

ОДЕСЬКИЙ ІНСТИТУТ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

На правах рукопису

ЖЕЛІБА КРІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

РЕЖИМИ ТА АПАРАТИ ПОТОКОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ
ОБРОБКИ ТУШОК КУРЕЯ

Спеціальність: 05.04.03 - Машини і апарати холодильної
та криогенної техніки і
систем кондиціонування.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1993

Роботу виконано в Одеському інституті низькотемпературної техніки та енергетики.

- Науковий керівник - кандидат технічних наук,
доцент В. П. Свищенко.
- Офіційні опоненти - д.т.н., професор, академік
АНТК України М. А. Гришин
- к.т.н., ст. наук. сп.
А. М. Чернозубов
- Провідна організація - Інженерно - технологічний
інститут "Біотехніка"

Захист дисертації відбудеться "25" жовтня 1983 р.
о 11 годині на засіданні спеціалізованої Ради К.083.27.01.
Одеського інституту низькотемпературної техніки та енергетики
за адресою:

70100, м. Одеса, вул. Петра Великого, 1/3, ОІНТЕ.

Автореферат розіслано "25" вересня 1983 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради
д.т.н., професор

Р. К. Нікульшин

ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00810647 (Q)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Цех N03-363

Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми.

Висока якість м'яса птиці в поєднанні з швидкими темпами його відтворення, швидкостиглістю сировини та можлива індустріалізація всього процесу вирощування та переробки обумовили стійку тенденцію росту виробництва та споживання м'яса домашніх птахів у всіх країнах світу. Шляхом розвитку птахівництва вирішувались проблеми задоволення потреб населення продуктами харчування у Франції, Німеччині, США. У зв'язку з цим актуальною проблемою є необхідність розвитку холодної технології переробки продуктів птахівництва, яка нерозривно пов'язана з розробкою способів, інтенсивних процесів і режимів холодної обробки з метою зниження втрат сировини від усушки, максимально можливого збереження якості продукції, економії енергоресурсів та впровадження сучасних форм обслуговування в торгівлі. Досвід розвитку холодної технології птахопереробних підприємств у розвинутих країнах світу показує, що головним напрямком вирішення цих задач є поштучна холодна обробка попередньо упакованих тушок птиці в потокових конвекційних швидкозаморозильних апаратах спірального типу.

Конструювання такого обладнання потребує знання закономірностей протікання теплообміну між продуктом і охолоджуючим середовищем. Задачі проектування можливо вирішити тільки при достовірній інформації про тривалість процесу холодної обробки, динаміку зміни теплових потоків з поверхні продукту, закони формування в часі температурних профілів та середньоентальпійної температури об'єкту. Ця інформація важлива і для вибору технологічних режимів при використанні для холодної обробки універсального швидкозаморозильного обладнання, а також при розробці нормативно-технічної документації, технологічних інструкцій, нових технологічних ліній, систем технологічного контролю.

Метою роботи є розробка методик для визначення динаміки зміни характеристик процесу теплообміну під час холодної обробки упакованих тушок курей в повітряному середовищі, розробка конструктивних та технологічних характеристик і вихідних вимог на універсальні швидкозаморозильні апарати потокового типу різної продуктивності. В зв'язку з ним вирішувались наступні основні завдання:

- проведення експериментальних досліджень по визначенню основних геометричних характеристик тушок курей для виявлення їх впливу на процес теплообміну;

- створення методики прогнозування теплофізичних властивостей (ТФВ) м'яса і шкіри курей на базі існуючих експериментальних да-

них та апробованих математичних моделей;

- проведення експериментальних досліджень процесу теплообміну під час заморожування упакованих тушок курей в повітряному середовищі для визначення теплових потоків та температурних полів по його товщині;

- розробка математичних моделей для опису і моделювання характеристик процесу теплообміну під час холодильної обробки м'яса курей з урахуванням особливостей продукту, його ТФВ, виду упаковки та технологічних режимів охолоджуючого середовища;

- реалізація рішення математичної моделі на ЕОМ, підтвердження адекватності результатів моделювання експериментальним дослідженням;

- встановлення відносного впливу параметрів охолоджуючого середовища, маси курки, особливостей її упаковки на тривалість процесу термообробки та теплове навантаження на холодильну установку;

- розробка методики розрахунку основних технічних та технологічних параметрів швидкозаморозувального обладнання, підготовка відповідних вимог на серію апаратів.

Наукова новизна роботи визначається тим, що в ній вперше розроблена математична модель для визначення в режимі реального часу динаміки зміни характеристик процесу теплообміну (температурних полів, питомих теплових потоків з поверхні, частки вимороженої води, межі просування фронту початку кристалізації води, середньоемпіричної температури) під час холодильної обробки тіла геометрично складної форми з внутрішньою порожниною. Вперше одержані залежності для визначення основних геометричних характеристик тушок курей, емпіричних властивостей сухих компонент м'яса та шкіри і запропонована методика прогнозування ТФВ м'яса і шкіри курей з урахуванням їх залежності від температури та компонентного складу.

