

8. А.с. 1055945 СССР, МКИ F25 D 13/00. Способ замораживания пищевых продуктов/ П.Г.Красномовец, А.П.Коцюбинский, И.Г.Чумак. №3392768/28-13; Оpubл. 23.II.83. Бюл. №43.
9. А.с. 1024666 СССР, МКИ F25 D 13/00. Камера для замораживания пищевых продуктов/ П.Г.Красномовец, И.Г.Чумак, А.П.Коцюбинский, Н.И.Островский.- №311046/28-13; Оpubл. 23.06.83. Бюл. №23.
10. А.с. 1043440 СССР, МКИ F25 D 13/00. Установка для замораживания продуктов/ П.Г.Красномовец, А.П.Коцюбинский, Н.И.Островский.- №3284575/28-13; Оpubл. 23.09.83. Бюл. №35.
11. А.с. 1090992 СССР, МКИ F25 D 13/00. Холодильная установка для замораживания пищевых продуктов/ П.Г.Красномовец, А.П.Коцюбинский, С.П.Осымачко.- №3441592/28-13; Оpubл. 7.05.84. Бюл. №17.
12. А.с. 1195158 СССР, МКИ F25 D 13/00. Установка для замораживания пищевых продуктов/ П.Г.Красномовец, А.П.Коцюбинский, Н.И.Островский, В.К.Финк.- №3661810/28-13; Оpubл. 30.II.85. Бюл. №44.
13. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Ярославцева Г.Г. Относительное изменение параметров охлаждающего воздуха на усушку и время замораживания мяса птицы// Сб. Холодильная техника и технология.- Киев, 1986.- №42.- С.77-82.
14. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Святецкий Н.В., Мавоев С.В., Осымачко С.П. Оптимальное давление охлаждающей среды в скороморозильных аппаратах для замораживания мяса птицы// Сб. Холодильная техника и технология.- Киев, 1987.- №44.- С.79-84.

А.Косов

XV 1189

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Ротапринт ОТХП г.Одесса. Подписано к печати 5.03.88.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ 4-88.

Автореферат М
№75

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ХОЛОДИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи
Для служебного пользования
Экз. № 000027

КОЦУБИНСКИЙ Александр Петрович

УДК 621.565.3.1:664

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО
АППАРАТА ДЛЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ МЯСА ПТИЦЫ В
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Специальность 05.04.03 -- машины и аппараты
холодильной и криогенной техники и систем
кондиционирования

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1988

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
холодильной промышленности.

Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент
КРАСНОМОВЕЦ П.Г.

Официальные оппоненты : доктор технических наук, профессор
ЖАДАН В.З.
кандидат технических наук
ИЛЬМИНСКИЙ Д.И.

Ведущая организация — НИО "Комплекс", г. Москва

Защита диссертации состоится "25" апреля 1983г.
в 11.00 часов на заседании специализированного совета
К 063.27.01 при Одесском технологическом институте холодиль-
ной промышленности, 270000, г. Одесса, ул. Петра Великого,
1/3, ОТИХИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1983г.

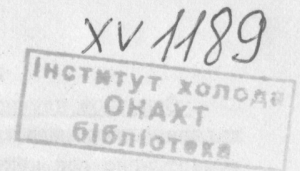
Ученый секретарь
специализированного совета,

_____, д.н., доцент

Р.К.Низкулышин

3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



Актуальность работы. Одним из важнейших вопросов, стоящих перед экономикой страны, является ускорение технического перевооружения действующего производства. Увеличение объемов переработки мяса птицы, высокие требования, предъявляемые к его качеству, обуславливают необходимость совершенствования технологии и разработки высокоэффективных устройств, позволяющих интенсифицировать производственные процессы, улучшить качественные показатели готовой продукции и увеличить ее выход с одной тонны обработанного сырья.

Процессы замораживания, реализуемые в существующих устройствах с воздушным охлаждением, протекают недостаточно интенсивно. Значительными остаются потери от усушки. Во многом это связано с низкой теплотехнической эффективностью воздуха как теплоносителя. Интенсификация процессов холодильной обработки, в частности замораживание мяса птицы, упакованного в тару, возможна за счет применения воздушной охлаждающей среды под избыточным давлением. Разработка устройств, реализующих процесс замораживания при указанных условиях, не проводилась.

