

На правах рукопису

ГОЛОВСЬКИЙ СЕРГІЙ ЄВГЕНІОВИЧ

ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ ТА АПАРАТИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ОБРОБКИ
РОЗІБРАНОВОГО УПАКОВАНОГО М'ЯСА .

Спеціальність: 05.04.03 - Машини і апарати холодної та криогеної техніки і систем кондиціонування.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук.

Одеса - 1993

Роботу виконано в Одеському інституті низькотемпературної техніки та енергетики.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00815160 (L)

- | | | |
|----------------------|---|--|
| Науковий керівник | - | кандидат технічних наук,
доцент В.П. ОНІЩЕНКО |
| Офіційні опоненти | - | доктор технічних наук,
професор М.А. ГРІШИН. |
| | - | кандидат технічних наук,
доцент В.Н. ПАХОМОС. |
| Провідна організація | - | ДНВО "Консервпромкомплекс" |

Захист дисертації відбудеться "21" червня 1993 р.
о 11:00 год. на засіданні спеціалізованої Ради К.068.27.01
Одеського інституту низькотемпературної техніки та енергетики
за адресою:

270100, м. Одеса, вул. Петра Великого, 1/3, ОІНТЕ.

Автореферат розіслав "21" червня 1993 р.

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

Р.К. Нікульшин

Вих. № 03-224

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

м. Одеса, ротапринт ОІНТЕ. Підписано до друку 17.05.93
Об'єм 1,0 д.л. Тираж 100. Замовлення 755-93

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність проблеми. Сучасний стан холодильної обробки м'яса та м'ясопродуктів характеризується прагненням до інтенсифікації технологічних процесів та їх удосконалення з метою підвищення якості і біологічної цінності продукту. Для збільшення виробництва м'яса в зручній для споживача упаковці та розфасовці необхідно створення технологій та обладнання з використанням сучасних пакувальних матеріалів, які зменшують втрати сировини та готової продукції, забезпечують зберігання її якості та дозволяють використовувати сучасні форми обслуговування в торгівлі.

Серед обладнання, яке реалізує вимоги холодильної технології найбільш універсальними є апарати для потокової холодильної обробки упаковок в охолоджувачому повітрі.

Проектування поточкових конвейеризованих апаратів для холодильної обробки упакованих харчових продуктів потребує знання тривалості процесу, зміни теплових потоків з поверхні охолоджуваного об'єкту, законів формування у часі температурних профілей продукту, його середньосентальпійної температури. Не менш важлива така інформаційна база при виборі режимів експлуатації швидкозаморозувачих апаратів, особливо, якщо вони мають універсальне призначення.

Метод роботи є розробка обґрунтованих методики розрахунку процесів холодильної обробки фасованих харчових продуктів та визначення технологічних і технічних характеристик конвейеризованих швидкозаморозувачих апаратів. Для досягнення поставленої мети належить розв'язати наступні основні завдання:

- розробка математичної моделі процесів охолодження та заморожування фасованих харчових продуктів довільної геометричної форми у вимірі реального часу об'єкту з врахуванням залежності теплофізичних властивостей (ТФВ) продукту від температури, фазових переходів води та жиру, наявності упаковки та повітряного прошарку під нею;
- експериментальне дослідження процесів холодильної обробки розібраного та упакованого м'яса з метою визначення температурних полів, теплових потоків, оцінки товщини промороженого шару та їх зміни у часі;
- реалізація математичної моделі на ЕОМ та порівняння розрахункових даних з результатами власних експерименталь-

них досліджень та даними інших авторів.

- розрахунок режимів холодильної обробки фасованих м'яса та м'ясопродуктів, які виробляються у відповідності з діючими стандартами та технічними умовами, та розробка основних технічних характеристик швидкозаморожувачого апарату для потокової холодильної обробки.

Наукова новизна роботи визначається тим, що у ній вперше розроблена розрахункова методика визначення всього комплексу необхідних для проектування характеристик процесу холодильної обробки об'єктів довільної геометричної форми у вимірі реального часу з врахуванням нелінійності ТФВ продукту, наявності упаковки та повітряного прошарку під нею. Вперше одержані дані про явище локалізації теплоти в процесах заморожування м'яса.

Наукові положення, які захищаються у роботі:

1. Рішення нелінійної нестационарної одномірної крайової задачі теплопровідності у вимірі реального часу об'єкту з використанням інтерполяційного параметру Γ (гамма), який враховує форму продукту та визначається через його геометричні характеристики, дозволяє з прийнятною для практичних розрахунків точністю визначити параметри процесу холодильної обробки за весь час його протікання.