Наукове положення, яке захищається у роботі:

Рішення одновимірної нелінійної нестационарної крайової задачі теплопровідності з коефіцієнтом форми як інтерполяційним параметром та двома граничними умовами третього роду описує динаміку зміни характеристик процесу холодильної обробки тушки курки - тіла складної геометричної форми з внутрішньою порожниною.

Під час вирішення поставлених завдань одержані такі наукові результати роботи:

1. Одержані експериментальні дані та залежності для розрахунку основних геометричних характеристик тушок курей масою до 2 кг.
2. Розроблена методика прогнозування теплоємності, густини,

теплопровідності, ентальпії, частки вимороженої води м'яса і шкіри курей в залежності від температури та компонентного складу.

3. На основі результатів розрахунків за залежностями, одержаними під час рішення нелінійної нестационарної несиметричної задачі теплопровідності для продукту у вигляді нескінченної пластини з коефіцієнтом гомохронності системи пластина-реальний продукт, шляхом порівняння з експериментальними даними обґрунтовано і вибрано коефіцієнт форми тушки курки, який в середньому дорівнює 0.55.

4. Розроблена методика розрахунку процесу холодильної обробки тушок курей на базі рішення нелінійної інтерполяційної несиметричної нестационарної крайової задачі теплопровідності з двома граничними умовами третього роду, з інтерполяційним коефіцієнтом $\Gamma=0.81$, яка адекватно даним експериментальних досліджень описує динаміку зміни температурних профілів, вигомих теплових потоків, середньо-ентальпійної температури, межі просування фронту початку кристалізації і розраховує тривалість процесу та дозволяє прогнозувати ці величини.

5. Визначено вплив режимів охолоджуючого середовища, маси птиці, способу її упаковки, розміру повітряного прошарку на тривалість процесу холодильної обробки і теплове навантаження на охолоджуюче устаткування.

6. Розроблено вихідні вимоги на проектування швидкозаморожуючих апаратів різної продуктивності для поточної холодильної обробки упакованих тушок птиці (курей, бройлерів).

Практична цінність роботи визначається тим, що запропонований метод дозволяє з прийнятною для практичних розрахунків точністю прогнозувати динаміку процесу холодильної обробки упакованих тушок птиці з урахуванням особливостей продукту, його упаковки та характеристик охолоджуючого середовища. Одержані результати відносно тривалості процесів та теплового навантаження необхідні під час конструювання обладнання, розробки нормативно-технічної документації, систем технологічного контролю, проектів реконструкції охолоджуючих систем та вибору режимів експлуатації універсальних швидкоморозильних апаратів.

Одержані результати, методика розрахунку передані УНВІП "Холод" (м. Одеса) і СКІБ "Ковваль Пляж" (м. Львів) для розробки конструкторської документації та виготовлення по замовленню республіканського галузевого концерну м'ясної промисловості "Укрм'ясо" універсального швидкоморозильного апарату потокової холодильної

обробчи птахів.

Результати розрахунків та методика їх прове́чення використані ГНВО "Салот" (м. Одеса) під час розробки проекту реконструкції охолоджуючої системи Чорноморської птахофабрики.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на Всесоюзній науково-практичній конференції "Шляхи інтенсифікації виробництва з використанням штучного холоду в галузях АПК, торгівлі та на транспорті" (м. Одеса, 1989 р.), Республіканські науково-практичні конференції "Інтенсифікація технології та удосконалення обладнання переробних галузей АПК" (м. Київ, 1989 р.), Республіканські науково-технічні конференції "Розробка та впровадження високоефективних ресурсозберігаючих технологій, обладнання та нових видів харчових продуктів в харчову та переробні галузі АПК" (м. Київ, 1991 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Холод - народному господарству" (м. Санкт-Петербург, 1991 р.), Міжреспубліканській науково-практичній конференції "Удосконалення холодильної техніки та технології для ефективного збереження і переробки сільськогосподарської продукції" (м. Краснодар, 1992 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в одинадцяти статтях та тезах доповідей.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків, загальним об'ємом 185 сторінок, включаючи 21 малюнок, 17 таблиць та додатки на 37 сторінках. Список літератури включає 144 найменування, з яких 36 іноземні.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані головна мета та завдання дослідження, наукове положення, яке захищається в роботі, наукова новизна та практична цінність роботи.

У першій главі дисертації проведено аналіз способів і режимів холодильної обробки м'яса птиці, проведено обґрунтування конкурентоспроможності використання повітряного способу охолодження чи заморожування упакованих тушок птиці. Проаналізовано сучасні тенденції в розвитку техніки та холодильної технології обробки птицепродуктів в повітряному середовищі. Відзначено, що найбільш перспективними є поточні універсальні швидкоморозильні апарати тунельного або спірального типу, проєктування яких потребує детального опису протікання процесів теплообміну під час холодильної обробки.