Целью работы является исследование замораживания мяса птицы в воздушной среде под избыточным давлением, разработка и исследование скороморозильного аппарата, в котором реализуется данная технология.

В соответствии с указанной целью в работе решались следующие задачи:

- установить основные особенности теплообмена между охлаждающим воздухом и упакованными в тару тушками птицы;
- в лабораторных и промышленных условиях экспериментально исследовать процессы тепло- и массообмена при замораживании мяса птицы в потоке воздуха под избыточным давлением;
- установить относительное влияние основных параметров охлаждающего воздуха (давление, температура и скорость его движения) на усушку и время замораживания мяса птицы;
- создать опытный образец скороморозильного аппарата и испытать его в промышленных условиях;
- провести технико-экономический анализ скороморозильного аппарата, исходя из условия наименьших приведенных затрат, и установить оптимальное давление охлаждающей среды.

Основное научное положение, защищаемое автором. Повышение давления охлаждающего воздуха до величины 0,9...1,0 МПа позволяет существенно сократить потери от усушки и время замораживания мяса птицы.

Научная новизна работы. Установлено, что повышение давления охлаждающего воздуха приводит к существенному сокращению времени термообработки и усушки тушек птицы, упакованных в тару. Получены зависимости, описывающие процесс замораживания в достаточно широком диапазоне изменения основных параметров охлаждающей среды. Определена степень их влияния на время замораживания и усушку продукта и обоснована оптимальная величина избыточного давления в скороморозильных аппаратах.

Практическая ценность. Реализация предложенной технологии замораживания мяса птицы в разработанных скороморозильных аппаратах позволит снизить потери от усушки в 3...4 раза и значительно сократить время замораживания при максимальном сохранении исходных свойств сырья. Расчетный годовой экономический эффект достигает 180 тыс. рублей для птицеперерабатывающего цеха годовой производительностью 10 тыс. тонн.

Реализация работы. Результаты комплексных экспериментальных исследований использовались при разработке и испытаниях полупромышленного скороморозильного аппарата для замораживания затаренного мяса птицы в воздушной среде под избыточным давлением на Ултоблском мясокомбинате Госагропрома Казахской ССР.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на научно-технических конференциях ОТИХП (Одесса, 1979-83г.г.), на 26-м Европейском съезде научных работников мясной промышленности (США, Колорадо-Спрингс, 1980г.), на юбилейной конференции ЛТИХП (Ленинград, 1981г.), на Всесоюзных конференциях "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания" (Москва, 1984г. и Кшишнёв, 1987г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано восемнадцать печатных работ и получено шесть авторских свидетельств.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений и содержит 120 страниц основного текста, 38 рисунков, 5 таблиц. Библиография включает 127 наименований, из которых 23 иностранных.

Во введении обоснована актуальность темы и сформулировано научное положение, защищаемое в настоящей работе.

В первой главе проведен анализ влияния параметров первичной и холодильной обработки мяса птицы на его качественные показатели. Этому вопросу посвящен ряд работ советских (Г.Б.Чижов, И.Г.Чумак, Н.А.Головкин, Н.К.Кулманова, И.А.Подлегаев, К.П.Венгер, Е.А.Рассацкина) и зарубежных (Де-Фремари, I.Мозеф, О.Фенгема, В.Паури, Л.Ван ден Берг, С.Лепту) исследователей. В частности, отмечено, что определяющим фактором изменения качественных показателей замороженного мяса птицы является скорость замораживания.

