випікання національних сортів хліба в промислових печах дозволило виявити особливості теплового режиму в робочих камерах. З'ясовано, що низька відносна вологість середовища та значна вентиляція робочих камер, що має місце в печах конструкції Брувера-Саліхова та Дянько-Султанходжаєва призводить до значних витрат в результаті упікання, погіршення якості виробів.

2. З'ясовано, що інтенсивність прогрівання тіста-хліба під час випікання, а також якісні показники готової продукції залежать від матеріалу та товщини поду.

3. Експериментальним та розрахунковим шляхом встановлено раціональний режим підведення теплоти до виробу в процесі випікання на нагрітому масивному поді. Визначено кількість теплоти, що поглинається верхньою та нижньою поверхнями тіста-хліба.

4. Методом безпосереднього вимірювання теплових потоків і температур на поверхні та внутрішніх шарах тіста-хліба побудовані поля розподілу потоків теплоти та температури в процесі випікання. Їх аналіз дозволяє дати кількісну та якісну оцінку зовнішнього та внутрішнього теплообміну, що має місце в процесі випікання.

5. Розроблена математична модель і програма розрахунку теплового стану поду в процесі випікання дозволяє моделювати теплові режими печей різних конструкцій при випіканні різноманітного асортименту виробів.

6. Показано, що інтенсивність теплового потоку від поду до тіста-хліба визначається коефіцієнтом теплової активності матеріалу поду. Коефіцієнт теплової активності матеріалу є одним з важливих теплових характеристик, за якою визначають оптимальну товщину поду.

7. Одержані емпіричні вирази для визначення раціональної температури середовища пекарської камери в зоні випікання та оптимальної товщини масивного поду залежно від теплової активності матеріалу.

Дир. ін. В. Стефанів
НА

8. Встановлено, що максимальне значення температури поверхні поду під хлібом, як показник, що характеризує тепловий стан поду, залежить від його товщини.

9. Розроблені способи визначення ТФХ різноманітних матеріалів дозволяють одержати залежність ТФХ від температури, інтенсивності теплопідведення та густини матеріалів. Результати дослідження ТФХ матеріалів використані для обґрунтування конструкції поду з оптимальними властивостями.

10. Результати досліджень впроваджені в конструкціях печей для випікання національних виробів ХЛП-82, ХЛП-88, впроваджених в Ташкенті /2 шт./, Коканді /2 шт./, Алма-Аті, Чирчику.

Основний зміст дисертації викладено в таких роботах:

1. А. с. I5I7885 СССР. Способ управления тепловым режимом выпечки в хлебопекарной печи /Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. - Б. И. - № 40. - 1989.

2. А. с. I562820 СССР. Способ определения теплофизических характеристик материалов / Теличкун В. И., Пахомов В. Н., Ковалев А. В. и др. - Б. И. - № I7. - 1990.

3. А. с. I5786I6 СССР. Способ определения влажности капиллярно-пористых материалов в процессе теплообмена / Теличкун В.И., Пахомов В. Н., Ковалев А. В. и др. - Б. И. - № 26. - 1990.

4. А. с. I6II3I0 СССР. Хлебопекарная печь / Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. - Б. И. - № 45. - 1990.

5. А. с. I5II3II СССР. Хлебопекарная печь / Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. - Б. И. - № 45. - 1990.

6. Ковалев А. В., Теличкун В. И., Пахомов В. Н. Влияние температуры и плотности теста мякиша хлеба на их теплофизические характеристики. - Пищевая промышленность, 1988. - № 4. - С. 44 - 45.

7. Ковалев А. В., Теличкун В. И., Дудко С. Д. и др. Способ определения теплофизических характеристик материалов. Информационный листок НТД № 88-147. - УкрНИНТИ, 1988.

8. Ковалев А. В., Теличкун В. И., Дудко С. Д. и др. Устройство для измерения составляющих теплового потока и температуры излучающей поверхности. Информационный листок НТД № 89-012. - УкрНИИНТИ, 1989.

9. Ковалев А. В., Пахомов В. Н., Бережницкая Ю. С. Теплофизические характеристики теста-хлеба в процессе выпечки /Тез.докл. Всесоюзной научн. конф. - Харьков, ХИОП, 1990.

10. Ковалев А. В., Теличкун В. И., Дудко С. Д. и др. Способ определения теплофизических характеристик материалов подиков хлебопекарных печей / Тез. докл. респ. конф. - Киев, КТИПШ, 1991. - С. 481 - 482.

11. Ковалев А. В., Теличкун В. И., Пахомов В. Н. и др. Установка для комплексного определения теплофизических характеристик теста-хлеба / Тез. докл. респ. конф. - Одесса, 1991.

12. Пахомов В. Н., Ковалев А. В., Теличкун В. И. и др. Установка для комплексного определения теплофизических характеристик влажных материалов. Информационный листок НТД № 89-154. - УкрНИИНТИ, 1989.

13. Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. Способ управления тепловым режимом в рабочей камере печи. Информационный листок НТД № 89-058. - УкрНИИНТИ, 1989.

14. Теличкун В. И., Ковалев А. В. Печь для выпечки национальных изделий / Тез. докл. Всесоюзной конф. - Харьков, ХИОП, 1990.

15. Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. Способ и устройство для регулирования процесса выпечки в хлебопекарной печи / Тез. докл. респ. конф. - Одесса, 1991.

16. Теличкун В. И., Дудко С. Д., Ковалев А. В. и др. Разработать и внедрить печь для выпечки национальных изделий рабочей камерой и конвейерным подом /отчет/. КТИПШ, 1988. - 40 с.

17. Теличкун В. И., Ковалев А. В., Пахомов В. Н. Комплексное определение теплофизических характеристик мякиша хлеба в процессе тепловой обработки / Методические указан. к выполн. НИР, КТИПШ, 1990. - 16 с.

18. Хлебопекарная печь для выпечки национальных изделий / Теличкун В. И., Сигал М. Н., Дудко С. Д., Ковалев А. В. Информационный листок НТД № 90-034. - УкрНИИНТИ, 1990.

Ковалев

Подписано в печать 2.04.93г формат 60x84/16
Бумага писчая. Усл.печ.л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 604
Отпечатано ЦУОП ГНПП "Плодвинконсерв" г.Киев,Саксаганского,1

161805

AB 27.162