Вирішення цих питань присвячено праці багатьох вчених: А.Г.Філіна, І.Г.Алямовського, М.О.Головкіна, І.Г.Чумака, Д.Г.Ротова, О.М.Бражнікова, О.В.Ликова, Д.Дж.Кліланда, Г.Г.Фема, К.Ліларда, К.П.Венгер та інших. Майже всі дослідження спрямовані тільки на визначення тривалості процесу або шляхом проведення експериментальних досліджень з їх обробкою, або рішення рівняння Р.Планка різних модифікація. Деякі праці направлені на рішення рівняння теплопровідності з граничними умовами другого і третього роду в лінійній постановці, тобто використанням постійних ТФВ продукту. В цілому визначено, що відсутні моделі, які дозволяють з прийнятною для практичних розрахунків точністю описувати динаміку характерних величин процесу теплообміну під час холодильної обробки тушок птиці, і для вирішення цієї задачі потрібно розв'язати нелінійну інтерполяційну крайову задачу нестационарної теплопровідності в масштабі реального часу з детальним описом ТФВ продукту в залежності від температури та компонентного складу.

В зв'язку з цим проведено аналіз існуючих методів розрахунку ТФВ м'яса та шкіри курей і показано, що незважаючи на наявність апробованих методик розрахунків ТФВ м'яса різних видів тварин, вони не використані для прогнозування ТФВ м'яса птиці.

Проведення літературного огляд та патентний пошук дозволили сформулювати основні задачі дослідження.

Друга глава присвячена експериментальному дослідженню основних геометричних характеристик тушок курей та прогнозуванню ТФВ їх м'яса та шкіри.

На базі одержаних результатів експериментальних досліджень запропоновані залежності для розрахунку площі зовнішньої поверхні (F), об'єму порожниці (V), товщини грудного м'язу (R) та інших геометричних параметрів:

$$S = (130.659 + m (944.084 - 192.466 m)) / 10^{-4};$$

$$V = (218.4 - m (14.2639 - 57.878 m)) / 10^{-6};$$

$$R = 9.717 \cdot 10^{-4} + m (0.019 - 0.00289 m).$$

На основі відомих в літературі експериментальних даних густини м'яса та шкіри прогнозовано зворотним розрахунком залежності густини їх сухої складової в д температури:

$$\rho_{\text{с}}^{\text{м}}(T) = 1295.45 - 0.349 (T - 290);$$

$$\rho_{\text{с}}^{\text{ш}}(T) = 1054.21 - 0.349 (T - 290).$$

Таким же чином одержані залежності для теплопровідності сухих складових м'яса і шкіри та їх теплоємностей:

$$\lambda_{\text{с}}^{\text{м}}(T) = 0.0321 + 3.0 \cdot 10^{-4} (T - 290);$$

$$\lambda^{\text{ш}}(T) = 0.0292 + 3.0 \cdot 10^{-4}(T - 290);$$

$$C_c^{\text{шм}}(T) = 1605 + 1.75 (T - 273.15) \cdot 10^{-3}.$$

М'ясо розглядали як систему із чотирьох компонент - суха складова, вода, лід та нерозчинені гази.

Зробивши припущення про адитивність питомих об'ємів компонент в формуванні питомого об'єму суміші, розроблено методику розрахунків ТФВ. Допустима похибка при визначенні густини досягається шляхом окремого розрахунку питомих об'ємів підсистем вода-газ, вода-лід-газ

$$\frac{1}{\rho(T)} = \frac{W_c}{\rho_c(T)} + \frac{W_v}{\rho_{v-g}(T)}, \quad \text{при } T > T_{kp}$$

$$\frac{1}{\rho(T)} = \frac{W_c}{\rho_c(T)} + \frac{W_{v-l}}{\rho_{v-g-l}(T)}, \quad \text{при } T < T_{kp}$$

де

$$\frac{1}{\rho_{v-g}(T)} = \frac{1 - W_g}{\rho_v(T)} + \frac{W_g}{\rho_g(T)}, \quad \text{при } T > T_{kp}$$

$$\frac{1}{\rho_{v-g-l}(T)} = \frac{\omega(T) (1 - \xi_g(T))}{\rho_l(T)} + \frac{(1 - \omega(T)) (1 - \xi_g(T))}{\rho_v(T)} + \frac{W_g(T)}{\rho_g(T)} \quad \text{при } T < T_{kp}$$

Адитивні співвідношення для визначення коефіцієнту теплопровідності мають вигляд:

$$\frac{\lambda(T)}{\rho(T)} = \frac{\lambda_c(T) W_c}{\rho_c(T)} + \frac{\lambda_{v-g}(T) W_v}{\rho_{v-g}(T)}, \quad \text{при } T > T_{kp}$$

$$\frac{\lambda(T)}{\rho(T)} = \frac{\lambda_c(T) W_c}{\rho_c(T)} + \frac{\lambda_{v-g-l}(T) W_v}{\rho_{v-g-l}(T)}, \quad \text{при } T < T_{kp}$$