В результате анализа рассмотренных работ в области техники и технологии замораживания мяса птицы показано, что лучшие условия теплообмена при замораживании мяса птицы могут быть достигнуты в скороморозильных аппаратах, работающих с жидкими охлаждающими средами (рассол, азот, хладон). Однако их применение требует дорогостоящей и трудоемкой упаковки. А качество обрабатываемой птицы ухудшается в связи с образованием холодных ожогов, особенно обильных в местах с тонким эпидермисом, и обезживанием поверхностного слоя. По этой причине мясо птицы не соответствует стандартам международного рынка. В нашей стране наибольшее распространение получило замораживание в воздушной среде, которое проводят двумя способами: при естественной конвекции с температурой воздуха минус 20°C и в потоке воздуха со скоростью 3...6 м/с и температурой минус 30°C. В первом случае для морозилок характерна низкая производительность (время замораживания составляет 36...48 часов), а при использовании высоких скоростей воздушного потока во много раз возрастает расход электроэнергии. Кроме того, существующие технологические режимы воздушного охлаждения, даже с температурой охлаждающего воздуха минус 30°C, характеризуются высокой средней температурой поверхности упакованных в тару тушек, что вызывает повышенную усушку. На значительной части предприятий, с целью сокращения затрат на грузовые операции, птицу замораживают в закрытых ящиках без отбитых планок. Это приводит к увеличению времени холодильной обработки и росту потерь от усушки. Пштучное замораживание птицы в скороморозильных аппаратах с воздушным охлаждением организовать весьма затруднительно, а замораживание в закрытой таре практически сводит на нет эффек-

тичность применения больших скоростей движения воздуха. Поэтому назрела необходимость создания скороморозильного аппарата с более интенсивным теплообменом между охлаждающим воздухом и упакованными в тару тушками птицы. Там же конкретизированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приведен теоретический анализ процессов тепло- и массообмена при охлаждении продуктов. В общих чертах, физическая картина процессов тепло- и массообмена между тушками птицы, упакованными в закрытые деревянные ящики, и воздушной средой выглядит так. Тепло от продукта передается стенкам ящика конвективным способом (имеет место естественная конвекция в ограниченном пространстве) через воздушные прослойки, за счет контактной теплопроводности непосредственно от продукта к стенкам ящика, а также посредством процессов испарения-конденсации влаги продукта, конденсирующейся на внутренних стенках ящика. Через стенки ящика тепло передается теплопроводностью, затем за счет вынужденной конвекции — охлаждающему воздуху.

Для выяснения влияния давления воздуха на эффективность процесса термообработки принята упрощенная физическая модель. Рассмотрено охлаждение продукта, имеющего форму пластины заданной толщины $2\delta_1$, расположенной в ящике симметрично относительно его

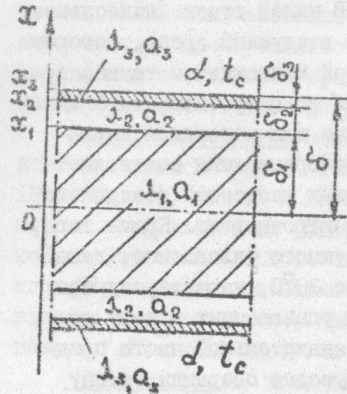


Рис. 1. Схема к решению задачи охлаждения продукта, упакованного в тару.

стенки толщиной δ_3 с зазорами толщиной δ_2 (Рис. 1). Считаются заданными коэффициенты теплопроводности и температуропроводнос-

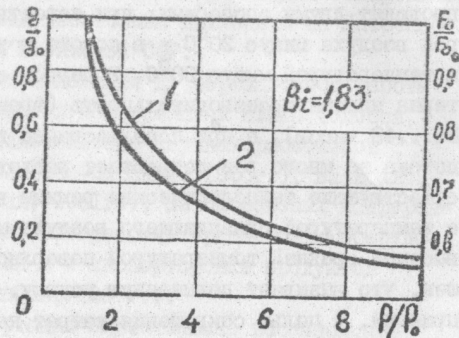


Рис. 2. Влияние давления воздуха на время охлаждения (1) и относительную усушку продукта (2).

ти продукта λ_1, a_1 , стенок ящика λ_3, a_3 , а также воздушной прослойки λ_2, a_2 . При этом в качестве величины λ_2 использован коэффициент эффективной теплопроводности, учитывающий как перенос тепла, собственно, теплопроводностью, так и за счет естественной конвекции в зазоре. На наружных поверхностях стенок ящика считается известной величина коэффициента теплоотдачи α . Начальная температура всей системы t_0 , температура охлаждающего воздуха $t_c = \text{const}$.