2. В процесі заморожування м'яса, при протіканні фазового переходу води, спостерігається явище локалізації теплоти, яке еквівалентно деякому термічному опору та істотно впливає на процес відведення теплоти від продукту.

Під час рішення поставлених завдань одержані наступні основні наукові результати роботи:

1. Розроблено методику розрахунку процесів холодильної обробки на базі рішення нелінійної одномірної задачі теплопровідності з інтерполяційним параметром $\Gamma = \frac{S \cdot B}{V} - 1$, яка забезпечує адекватний опис температурних полів та теплових потоків при охолодженні та заморожуванні фасованих харчових продуктів різної геометричної форми, для яких існують достатньо надійні дані відносно їх теплофізичних властивостей.

2. Визначено, що вплив упаковки та повітряного прошарку під нею в рівному ступені може бути врахований в моделі залежності ТФВ об'єкту від координати, або введенням ефективного коефіцієнту тепловіддачі (теплопередачі), який включає всі термічні опори на шляху відводу теплоти від продукту до охолоджувачого повітря.

3. Експериментальними дослідженнями підтверджено право-

мочність використання інтерполяційних залежностей для визначення коефіцієнтів тепловіддачі при обтіканні одиночних тіл різної геометричної форми (формули В.Каста, О.Крімера, В.Гнілінського).

4. Розроблено вихідні вимоги на проектування швидкозаморожувачих апаратів спірального типу для холодильної обробки м'ясопродуктів, передбачених діючими стандартами та технічними умовами.

Практична цінність роботи визначається тим, що запропонований метод розрахунку дозволяє прогнозувати протікання процесів охолодження та заморожування харчових продуктів різної форми при різних сполученнях параметрів складуючого середовища, що дає можливість детальної проробки технічних характеристик як швидкозаморожувачого обладнання для потокової холодильної обробки фасованого м'яса та м'ясних півфабрикатів, так і камер циклічного завантаження. Приведені таблиці характеристик процесів холодильної обробки різних м'ясопродуктів можуть використовуватись при проектуванні нового і виборі режимів експлуатації наявного швидкозаморожувачого обладнання.

Одержані результати, розроблені алгоритм та програма передано концерну " Укрмясо " (м.Київ), СКТБ " Конваль-Плай " (м.Львів) та УНВІП " Холод " (м.Одеса) для розробки конструкторської документації на виготовлення універсального швидкозаморожувачого апарату спірального типу і розробки технологічної інструкції на холодильну обробку м'ясних півфабрикатів.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Всесоюзній науково-практичній конференції " Шляхи розвитку науки і техніки в м'ясній та молочної промисловості " (м.Углич, 1988 р.), Республіканській науково-технічній конференції " Інтенсифікація технології та удосконалення обладнання переробних галузей АПК " (м.Київ, 1989 р.), Всесоюзній науково-практичній конференції " Шляхи інтенсифікації виробництва з використанням штучного холоду в галузях АПК, торгівлі та на транспорті " (м.Одеса, 1989 р.), Республіканській науково-практичній конференції " Розробка та впровадження високо-ефективних ресурсозберігачих технологій, обладнання та нових видів харчових продуктів в харчову та переробну галузі АПК " (м.Київ, 1991 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції " Холод - народному господарству " (м.Санкт-Петербург 1991 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано у восьми статтях та тезах доповідей.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновків загальним об'ємом 126 сторінок, вкличаючи 15 малюнків, 18 таблиць та додатків на 62 сторінках. Список літератури включає 197 найменувань, з яких 87 іноземних.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані головна мета та завдання дослідження, подані наукові положення, які захищаються в роботі, наукова новизна та практична цінність.

В першій главі дисертації проаналізовано сучасні тенденції в розвитку техніки та технології холодильної обробки роздрібних харчових продуктів. Проведено огляд існуючих типів швидкозаморожуючого обладнання, показані їх основні переваги та недоліки. Виділено найбільш перспективні розробки в цій галузі та відзначено, що проектування та експлуатація швидкозаморожуючих апаратів потребує більш детальних знань про протікання процесів холодильної обробки харчових продуктів.