де

$$\frac{1}{\lambda_{v-g}(T) \rho_{v-g}(T)} = \frac{1 - W_g}{\lambda_v(T) \rho_v(T)} + \frac{W_g}{\lambda_g(T) \rho_g(T)}, \quad \text{при } T > T_{kp}$$

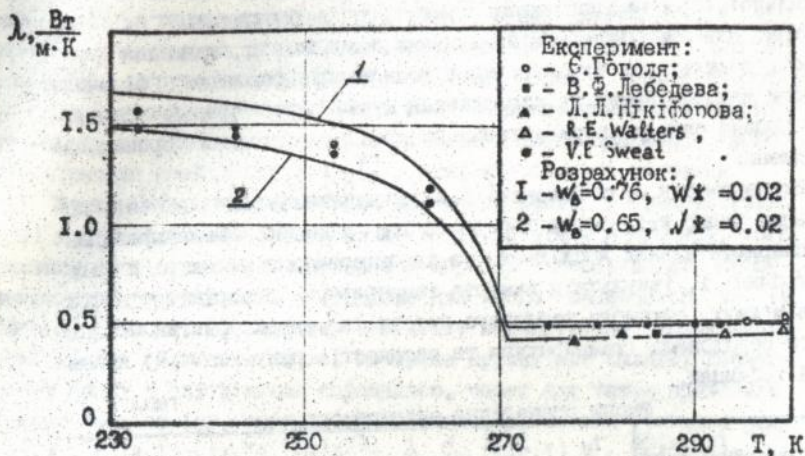
$$\frac{1}{\lambda_{v-g-l}(T) \rho_{v-g-l}(T)} = \frac{\omega(T) (1 - \xi_g(T))}{\lambda_l(T) \rho_l(T)} + \frac{(1 - \omega(T)) (1 - \xi_g(T))}{\lambda_v(T) \rho_v(T)} + \frac{W_g(T)}{\lambda_g(T) \rho_g(T)} \quad \text{при } T < T_{kp}$$

Ізобарна ефективна, з урахуванням тепла фазового переходу вода-лід, питома теплоємність визначалась співвідношенням

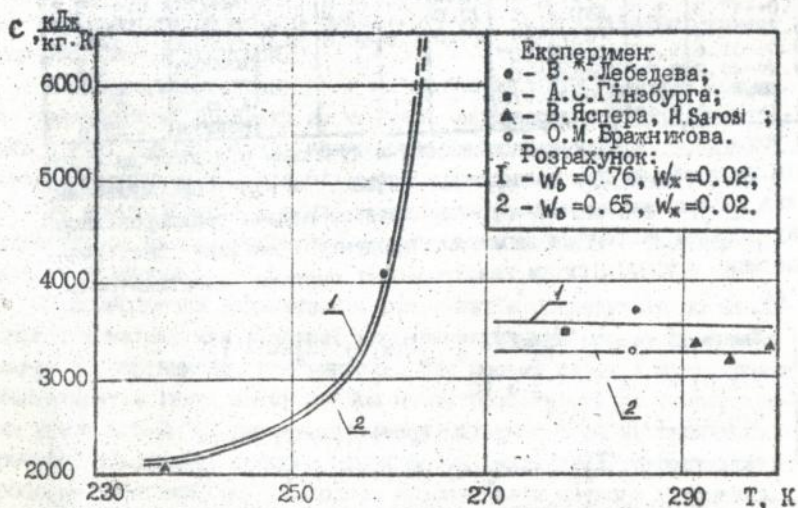
$$C(T) = C_c(T) W_c + W_v (1 - \omega(T)) C_v(T) + W_v \omega(T) C_l(T) - W_v L(T) \frac{d\omega}{dT}.$$

У методиці використано залежність В.П.Латишева для визначення динаміки кристалізації води в м'ясних продуктах та прийнято допущення на базі чисельних згоджень розрахункових величин ТФВ з даними експериментальних досліджень, що в м'ясі (шкірі) курей максимальна доля нерозчиненого газу складає величини порядку $2 \cdot 10^{-6}$ при $T > T_{kp}$ і збільшується до $4 \cdot 10^{-6}$ при $T < T_{kp}$.

Порівняння розрахункових та експериментальних даних ТФВ зображено на малюнках 1,2 і засвідчує про можливість використання такої методики для їх прогнозування з достатньою для практичних розра-



Мал.1. Залежність теплопровідності м'яса курей від температури.



Мал.2. Залежність теплоємності м'яса курей від температури

хунків точністю.

Третя глава присвячена експериментальному дослідженню процесу холодильної обробки упакованих тушок курей і бройлерів, які були проведені для одержання надійних даних з метою підтвердження адекватності результатів математичного моделювання реальним фізичним процесам заморожування та охолодження курей в повітряному середовищі. Подано опис експериментального стенду, методики проведення досліджень.

Експерименти були виконані в лабораторних умовах на базі холодильних камер Frigero HC 700/50 та ПКА КТК-300. Умови проведення експериментальних досліджень та характеристики об'єкту наведені в таблиці 1. Результати вимірів температури поверхні, температури в м'язах, питомого теплового потоку та характеристик охолоджуючого середовища (температури та швидкості руху повітря) приведені в таблицях.