Предложенная модель отличается от реального объекта исследования, но позволяет воссоздать качественную картину происходящих процессов передачи тепла и массы при охлаждении упакованных в тару тушек птицы.

В математическом отношении задача сведена к исследованию симметричного охлаждения неограниченной пятислойной пластины в среде с постоянной температурой при граничном условии третьего рода. На границах между слоями заданы условия сопряжения (равенства температур и тепловых потоков). Температурное поле описывается следующей системой уравнений.

а) уравнениями теплопроводности в каждом из слоев

$$\frac{\partial \theta_i(\eta, Fo)}{\partial Fo} = \omega_i \frac{\partial^2 \theta_i(\eta, Fo)}{\partial \eta^2}; \quad (1)$$

б) условиями сопряжения на поверхностях слоев

$$\varepsilon_i \frac{d\theta_i(\eta_i, Fo)}{d\eta} = \varepsilon_{i+1} \frac{d\theta_{i+1}(\eta_i, Fo)}{d\eta}; \quad (2)$$

$$\theta_i(\eta_i, Fo) = \theta_{i+1}(\eta_i, Fo); \quad (3)$$

в) начальным условием

$$\theta(\eta, 0) = 1; \quad (4)$$

г) граничным условием на внешней поверхности

$$\varepsilon_s \frac{\partial \theta_s(1, Fo)}{\partial \eta} = -Bi \theta_s(1, Fo); \quad (5)$$

д) условием симметрии

$$\frac{\partial \theta_1(0, Fo)}{\partial \eta} = 0. \quad (6)$$

Решение задачи выполнено операционным методом и представлено в виде бесконечных рядов

$$\theta_i(\eta, Fo) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_{ni} \cos\left(\frac{M_n}{\sqrt{\alpha_i}} \eta\right) + B_{ni} \sin\left(\frac{M_n}{\sqrt{\alpha_i}} \eta\right) \right] \exp(-M_n^2 Fo) \quad (7)$$

Результаты использованы для оценки эффективности процесса холодильной обработки продукта. Расчеты показали, что для $Fo \gg 0,1$ величина коэффициента неравномерности распределения температуры в продукте не зависит от величины Fo и изменяется с возрастанием давления незначительно, а процесс охлаждения подчиняется закону регулярного теплового режима.

Анализ изменения температуры во времени показал определяющее влияние давления охлаждающего воздуха на скорость охлаждения продукта (рис. 2; кривая 1). Степень влияния интенсивности внешнего теплообмена (величина Bi) значительно меньше. Так, изменение давления воздуха в два раза практически равносильно изменению коэффициента теплоотдачи в 6,3 раза. Последнее объясняется значительным влиянием термического сопротивления воздушной прослойки на передачу тепла от продукта к воздуху. Результаты расчетов, представленные на рис. 2 (кривая 2) показывают значительное снижение величины усушки с возрастанием давления воздуха. Достижение такого же эффекта за счет интенсификации внешнего теплообмена является практически нереальным.

В третьей главе представлены методика обработки экспериментальных данных и результаты лабораторных исследований замораживания мяса птицы в воздушной среде под избыточным давлением.

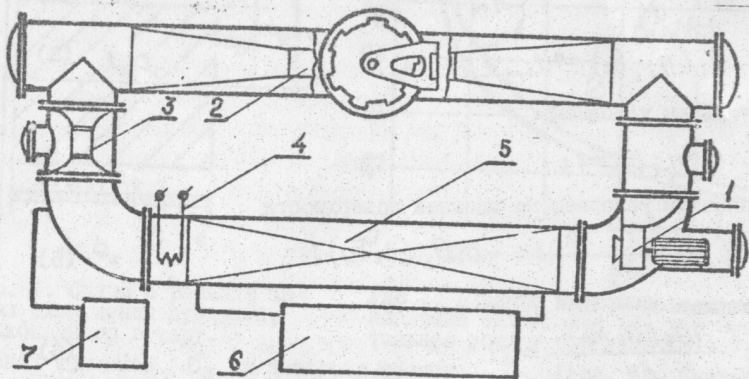


Рис. 3. Схема лабораторного экспериментального стенда.