Розробці теорії теплообміну і моделювання процесів охолодження та заморожування присвячено праці багатьох вчених: Р.Планка, А.В.Ликова, І.Г.Алямовського, А.М.Бражнікова, Д.Г.Рітова, І.Г.Чумака, Н.А.Головкина, А.Г.Фікіна, А.Гака, Д.Дя.Кліланда, К.Т.Фама та інших. Більшість досліджень спрямовано на передбачення часу холодильної обробки та полягає в побудові модифікацій рівняння Р.Планка з використанням постійних значень ТФВ продукту та коефіцієнтів форми, які залежать як від геометрії об'єкту, так іноді, і від його властивостей. Деяка частина робіт відбиває спроби вирішення проблеми в рамках чисельного моделювання процесу на базі рішення рівняння теплопровідності з граничними умовами II-го та III-го роду. Однак, прийняті допущення та спрощення в вирішенні поставленого завдання приводять до значних помилок.

Удосконалення методу розрахунку потребує не тільки максимально коректної постановки завдання, але і наявності достатньо надійних даних про теплофізичні характеристики об'єктів холодильної обробки, та опису зовнішнього теплообміну з охолоджувачим середовищем.

У зв'язку з цим проведено огляд досліджень стосовно визначення ТФВ м'яса та м'ясопродуктів. Показано, що найбільш повними та достовірними є рекомендації по розрахунку ТФВ у залежності від температури, які запропоновано В.П.Латишевим та затверджено

Держстандартом у 1989 році.

Виконаний аналіз залежностей для визначення коефіцієнту тепловіддачі при зовнішньому обтіканні одиночних тіл довільної форми показав, що найбільш прийнятними, з точки зору збігу з експериментальними даними, є інтерполяційні формули, які подано в роботах В.Каста, О.Крімера, В.Гніліньського.

На основі аналізу опублікованих матеріалів зроблено висновки та сформульовано основні завдання досліджень.

Друга глава присвячена експериментальному дослідженню процесів холодної обробки розібраного упакованого м'яса. Мета його проведення - дослідне визначення характеристик об'єкту (м'яса) та охолоджуючого середовища під час процесу заморожування, одержання даних, необхідних для побудови математичної моделі та перевірки її на адекватність реальним фізичним процесам.

Експеримент по заморожуванню фасованого м'яса проведено в лабораторних умовах на базі термокамер ІЛКА КТК-3000 (НДР) та Frigero HC 700/50 (ЧРСР), які дозволили змодельвати різні умови навколишнього середовища: температуру повітря $-18...-45^{\circ}\text{C}$ та швидкість його руху $2,0...4,5$ м/с. Підтримання заданої температури в корисному об'ємі проводилось автоматично.

Визначення температурного поля об'єкту заморожування здійснювалось за допомогою термопарного комплексу, який складається з 10 мідь-константанових термопар, перемикача точок вимірювання ПТВ-М та комбінованого цифрового приладу Ц-300.

Тепловий потік з поверхні продукту вимірювався з допомогою датчиків теплового потоку, які розроблені В.Г.Фьодоровим, та мають прямопропорційну залежність між ЕРС та вимірюваною величиною питомого теплового потоку.

Вимір температури поверхні продукту та повітря в камері проводився платиновими термометрами опору ІС-568А. Для визначення опору термоперетворювача використовувалась чотирьохпровідна компенсаційна схема з компаратором Р-3003 як вторинного приладу.

Швидкість повітря біля поверхні продукту вимірювалась за допомогою диференційного мікроманометру МКВ-250-0,02 з комплектом трубок Піто-Прандтля. Статична складова тиску визначалась біля стінки натискного каналу, динамічна - у двох точках біля поверхні об'єкту заморожування.

Знімання показань приладів проводилось послідовно для всіх датчиків протягом 1,5 - 2 хвилин через кожні 10 - 20 хвилин.

За описаною методикою була проведена серія експериментів (9

дослідів), в кожному з яких змінювались маса об'єкту, його розміри та форма, умови теплообміну (температура і швидкість повітря, напрямок обдуву), характер упаковки. Результати проведених дослідів подано в таблицях.

Посереднім шляхом визначався час заморожування як час досягнення центром продукту температури мінус 8°C , що відповідає вимогам технологічних інструкцій по виробництву великокускових півфабрикатів, коефіцієнт тепловіддачі та положення фронту кристалізації вологи в продукті.