Умови проведення експериментів

табл. 1

| N | Характеристика охол. середов. | | Характеристика об'єкту | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| | $t_c, ^\circ\text{C}$ | $v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$ | Вид птиці | m, кг | $W_n^m, \%$ | $W_x^m, \%$ | $W_n^{\text{ш}}, \%$ | $W_x^{\text{ш}}, \%$ | упаков. | $t_n, ^\circ\text{C}$ |
| 1 | -16.5+18.2 | 4.2 | кур. | 1.1 | 75.1 | 2.0 | 51.0 | 23.8 | вакуум | 8.8+29.1 |
| 2 | -16.5+18.3 | 4.2 | кур. | 1.1 | 75.0 | 2.3 | 51.6 | 23.2 | вакуум | 8.6+29.2 |
| 3 | -16.0+17.3 | 3.0 | кур. | 1.1 | 72.0 | 3.1 | 40.0 | 40.0 | кульок | 12.8+32.2 |
| 4 | -16.2+17.3 | 4.0 | кур. | 1.1 | 71.0 | 2.8 | 50.0 | 30.0 | кульок | 8.2+33.8 |
| 5 | -38.0+32.6 | 1.83 | бройл | 1.07 | - | - | - | - | ваккум | 1.2 |
| 6 | -39.9+41.2 | 2.72 | бройл | 1.0 | - | - | - | - | ваккум | 26.8 |
| 7 | -48.0 | 2.55 | бройл | 0.75 | - | - | - | - | кульок | 23.1 |
| 8 | -34.2+32.2 | 3.12 | бройл | 0.85 | - | - | - | - | ваккум | 25.4 |

В четвертій главі у відповідності з сучасним підходом до опису і з'ясування теплообміну при холодильній обробці м'яса сформульована нелінійна нестационарна несиметрична крайова задача теплопровідності з внутрішніми джерелами тепла для продукту у вигляді нескінченної пластини з коефіцієнтом гомохронності системи пластини-реальний об'єкт

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\text{сф}}(x, \tau) \rho(x, \tau) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, \tau) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right]; \\ T(x, 0) = f(x); \quad x \in [0, R]; \quad \tau > 0; \\ \lambda(0, T(0, \tau)) \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} + \alpha_0(\tau) [T_n(\tau) - T(0, \tau)] = 0; \\ -\lambda(R, T(R, \tau)) \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial x} + \alpha_n(\tau) [T_c(\tau) - T(R, \tau)] = 0. \end{array} \right.$$

Рівняння якої проведено в рамках явно-неявної кінцево-різницевої схеми з локальними усередненнями ТФВ продукту в оточенні кожного (i, j)-го вузла інтегрування за дев'ятиточечним шаблоном у ві-

слх τ -х. Чисельні горівняння результатів розрахунків температурних полів та теплових потоків по залежностям, одержаним під час рішення цієї задачі, з експериментальними даними різних авторів дозволили обґрунтовано вибрати коефіцієнт форми Φ (гомохронності) для тушок курей, який дорівнює 0.55. В підтвердження цієї величини шляхом використання залежностей першої глави одержано таке геометричний коефіцієнт $\Phi = \frac{V}{S R}$, який має близьке значення.

Враховуючи деякі обмеження та незручності в використанні цієї постановки задачі, пов'язані із змінністю Φ в процесі, його залежністю від режимів холодильної обробки, необхідністю проведення експериментальних досліджень для його визначення та ін. сформульовано інтерполяційну нелінійну несиметричну задачу теплопровідності. Зважаючи на те, що тушка курці має складну геометричну форму з внутрішньою порожниною, через яку також проходить процес теплообміну, використано дві граничні умови третього роду

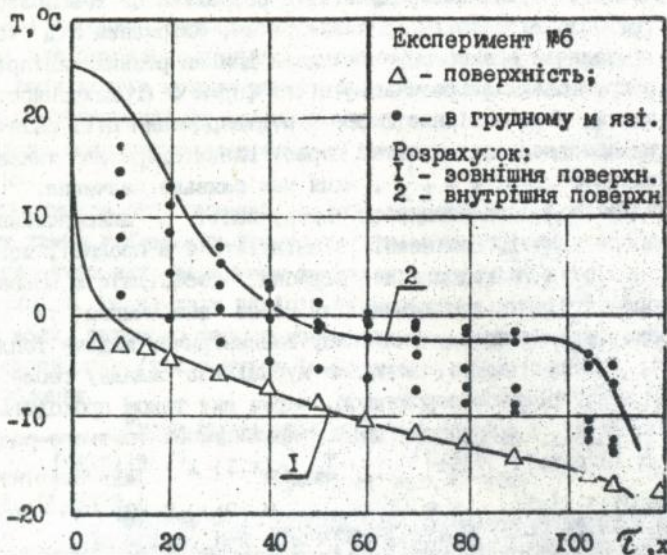
$$\begin{cases} C_{\text{эф}}(x, T) \rho(x, T) \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{\chi \Gamma} \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, T) \chi^{\Gamma} \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right]; \\ T(x, 0) = f(x); \quad x \in [R_1, R_2]; \quad \tau > 0; \quad R > 0; \\ -\lambda(R_2, T) \frac{\partial T(R_2, \tau)}{\partial x} + \alpha_1(\tau) [T_c(\tau) - T(R_2, \tau)] = 0; \\ \lambda(R_1, T) \frac{\partial T(R_1, \tau)}{\partial x} + \alpha_2(\tau) [T_c(\tau) - T(R_1, \tau)] = 0. \end{cases}$$