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 3. В замкнутом герметичном теплоизолированном воздушном циркуляционном контуре последовательно размещены вентилятор 1, экспериментальный блок 2, теплое устройство для измерения скорости 3, грелка 4, воздухоохладитель 5. Охлаждение воздуха осуществлялось при помощи двухступенчатой холодильной машины 6. Избыточное давление в воздушном контуре достигалось включением в работу воздушного компрессорного агрегата 7. Число оборотов центробежного вентилятора изменялось при помощи регулятора напряжения. Экспериментальный блок 2 представляет собой прямой участок воздуховода прямоугольного сечения, в котором расположен сетчатый контейнер с обрабатываемыми образцами. Температуру измеряли медь-константановыми термопарами с использованием потенциометра Р-363-3, массу исследуемых образцов — весами ЛКТ-2, а давление образцовыми манометрами.

Замораживание тушек кур производили в потоке воздуха при следующих его параметрах: температура $-18...-20^\circ\text{C}$, давление $0,1...0,6$ МПа, скорость воздуха $1,1...1,5$ м/с. В грузовом объеме в металлическом сетчатом контейнере размещали 2-3 тушки. В одной из тушек в характерных точках (толща грудной мышцы, внутренняя полость, бедренная часть, под кожей (прогровом)) размещали термопары. Две остальные были предназначены для биологических исследований и контроля изменения массы.

Для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи при нестационарном теплообмене использовали метод регулярного теплового режима. Для отдельно расположенных тушек кур II категории опытные данные представлены на рис. 4. В логарифмических координатах экспериментальные точки удовлетворительно обобщены кривой, соответствующей зависимости $Nu = 0,0254 Re^{0,74}$ (8). В опытах величину Re изменяли в пределах $1,4 \cdot 10^4...8,6 \cdot 10^4$. При этом скорость движения воздуха поддерживали на уровне $1...1,5$ м/с, а изменение Re было достигнуто варьированием величины давления. Отклонение от кривой, описанной уравнением 8, для указанного диапазона числа Re не превышало 15%. Результаты экспериментов хорошо согласуются с опытными данными других исследователей.

В результате обработки данных по продолжительности достижения одинаковой температуры в толще грудной мышцы при различ-

ных давлениях среды получена зависимость

(9).

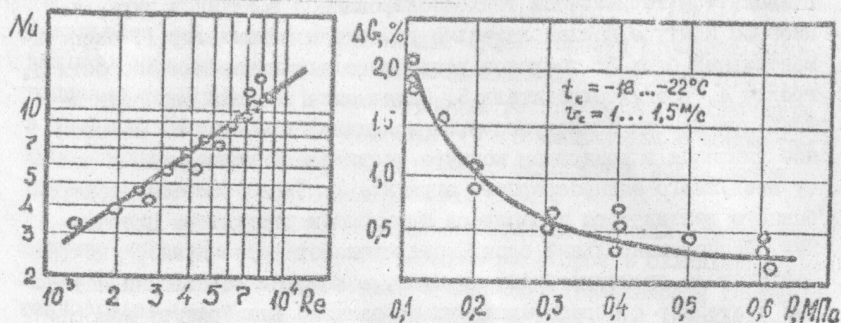


Рис. 4. Критериальная зависимость интенсивности теплообмена при охлаждении тушек кур.

Причем, как показал анализ экспериментальных данных, интенсификация процесса замораживания, связанная с применением повышенного давления охлаждающей среды, наблюдалась на всех трех характерных его стадиях.

Анализ влияния величины абсолютного давления охлаждающей среды на естественные потери при замораживании показал, что с увеличением давления усушка уменьшается (Рис.5). Это объясняется снижением интенсивности массообменных процессов, а также сокращением времени термической обработки.