Графічну обробку одержаних результатів проведено у всіх $t - \tau$, $\varphi - \tau$, $t - \infty$, $\xi - \tau$. При аналізі поданих кривих відзначено, що на стадії протікання фазового переходу в продукті, спостерігається незвичайний характер залежності просування фронту кристалізації вологи в часі, а також розподілу температур в продукті. Перший має явно виражений хвилеподібний характер, на других - спостерігається вигнутість температурних профілів у зоні протікання фазового переходу. Відзначено, що подібний характер кривих зв'язаний з явищем локалізації (інерції) теплоти, відкритим А.А.Самарським та ін. при дослідженні середовищ з нелінійною теплопровідністю. Аналіз графіків $t - \infty$ та $\xi - \tau$ для різних умов експерименту показав, що це явище проявляється тим істотніше, чим нижче інтенсивність заморожування продукту.

В третій главі роботи у відповідності з сучасними уявленнями про процес замерзання води у вологовміщучих твердих тілах, формується математична модель процесу заморожування харчових продуктів на базі нелінійного одномірного рівняння теплопровідності з внутрішніми джерелами тепла. Одномірність задачі обумовлена тим, що в нашому розпорядженні, як правило, є тільки середньоінтегральні значення коефіцієнтів тепловіддачі. Постановка багатомірної крайової задачі без знання значень локальних коефіцієнтів тепловіддачі уявляється некоректною.

Для врахування форми об'єкту та рішення задачі у єдиному реальному часу, в рівняння введено інтерполяційний параметр Γ (гамма), який зв'язаний з відомим коефіцієнтом форми Φ співвідношенням

$$\Gamma = \frac{1}{\Phi} - 1 = \frac{S \cdot R}{V} - 1. \quad (1)$$

В цьому випадку рішення завдання не потребує перевodu величин часу, характерних для тіла правильної форми, в реальний час досліджуваного об'єкту за допомогою різних коефіцієнтів гомохрон-

ності (форми), що вносять додаткову погрішність в отримуваний результат. Ідеї такої постанови задачі виходять з робіт І.Ленгмюра, М.Д.Михайлова.

З врахуванням викладеного, краєву задачу теплопровідності записано у вигляді

$$\left\{ \begin{aligned} c_{\text{ср}}(x, T) \rho(x, T) \frac{\partial T(x, z)}{\partial z} &= \frac{1}{x^r} \frac{\partial}{\partial x} [\lambda(x, T) x^r \frac{\partial T(x, z)}{\partial x}]; \quad (2) \end{aligned} \right.$$

$$T(x, 0) = f(x), \quad x \in [0, R], \quad z \geq 0; \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\lambda(R, T) \frac{\partial T(R, z)}{\partial x} + \mathcal{L}(z) [T_c(z) - T(R, z)] &= 0; \quad (4) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial T(0, z)}{\partial x} &= 0; \quad (5) \end{aligned} \right.$$

Постанова такої крайової задачі була б неможливою без аналогічного інтерполяційного (між тілами простої геометрії) обчислення коефіцієнту тепловіддачі при зовнішньому обтіканні тіл різної геометрії. Такі залежності одержані в роботах В.Каста, О.Крімера та В.Гніліньського:

$$Nu = Nu_{\min} + \sqrt{(Nu_{\text{лен}})^2 + (Nu_{\text{турб}})^2}, \quad (6)$$

де

$$Nu_{\text{лен}} = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

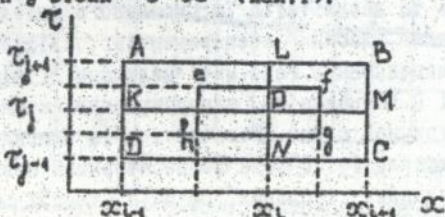
$$Nu_{\text{турб}} = \frac{0.037 Re^{0.8} Pr}{1 + 2.443 Re^{-0.1} (Pr^{1/3} - 1)}$$

Тут, як характерний розмір використано довжину обтікання

$$L' = \frac{S}{l}, \quad (7)$$

що дозволяє вивести приведені формули при описанні зовнішнього теплообміну для тіл довільної геометрії.

Рішення поставленої задачі проведено в рамках явно-неявної кінцево-різничної схеми з локальним усередненням теплофізичних властивостей об'єкту в оточенні кожного (L_j) -го вузла інтегрування. Для кінцево-різничної схеми вживається дев'ятиточковий шаблон у вісях τ - x (мал.1).



Мал.1 Елемент кінцево-різничної сітки (дев'ятиточковий шаблон)

Після інтегрування рівняння (2) та кінцево-різничної апроксимації похідних одержана система лінійних алгебраїчних рівнянь

$$a_{ij}T_{ij} + b_{ij}T_{i-1}^j + c_{ij}T_{i+1}^j = \alpha_i^{j-1}, \quad (8)$$

де коефіцієнти $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, \alpha_i^{j-1}$ обчислюються через значення ТОВ та температурних полів T_{ij} .