Тут інтерполяційний коефіцієнт $\Gamma = \frac{1}{\Phi} - 1 = 0.81$. Рішення задачі проведено тим же методом.

В результаті запропонованого алгоритму рішення можна одержати температури продукту по товщині, як дискретний набір їх значень в усіх вузлах сітки, значення питомих теплових потоків з поверхнь, середньоентальпійної температури, межі просування фронту початку кристалізації в різні моменти часу. Тривалість процесу визначається часом досягнення середньоентальпійної температури заданої величини.

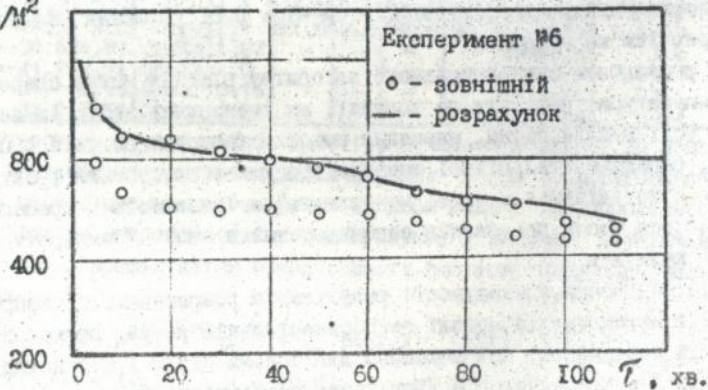
Підтвердження адекватності результатів розрахунків по запропонованій математичній моделі експериментальним даним проведено шляхом їх порівняння, які виконано для восьми серій і шістнадцяти експериментів інших авторів. При цьому розбіжність по температурним полям 1.5 ± 2 °С, питомим тепловим потокам 10-15 %, тривалості процесу холодильної обробки курей 5-6 % (мал. 3,4). В результаті зроблені висновки, які дозволили сформулювати наукове положення.

П'ята глава присвячена практичним питанням. На основі розробленої математичної моделі з метою підготовки інформаційної бази для конструювання швидкозаморозильного обладнання, розробки нових технологічних процесів та ліній проведено обчислювальні



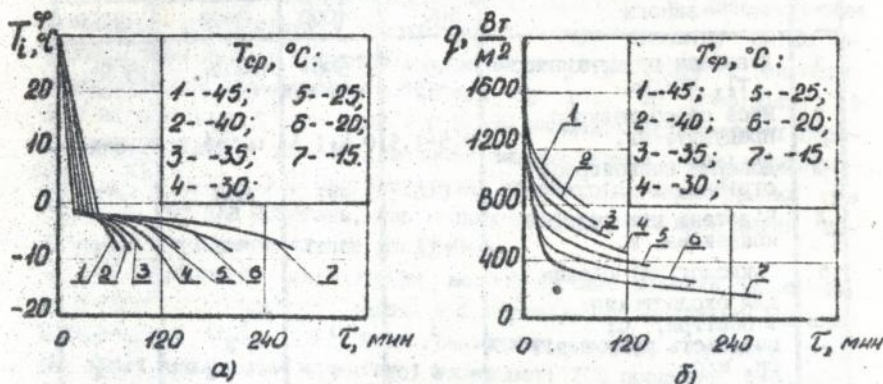
Мал. 3. Зміна температури грудного м язю курки при заморожуванні

$q, \text{Вт/м}^2$



Мал. 4. Зміна поверхнього теплого потоку з поверхні тушки курки під час заморожування

експеримент для визначення впливу технологічних режимів холод ль- тої обробки, маси тварини, способу її упаковки, розміру повітряного прошарку між продуктом та упаковкою на теплове навантаження та тривалість процесу. Результати моделювання представлені у вигляді графіків, наприклад малюнок 5.



Мал.5. Залежність середньоентальпійної T (а) і питомого теплового потоку з поверхні тушки (б) від T_{cp} під час заморожування упакованої тушки курки в повітряному середовищі ($V_{cp} = 4$ м/с; $m = 1$ кг).

Одержані результати та розроблена методика розрахунку основних технічних та технологічних параметрів швидкоморозильного обладнання для реалізації потокової холодильної обробки м'яса курей (бройлєрів) дозволили виконати попередні проробки та вихідні вимоги на спіральні швидкоморозильні апарати різної продуктивності (табл. 2).