В процессе лабораторных исследований изучено влияние величины избыточного давления на некоторые качественные показатели замороженного мяса птицы. Результаты исследования показали, что с повышением давления охлаждающего воздуха влагосодержащая способность замороженного мяса возрастает. Было также исследовано влияние скорости замораживания при давлении охлаждающей среды от 0,1 до 0,6 МПа на изменение гистологической структуры мышечной ткани. Установлено, что при замораживании парного мяса в экспериментальной установке при давлении 0,1 МПа и температуре $-18...-20^{\circ}\text{C}$ центры кристаллизации льда образуются прежде всего в пространствах между мышечными волокнами и их пучками. В мясе наблюдаются значительные изменения, которые характеризуются деформацией и разрывами микроволокон мышечных волокон. Соединительная ткань претерпевает значительные изменения.

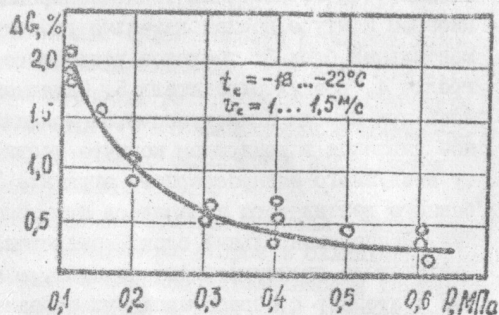


Рис. 5. Зависимость величины усушки от давления для неупакованного мяса кур.

При замораживании мяса под давлением 0,6 МПа центры кристаллизации льда располагаются равномерно по всему мышечному волокну. Микроструктура мяса характеризуется мелкокристаллическим строением льда, образованного как в межволоконных пространствах, так и внутри волокон, без их повреждения.

В четвертой главе представлены результаты исследования упакованного в тару мяса птицы в опытном образце скороморозильного аппарата и показана работа аппаратов в составе морозильного комплекса.

Опытный образец скороморозильного аппарата представляет собой цилиндрическую ёмкость диаметром 1 м и длиной 4,5 м, содержащую воздухоохладитель, вентиляторы, загрузочный лоток и кожух, ограничивающий грузовой объем. Ёмкость единовременной загрузки аппарата — 200 кг упакованного в тару мяса птицы.

В качестве объекта исследования использовано парное мясо утят и гусят II категории упитанности, упакованное в тару. Во время исследований параметры охлаждающего воздуха изменялись в следующих интервалах: температура $-11...-26^{\circ}\text{C}$, давление 0,1...0,85 МПа, скорость 0,4...1,4 м/с. Для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи использован метод регулярного теплового режима.

В результате обработки экспериментальных данных, представленных на рис. 6 получена зависимость

$$Nu = 0,67 Ra^{0,235} \quad (10)$$

В качестве определяющего размера выбран линейный размер упаковки, а определяющей разности температур — разность между средней за процесс температурой в толще грудной мышцы и средней температурой набегающего потока.

Зависимость справедлива для чисел Рейля в интервале $5,8 \cdot 10^4...6,4 \cdot 10^5$. Для относительного изменения времени замораживания в зависимости от давления охлаждающей среды получены функциональные зависимости:

$$- \text{ для утят II категории } \tau = 1,04 \tau_0 (P_0/P)^{0,55} \quad (11)$$

$$- \text{ для гусят II категории } \tau = 0,98 \tau_0 (P_0/P)^{0,53} \quad (12)$$

Погрешность указанных соотношений — не более 12%. На рис. 7 представлена зависимость усушки мяса утят и гусят от абсолют-

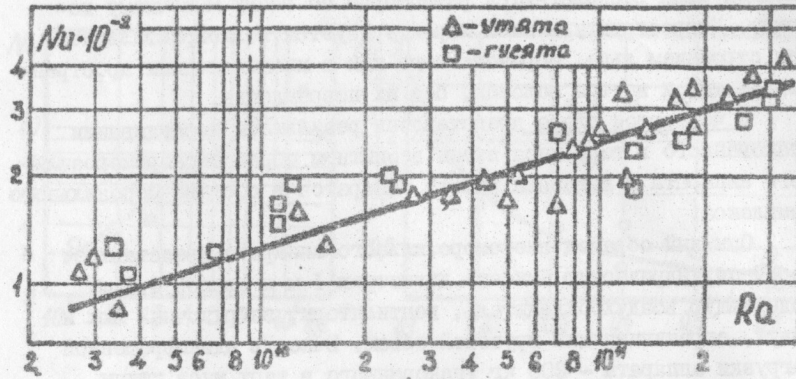


Рис. 6. Критериальная зависимость интенсивности теплообмена при охлаждении упакованного мяса птицы Δ - утята □ - гусята.