Для граничних умов вживається однобічна трьохточкова апроксимація, що обумовлено структурою інтерполяційного рівняння теплопровідності.

Рішення системи рівнянь (8) виконано методом прогону. Шукане температурне поле, як рішення системи (8) записано для прямого прогону у вигляді

$$T_{i-1}^j = Q_{ij}T_{ij} + P_{ij}. \quad (9)$$

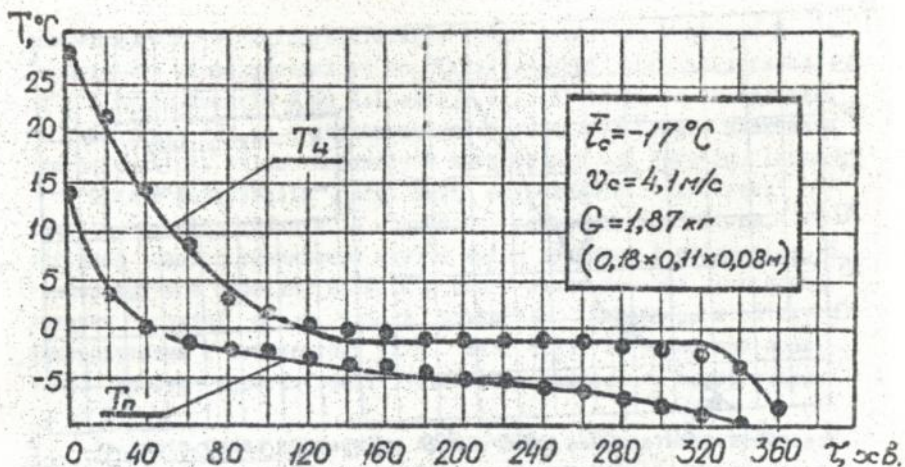
Прогонні коефіцієнти визначаються через значення коефіцієнтів рівняння (8) і теплофізичні характеристики об'єкту.

Обчислення температурного поля проведено ітераційним методом у режимі "прогнозування-уточнення". При цьому температурне поле прогнозується на два кроки за часом з подальшою покровою коректировою, доки не буде виконано умову

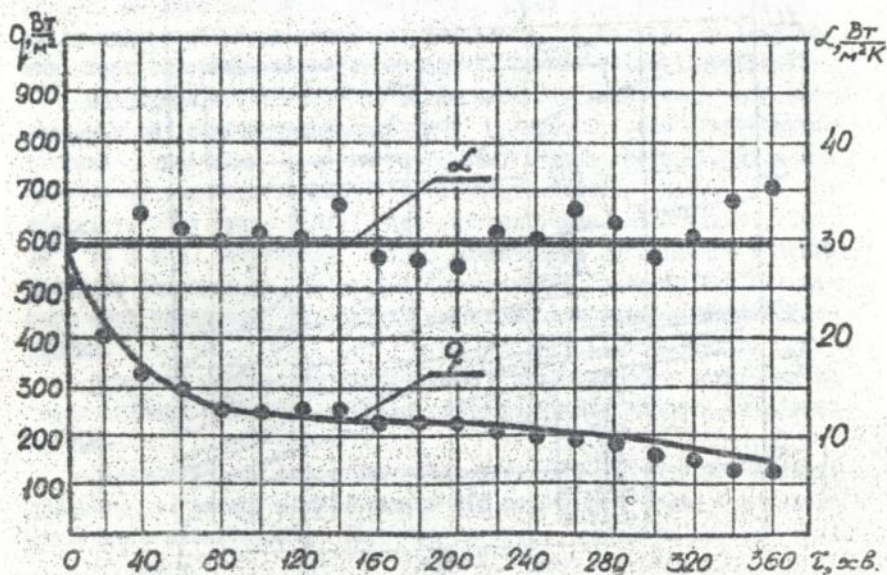
$$|T_{ij}^n - T_{ij}^{n-1}| < \epsilon. \quad (10)$$

Одержане в результаті реалізації запропонованого алгоритму температурне поле, як дискретний набір значень температур в окремих вузлах сітки (мінімум - 100 вузлів), дозволяє визначити додатково значення теплового потоку в різні моменти часу та значення питомої ентальпії, за якими чисельним інтегруванням визначається середня питома ентальпія та відповідна середньоентальпійна температура. Час досягнення потрібного значення середньоентальпійної температури (або температури в центрі продукту) є розрахунковим часом холодильної обробки.