У додатках наведені розрахунки величини ТФВ м'яса і шкіри курей, основні модулі програм розрахунку процесів холодильної обробки упакованих і неупакованих тушок курей, таблиці розрахунків деяких режимів, свідчення про впровадження результатів роботи.

ВИСНОВКИ

1. Холодильна обробка упакованих тушок курей в повітряному середовищі з допомогою потокових швидкоморозильних апаратів відповідає сучасним технологічним вимогам на цей процес.

2. Використання одержаних залежностей для геометричних характеристик тушок курей дозволяє розраховувати їх коефіцієнти форми (гомохронності) та інтерполяційний параметр.

Таблиця 2.

Вихідні вимоги на універсальні
швидкоморозильні апарати для холодильної
обробки улакованих тушок курей

| N п/п | Назва характерної вимоги | Номінальна продуктивність, тушок за годину | | | |
|----------|--|---|------------------|------------------|------------------|
| | | 500 | 1000 | 2000 | 3000 |
| 1 | Діапазон продуктивності, кг/год. | 250+ +750 | 500+ +1500 | 1000+ +3000 | 1500+ +4500 |
| 2 | Маса оброблюваного продукту, кг. | 0.5+1.5 | 0.5+1.5 | 0.5+1.5 | 0.5+1.5 |
| 3 | Довжина конвейерної стрічки, м | 245 | 491 | 983 | 1475 |
| 4 | Відстань між витками конвейера, м. | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| 5 | Технологічні режими для охолодження: t повітря, С; швидкість руху повітря, м/с; | -3 4 | -3 4 | -3 4 | -3 4 |
| | для заморожування: t повітря, С; швидкість руху повітря, м/с; | -30 4 | -30 4 | -30 4 | -30 4 |
| 6 | Діапазон зміни тривалості холодильної обробки: охолодження, хв.; заморожування, хв. | 70+170 70+250 | 70+170 70+250 | 70+170 70+250 | 70+170 70+250 |
| 7 | Діапазон регулювання швидкості руху конвейера, м/хв | 0.95+ +0.266 | 2.075+ +7.14 | 4.16+ +14.04 | 6.25+ +21.07 |
| 8 | Площа теплообмінної поверхні повітроохолодника, F, м ² : для глиняного оребрення (k=11,6 Вт/(м ² К)); для біметалевого оребрення (k=20 Вт/(м ² К)); | 1181 685 | 2347 1360 | 4672 2710 | 7008 4065 |
| 9 | Необхідна продуктивність вентиляторів, м ³ /с, (приблизно) | 31.9 | 88.6 | 176.6 | 264.9 |
| 10 | Максимальна необхідна холодовидатність, Q, кВт: to = -40°С; | 97.9 | 272 | 542 | 813 |

3. Опрацьована математична модель ТФВ м'яса і шкіри курця може використовуватись для прогнозування густини, теплопровідності, теплоємності, частки вимороженої води в залежності від співвідношення складових компонент (вода, лід, газ, сухі компоненти) та температури.

4. Математична модель холодильної обробки тушок курей на основі рішення нелінійної нестационарної задачі теплопровідності для продукту у вигляді нескінченної пластини з використанням усередненого коефіцієнту гомохроннос і описує динаміку зміни характеристик процесу теплообміну адекватно результатам їх експериментальних досліджень. Але в зв'язку з тим, що коефіцієнт Φ змінюється від 1 до $0.45 + C.5$, та залежить від режимних параметрів протікання процесу (динаміки виморожування води) використання цієї моделі для прогнозування параметрів характерних цим процесам має ряд обмежень, пов'язаних необхідністю проведення додаткових експериментальних досліджень.

5. Апробована математична модель на базі рішення одновірної нестационарної крайової задачі теплопровідності з інтерполяційним параметром $\Gamma = \frac{V}{S \cdot R} - 1$, двома граничними умовами третього роду при умові врахування нелінійної залежності ТФВ продукту, наявності фазових переходів вода-лід дозволяє з достатньою для практичних розрахунків точністю прогнозувати динаміку процесів холодильної обробки тушок різних видів птиці об'єктів складної геометричної форми з порожниною (для курей $\Gamma = 0.81$).

6. Розроблені методи прогнозування характеристик процесів теплообміну під час холодильної обробки штучних упакованих тушок курей та визначення основних технічних та технологічних характеристик потокових швидкоморозильних апаратів і вихідних вимог для їх конструювання можуть використовуватись під час розробки нормативно-технічної документації та елементів систем технологічного контролю і управління процесами.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах:

1. Чумак И.Г., Онищенко В.П., Головський С.Е., Желиба Ю.А. Теплообмен при холодильной обработке разделанного говяжьего мяса и птицы, упакованных в пленку. - В кн.: Всесоюзная научно-практическая конференция "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК, торговле и на транспорте". (г. Одесса, 1989 г.): Тез. докл. - Одесса: ОТИП. - 1989. - с.18.
2. Онищенко В.П., Головський С.Е., Желиба Ю.А. Математическое моделирование процессов холодильной обработки упакованного разделанного мяса и тушек птицы. - В кн.: Респ. науч.-практ. конф. "Интенсификация технологии и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК". (г. Киев, 1989 г.): Тез. докл. - Киев: КТИП. - 1989. - с.21 - 22.
3. Головський С.Е., Желиба Ю.А., Онищенко В.П. Технологические ас-