ного давления охлаждающей среды. Как видно из графика, с повышением давления усушка сокращается по зависимости, имеющей экспоненциальный характер, и при давлении 0,7...0,8 МПа достигает значений 0,35...0,45%.

Определение относительного влияния температуры, давления и скорости движения охлаждающего воздуха на время замораживания и усушку мяса птицы проведено при помощи многофакторной математической модели. В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие линейные уравнения для натуральных значений факторов, определяющих время замораживания и усушку мяса птицы:

$$T_c = 0,4T - 10,43P - 1,74U - 85,88; \quad (13)$$

$$\Delta G = 0,026T - 0,76P + 0,019U - 5,68. \quad (14)$$

Оценка линейной модели для определения искомых величин в принятых интервалах варьирования определяющих факторов, проведенная с помощью статистических критериев Фишера и Стьюдента, удовлетворяет доверительной вероятности 95%. Коэффициенты регрессии зависимостей (13) и (14) указывают на то, что повышение давления воздушной среды является главным фактором, определяющим интенсификацию теплообмена и уменьшение потерь от усушки, а T и U в числе

двумя диапазонами их изменений оказывают на них меньшее влияние.

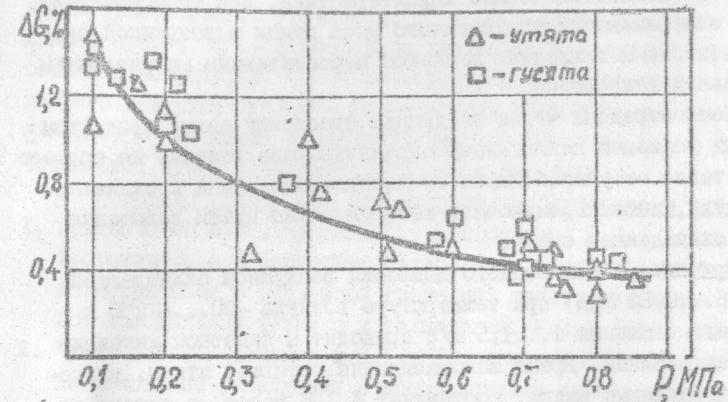


Рис. 7. Зависимость величины усушки от давления воздуха при замораживании мяса птицы.

В работе приведен вывод зависимости мощности, затрачиваемой на перемещение воздуха при интенсивном охлаждении пищевых продуктов под избыточным давлением, от величины последнего. На основании расчета аэродинамических потерь в скороморозильном аппарате показана их зависимость от абсолютного давления при одинаковой мощности на валу вентилятора. Установлено, что при условии постоянства энергозатрат на перемещение воздуха за один рабочий цикл аппарата, интенсификация процесса охлаждения за счет повышения давления наибольшая и достижение ее при атмосферном давлении практически невозможно.