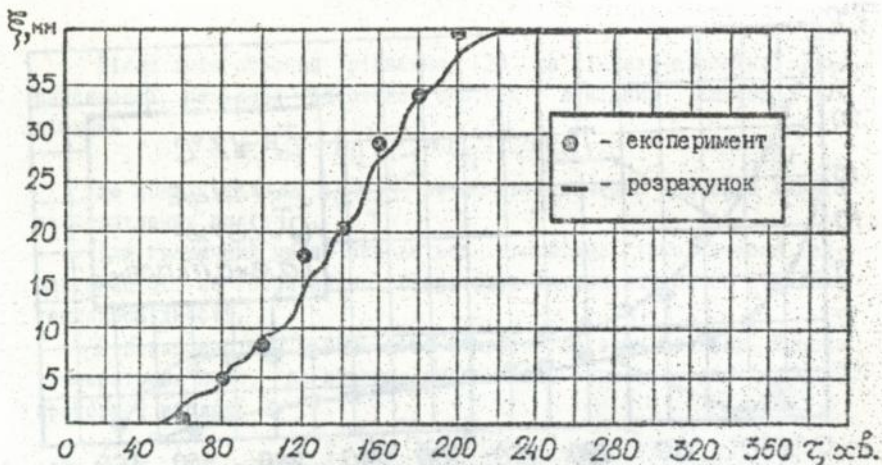
Для оцінки адекватності побудованої математичної моделі реальним фізичним процесам проведено зіставлення результатів експериментальних досліджень та результатів їх чисельного моделювання. Порівняння виконано для власних експериментів, досліджень Д.Дж.Кліланда та ін. по заморожуванню геля мет'яцеллюози (ylose) та робіт А.де Мічеліса і А.Кальвело по заморожуванню кусків яловичини правильної геометричної форми. Розходження із власними дослідними даними не перевищувало 1-1,5°C за температурними полями продукту, ±10% за значеннями теплових потоків та ±5% за тривалістю процесів холодильної обробки. Результати порівняння



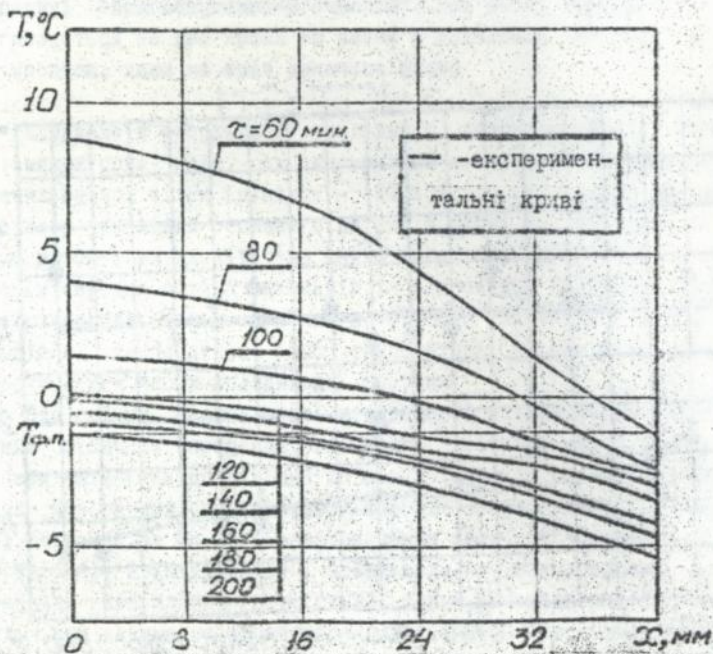
Мал.2 Зміна температури об'єкту заморожування /дослід № I/
 ● - експериментальні дані, — - модельний розрахунок.



Мал.3 Зміна питомого теплового потоку та коефіцієнт тепловіддачі /дослід № I/.



Мал.4 Динамика просування фронту кристалізації вологи в об'єкті заморожування /дослід № I/.



Мал.5 Розподіл температур в об'єкті заморожування /дослід № i/.

розрахункових та експериментальних даних подані на малюнках 2 - 4. Розходження розрахункових та дослідних значень часу заморожування для експериментів Д.Дж.Кліланда, А.де Мічеліса і А.Кальвело не перевищило 12%, що є досить добрим результатом, якщо врахувати невизначеність зміни параметрів процесу під час його протікання.