- пекты проектирования поточного скороморозильного оборудования. - В кн.: Респ. научно-техн. конф. "Разработка и внедрение высокоэффект. ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК". (г. Киев, 1991): Тез. докл. - Киев: КТИШ. - 1991. - с. 485-486.
4. Желиба Ю.А., Головский С.Г. Моделирование теплофизических свойств мяса и кожи различных видов птицы. - В кн.: Респ. научно-техн. конф. "Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающие отрасли АПК". (г. Киев, 1991): Тез. докл. - Киев: КТИШ. - 1991. - с. 501-502.
5. Соколов В.А., Желиба Ю.А., Чечет В.И., Аль Загхал Халед Аккумуляторы холода в системах хладоснабжения предприятия птицеперерабатывающей промышленности. - В кн.: Всесоюз. научно-практ. конф. "Холод - народному хозяйству". (г. Санкт Петербург, 1991): Тез. докл. - Санкт Петербург: СПИХП. - 1991. - с. 120-121.
6. Головский С.Е., Желиба Ю.А., Чумак И.Г. Технология поточной холодильной обработки разделанного упакованного мяса. - В кн.: Всесоюз. научно-практ. конф. "Холод - народному хозяйству". (г. Санкт Петербург, 1991): Тез. докл. - Санкт Петербург: СПИХП. - 1991. - с. 117.
7. Желиба Ю.А., Соколов В.А., Онищенко В.П. Холодильная обработка упакованных тушек птицы в воздушных поточных скороморозильных аппаратах. - В кн.: Всесоюз. научно-практ. конф. "Холод - народному хозяйству" (г. Санкт Петербург, 1991): Тез. докл. - Санкт Петербург: СПИХП. - 1991. - с. 117-118.
8. Онищенко В.П., Головский С.Е., Желиба Ю.А. Теплообмен при холодильной обработке разделанного и упакованного мяса. Обзорная инф. - М.: АгрониИТЭИМП. 1992. - 28 с.
9. Чумак И.Г., Головский С.Е., Желиба Ю.А. Состояние вопроса о проектировании поточных скороморозильных аппаратов для упакованных пищевых продуктов. - В кн.: Межресп. научно-практ. конф. "Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции". (г. Краснодар, 1992): Тез. докл. - Краснодар: КрПИ. - 1992. - с. 26.
10. Желиба Ю.А., Онищенко В.П., Головский С.Е., Прогнозирование теплофизических свойств мяса кур. - В кн.: Межресп. научно-практ. конф. "Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции". (г. Краснодар, 1992): Тез. докл. - Краснодар: КрПИ. - 1992. - с. 39-40.
11. Чумак И.Г., Онищенко В.П., Желиба Ю.А., Головский С.Е. Создание систем технологического контроля процессов холодильной обработки и хранения мяса. - М.: АгрониИТЭИМП. - 1992. - 24 с.

Умовні позначення

ρ - густина, t, T - температура, λ - коефіцієнт теплопровідності, C - теплоємність, m - маса, W - відносна частка речовини в продукті, L - прихована теплота фазового переходу, $\Delta \xi$ - кількість нероз'яненого газу, ω - частка вимороженої води, v - швидкість руху повітря, x - координата, τ - час, R - характерний розмір, Φ - коефіцієнт форми, Γ - інтерполяційний параметр, α - коефіцієнт тепловіддачі;

Індекс: с - сука складова, в - вода, г - газ, л - лід, кр - кристалічна речовина, ср - середовище, м - м'ясо, ш - шкіра, ж - жир, п - початкова, еф - ефективна, 1, 2 - внутрішня і зовнішня поверхня.

В.М. Савченко

Подп. к печати 22.09.93г. Формат 60x84 1/16.
Объем 0,7уч.изд.л. 1, Оп.л. Заказ № 1686. Тираж 100экз.
Гортипография Одесского управления по печати, цех №3.
Ленина 49.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
5800 S. UNIVERSITY AVENUE
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: 773-936-3700
FAX: 773-936-3701
WWW: WWW.CHEM.UCHICAGO.EDU

PROFESSOR OF CHEMISTRY
DIRECTOR OF THE DIVISION OF CHEMISTRY
AND PHYSICS
5800 S. UNIVERSITY AVENUE
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: 773-936-3700
FAX: 773-936-3701
WWW: WWW.CHEM.UCHICAGO.EDU

RESEARCH INTERESTS
IN THE AREA OF
POLYMER CHEMISTRY
AND PHYSICS
5800 S. UNIVERSITY AVENUE
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: 773-936-3700
FAX: 773-936-3701
WWW: WWW.CHEM.UCHICAGO.EDU

AB 28.232