Создание новой технологии замораживания мяса птицы и разработка скороморозильного аппарата потребовали определения оптимального значения давления воздушной охлаждающей среды, как нового введенного параметра, влияющего на интенсивность замораживания, усушку и качество обрабатываемого продукта. Проведенный экономический анализ замораживания мяса птицы при различных давлениях охлаждающей среды по изменяющимся статьям затрат показал, что при температуре замораживания -30°C минимум общих удельных приведенных затрат соответствует давлению охлаждающей среды 0,9...1,0 МПа.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Повышение абсолютного давления охлаждающего воздуха улучшает его теплотехнические характеристики, как теплоносителя, а способ замораживания упакованного мяса птицы в воздушной среде под избыточным давлением является перспективным направлением в холодильной технологии.
2. Теплопередача через воздушную прослойку между продуктом и стенками упаковки накладывает ограничивающее влияние на процесс передачи тепла от упакованного остывшего мяса птицы к охлаждающему воздуху, интенсифицировать которую можно путем повышения давления охлаждающей среды.
3. Применение повышенного давления воздушной охлаждающей среды (0,6...0,82 МПа) при температуре воздуха -20...-22°C и скорости его движения 1...1,5 м/с приводит к заметной интенсификации теплообмена. Время замораживания остывшей птицы, упакованной в деревянные ящики, составляет 4...6 часов, а потери от усушки не превышают 0,35...0,45%.
4. Степень влияния параметров охлаждающего воздуха на усушку и время термической обработки установлена при помощи многофакторной математической модели. Главным фактором, определяющим уменьшение усушки и времени термической обработки, является давление воздушной среды, а температура и скорость движения воздуха в исследуемом диапазоне их изменения оказывают на него меньшее влияние.
5. Время замораживания неупакованного и упакованного в тару мяса птицы в зависимости от давления воздушной охлаждающей среды может быть определено по полученным соотношениям 9, 11, 12.
6. При увеличении давления воздушной охлаждающей среды влагосодержащая способность замороженного мяса птицы имеет тенденцию к повышению, что объясняется сохранением целостности мышечной ткани. Для технологии замораживания мяса птицы под давлением характерна структура льда с более мелкими кристаллами по сравнению с его структурой, полученной при замораживании по технологиям, применяемым в промышленности.
7. Оптимальным для замораживания мяса птицы является давление воздуха 0,9...1,0 МПа, которое соответствует минимальной величине удельных приведенных затрат.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

α - коэффициент температуропроводности; A, B - постоянные ряда (7); α - коэффициент теплоотдачи; ΔG - усушка;
 δ - толщина; λ - коэффициент теплопроводности; μ - корни характеристического уравнения; P - абсолютное давление охлаждающей среды; P_0 - атмосферное давление; τ - время; θ - избыточная температура; T, t - температура; v - скорость охлаждающего воздуха; $\eta = \alpha/\delta$ - безразмерная координата; $\omega = a_{i-1}/a_i$; $\varepsilon = \lambda_{i-1}/\lambda_i$ - отношения теплофизических свойств; Bi, Fo, Nu, Ra, Re - числа Био, Фурье, Нуссельта, Рейлея и Рейнольдса.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Красномовец П.Г., Чумак И.Г., Коцюбинский А.П., Бабич А.К. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса охлаждения мяса в воздушной среде под избыточным давлением// Сб. Холодильная техника и технология.-Киев, 1980.-№1.-С.86-88.
2. Чумак И.Г., Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Бабич А.К. Исследование охлаждения и замораживания мяса в воздушной среде под избыточным давлением// Материалы 26-го Европейского съезда научных работников мясной промышленности.- США, Колорадо-Спрингс, 1980. Том 2. С.155-158.
3. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Святецкий Н.В. Об охлаждении мяса в воздушной среде под избыточным давлением// Сб. Холодильная техника и технология.-Киев, 1981.- №3.- С.86-89.
4. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Святецкий Н.В. Анализ энергетической эффективности охлаждения пищевых продуктов под избыточным давлением// Сб. Холодильная техника и технология.- Киев, 1982.- №4.- С.108-112.
5. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Бабич А.К. Влияние избыточного давления охлаждающей среды на некоторые качественные показатели замороженного мяса// Пищевая промышленность.- Киев, 1982.- №4.- С.32-33.
6. Красномовец П.Г., Коцюбинский А.П., Осъмачко С.П. Влияние давления воздуха на интенсивность охлаждения и усушку продуктов// Сб. Холодильная техника и технология.- Киев, 1982.- №5.- С.125-130.
7. А.с. Ю10417 СССР, МКИ F25 D 17/06. Установка для замораживания пищевых продуктов/ П.Г.Красномовец, И.Г.Чумак, А.П.Коцюбинский, Н.И.Островский.- №2950067/28-13; Опубл.07.04.83. Бюл. №13.