Аналіз результатів модельних розрахунків підтвердив наявність інерції теплоти в процесах заморожування м'яса, необхідних умови виникнення якої є зміна кривизни (ввігнутість) температурного профілю. Наявність цього явища показує, що постулювання опуклої форми кривих розподілу температури в об'єктах заморожування є некоректним (див. мал. 4,5). Затримки при просуванні фронту кристалізації збільшують тривалість заморожування до 15 %.

Четверта глава присвячена практичному використанню потокової холодильної технології для виробництва фасованого м'яса та м'ясопродуктів та передпроектній проробці конструкції конвейерізованого швидкозаморожувачого апарату спірального типу. Проведено аналіз діючих стандартів та технічних умов на виробництво м'ясних півфабрикатів та субпродуктів. Показано, що дані про режими холодильної обробки достатньо розпливчаті через відсутність прив'язки до конкретної технології та обладнання, а це веде до додаткових втрат сировини, енергії, зниження якості готової продукції.

Проведено обчислювальний експеримент по визначенні часу охолодження та заморожування м'ясної продукції, яка передбачена діючими технічними умовами та технологічними інструкціями. Для процесу охолодження прийняті температура повітря мінус 1°C та швидкість його руху 2 м/с, для заморожування, відповідно, мінус 30°C та 2 м/с. Закінчення процесу визначалось досягненням в центрі продукту температури, заданої технологічними інструкціями для даного виду продукту. Результати модельних розрахунків подано таблицями.

Отримані результати покладено в основу розробки технічних та технологічних характеристик швидкозаморожувачого апарату спірального типу.

Відзначимо, що розрахунок теплового навантаження при обробці продукту в потоці відрізняється від розрахунку камер і апаратів циклічного завантаження. Величина питомого теплового потоку^с

$$q_{ср}(\tau) = \frac{1}{\sigma \tau_0} \int_0^{\tau_0} q(\tau) d\tau, \quad (11)$$

помножена на величину поверхні продукту $S_{пр}$ та підсумована для

всіх упаковок в охолоджуваному просторі N_{np} визначає теплове навантаження від продукту на повітроохолоджувач:

$$Q_2 = \sum_{n=1}^{N_{np}} q_{cpn}(\tau_j) \cdot S_{np}. \quad (12)$$

В результаті виконаних розрахунків визначено основні характеристики швидкозаморожувального апарату:

1. Габаритні розміри, м	-	5,8x5,8x5,0
2. Виробність, т/г	-	0,5 ... 2,0
3. Тривалість процесу, хв.		
охолодження	-	45 ... 360
заморожування	-	45 ... 540
4. Швидкість конвейєру, м/хв.	-	0,5 ... 7
5. Довжина стрічки конвейєру, м	-	283
6. Повітроохолоджувач		
площа поверхні, кв.м	-	1400
висота, м	-	3,6
внутрішній діаметр, м	-	2,4
зовнішній діаметр, м	-	3,2
крок ребер, мм	-	1,5
діаметр ребра, мм	-	75

У додатках наведені основні модулі програми розрахунку процесів холодильної обробки фасованих м'ясопродуктів, таблиці результатів чисельної обробки експериментальних даних та деякі результати модельних розрахунків відносно охолодження та заморожування м'ясних півфабрикатів.

ВИСНОВКИ

1. Опрацьована математична модель процесів холодильної обробки об'єктів довільної геометричної форми з врахуванням нелінійної залежності ТОВ від температури, наявності фазових переходів води та жиру, впливу виду упаковки адекватно відбиває протікання реальних процесів і може використовуватися для прогнозування характеристик охолодження та заморожування будь-яких харчових продуктів в умовах наявності достатньо надійних даних про їх теплофізичні властивості.

2. Серед існуючих залежностей для визначення коефіцієнту теплопровідності при обтіканні одиночними тілами різної форми, найкращими через свою універсальність та задовільне узгодження з експериментальними даними багатьох авторів, є інтерполяційні формули

В.Гніліньського, які дозволяють описувати теплообмін для тіл будь-якої геометричної форми.

3. В процесі заморожування м'яса спостерігається явище локалізації теплоти, вплив якого еквівалентний деякому додатковому термічному опору. Локалізація ("інерція") теплоти підвищує час заморожування, в залежності від інтенсивності процесу відводу теплоти, до 15 %.

4. Розроблена методика розрахунку процесів заморожування та визначення основних характеристик швидкозаморожуючих апаратів для потокової холодильної обробки використана при проектуванні універсального швидкозаморожуючого апарату спірального типу, призначеного для обробки м'ясних півфабрикатів, і може бути рекомендована до використання в проектних розрахунках обладнання для охолодження та заморожування інших видів харчових продуктів.

5. Наведені в роботі результати розрахунку процесів холодильної обробки різних видів м'ясопродуктів (таблиці) можуть вживатися для вибору режимів експлуатації швидкозаморожуючого обладнання.

* * *

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Онищенко В.П., Вязовский В.П., Головский С.Е. Эффект локализации теплоты в процессах замораживания мяса. - В кн.: Всесоюз. науч.-техн. конф. "Пути развития науки и техники в мясной и молочной промышленности" (г. Углич, сентябрь 1988 г.): Тез. докл. - М.: АгроНИИТЭИММП. - 1988. - ч. 3. - с. 20-21.

2. Онищенко В.П., Головский С.Е., Мелиба Ю.А. Математическое моделирование процессов холодильной обработки упакованного разделанного мяса и тушек птицы. - В кн.: Респ. науч.-техн. конф. "Интенсификация технологии и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК" (г. Киев, сентябрь 1989 г.): Тез. докл. - Киев: КТИП. - 1989. - с. 221-222.

3. Чумак И.Г., Онищенко В.П., Головский С.Е., Мелиба Ю.А. Теплообмен при холодильной обработке разделанного говяжьего мяса и птицы, упакованных в пленку. - В кн.: Всесоюз. науч.-практ. конф. "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК, торговле и на транспорте" (г. Одесса, октябрь 1989 г.): Тез. докл. - Одесса: ОТИП. - 1989. - с. 18.

4. Головский С.Е., Мелиба Ю.А., Онищенко В.П. Технологические аспекты проектирования поточного скороморозильного оборудования.

- В кн.: Респ.науч.-техн.конф."Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевую и перерабатывающую отрасли АПК"(г.Киев, сентябрь 1991 г.): Тез.докл.- Киев: КТИП.- 1991.- с.485-486.

5. Головский С.Е., Мелиба В.А., Чумак И.Г. Технология поточной холодильной обработки разделанного упакованного мяса. - В кн.: Всесоюз.науч.-техн.конф."Холод - народному хозяйству"(г.Санкт-Петербург, октябрь 1991 г.): Тез.докл.- Санкт-Петербург: СПТИХП.- 1991.- с.117.

6. Чумак И.Г., Головский С.Е., Мелиба В.А. Состояние вопроса о проектировании поточных скороморозильных аппаратов для упакованных пищевых продуктов. - В кн.: Межресп.науч.-практ.конф."Совершенствование холодильной техники и технологии для эффективного хранения и переработки сельскохозяйственной продукции"(г.Краснодар, октябрь 1992 г.): Тез.докл.- Краснодар: КрПИ.- 1992.- с.26.

7. Онищенко В.П., Головский С.Е., Мелиба В.А. Теплообмен при холодильной обработке разделанного и упакованного мяса. Обз.инф.- М.: АгронИИТЗИИМП.- 1992.- 28с.

8. Чумак И.Г., Онищенко В.П., Мелиба В.А., Головский С.Е. Создание систем технологического контроля процессов холодильной обработки и хранения мяса. Обз.инф.- М.: АгронИИТЗИИМП.- 1992.- 24 с.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

T, t - температура; S - площа поверхні; U - об'єм; R - характерний розмір; Γ - інтерполяційний параметр; Φ - коефіцієнт форми; c - теплоємність; ρ - густина; λ - теплопровідність; Nu, Re, Pr - критерії Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля відповідно; q - питомий тепловий потік; v - швидкість руху повітря; \mathcal{L} - коефіцієнт тепловіддачі; x - координата; ξ - товщина прсморожуваного шару; τ - час; L' - довжина обтікання; ℓ - периметр об'єкту; a, b, c, d - коефіцієнти різання; Q, P - прогонні коефіцієнти; E - погіршеність; N, M - кількість вузлів сітки; i - питомі ентальпія; Q_2 - теплоприплив від продукту; G - маса об'єкту;

індекси: min - мінімальний, lam - ламінарний; $turb$ - турбулентний; c - навколишнє середовище; i, j - номери вузлів кінцево-різничної сітки; n - номер поточної ітерації; sr - середній; pr - продукт; ef - ефективний.