

Автореферат
992

проф. Гурману И.В.

Одесский технологический институт холодильной промышленности

На правах рукописи

Яценко

ЯЦЕНКО Анатолий Павлович

УДК 621.56/59

РАЗРАБОТКА ВИБРОКОНВЕЙЕРНОГО СКОРОМОРОЗИЛЬНОГО
АППАРАТА ПОТОЧНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ МЯСА

Специальность 05.04.03 – Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем кондиционирования

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

XV 1034

Институт холода
ОНАХТ
Бібліотека

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
холодильной промышленности.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ — заслуженный деятель науки УССР,
доктор технических наук,
профессор И.Г.ЧУМАК

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор технических наук,
профессор И.Г.АЛЯКОВСКИЙ,
кандидат технических наук
А.М.ЧЕРНОЗУБОВ

Ведущее предприятие ГИПРОХОЛОД (г.Москва)

Защита диссертации состоится "8" августа 1985 г.
в 10.00 часов на заседании специализированного совета
К.068.27.01 Одесского технологического института холодильной
промышленности: 270057, г.Одесса, ул.Петра Великого, I/3, ОТИХП.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " _____ 1985 г.

Р.К.Никулишин

- 3 -

В принятых XXVI съездом КПСС "Основных направлениях экономическо-
го и социального развития СССР на 1981-1985 гг и на период до
1990 г" главная задача одиннадцатой пятилетки предусматривает реше-
ние ряда научно-технических проблем, стоящих перед мясо-молочной,
пищевой и др. промышленностями, дальнейшее развитие которых нашло
в Продовольственной программе.

Намеченный рост объемов производства мяса на 29,8% требует со-
вершенных и интенсивных способов и средств холодильной обработки
продуктов для длительного хранения, что достигается путем их замора-
живания в расфасованном виде в скороморозильных аппаратах.

Внедрение прогрессивных технологий производства мяса в крупно-
и мелкокусковых полуфабрикатах, позволяющих существенно в 2-3 раза
снизить естественные потери от усушки, а также обработка разнотип-
ных субпродуктов затрудняет использование плиточных скороморозиль-
ных аппаратов в связи с требованиями сохранения формы полуфабрика-
тов и адгезией и перекосами плит при замораживании субпродуктов.
Поэтому основным является поточное замораживание в аппаратах с воз-
душной охлаждающей средой.

Недостаточная интенсивность процессов теплообмена в таких ап-
паратах требует поиска и исследования эффективных методов интенсифи-
кации замораживания и разработки современных конструкций средств
замораживания, отличающихся универсальностью к продуктам различных
видов и форм на основе системного подхода к изучению взаимодействия
как отдельных звеньев аппарата, так и его в целом с условиями про-
изводства.

В целях оптимального проектирования скороморозильных аппаратов
поточного замораживания необходимо совершенствование методик расче-
та и подбора этих устройств с учетом типов конвейерных систем и ре-
жимов работы мясоперерабатывающих предприятий.

Основной целью настоящей работы является разработка конструк-
ции скороморозильного аппарата поточного интенсивного замораживания
мяса и других пищевых продуктов на основании теоретических и экспе-
риментальных исследований вибрационного метода интенсификации про-
цессов теплообмена.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить характер теплообмена, протекающего при вымерзании влаги
в пищевых продуктах, и обосновать методы интенсификации внутриткане-
вого теплообмена;
- построить математические модели процесса внутритканевого тепло-
обмена в двухфазной зоне;

- определить параметры вибрации, интенсифицирующие процесс замораживания мяса;
- изучить влияние производственного цикла и схемы перемещения продукта в объеме скороморозильных аппаратов на эффективность работы холодильного оборудования;
- разработать методику теплотехнического расчета скороморозильных аппаратов для поточного замораживания пищевых продуктов;
- разработать технические решения по схеме многомодульного аппарата для одновременной обработки продуктов с различным временем замораживания.

Научная новизна работы состоит в том, что получены качественные и количественные оценки теплообмена мясных блоков в условиях скороморозильных аппаратов поточного типа с использованием вибрационного способа интенсификации процесса замораживания. Найден эффективный способ перемещения продукта в грузовом объеме скороморозильного аппарата, позволяющий достигнуть равномерной тепловой нагрузки по поверхности приборов охлаждения и обеспечить универсальность аппарата к продуктам с различным временем обработки.

Научные положения, новизна которых защищается в работе

1. Сокращение продолжительности процесса замораживания мяса для заданных температур и скоростей движения воздуха достигается при вибрационных воздействиях порядка $0,01 \dots 0,12$ м/с в интервале частот $0 \dots 50$ Гц.

2. Повышение эффективности средств быстрого замораживания мяса поточного типа обеспечивается интенсивным теплообменом, равномерным распределением тепловой нагрузки по поверхности приборов охлаждения и согласованностью режимов работы аппарата и технологической системы в целом.

Основные научные результаты, полученные в работе

1. Вибрация мяса в потоке холодного воздуха интенсифицирует процесс замораживания на всех этапах от предохлаждения до завершения замораживания.

2. Интенсифицирующее теплоотдачу воздействие вибрации описывается критериальными зависимостями.

3. При постоянных температурах и скоростях движения воздуха ($1,7 \dots 5,0$ м/с) время замораживания уменьшается пропорционально скорости вибрации.

4. Равномерность распределения тепловой нагрузки по поверхности приборов охлаждения определяется способом перемещения продуктов в объеме грузового отсека, а действительная производительность - характером цикличности производства сырья.

5. Применение конвейерных систем порядной подачи грузовых ячеек с продуктом на всю длину аппарата стабилизирует тепловую нагрузку по поверхности приборов охлаждения.

6. Виброконвейерный скороморозильный аппарат обеспечивает интенсивное поточное замораживание блочного мяса, мясных полуфабрикатов и субпродуктов в широком диапазоне производительностей (до 1600 кг/ч) и универсален к продуктам с различным временем замораживания.

Практическая ценность работы

Результаты диссертационной работы по интенсификации процессов замораживания блочного мяса, субпродуктов и мясных полуфабрикатов приняты к использованию при проектировании и разработке средств интенсивного замораживания Минмясокомпромом Казахской ССР. Разработанная конструкция виброконвейерного скороморозильного аппарата принята для изготовления Алма-Атинским опытным ремонтно-механическим заводом Казминмясокомпрома и внедрения на Павлодарском мясокомбинате.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и обсуждены на научных конференциях ОТИХП (Одесса, 1979, 1983, 1984 гг), XIII Европейском конгрессе работников НИИ мясной промышленности (Колорадо-Спринг, США, 1980 г), Всесоюзном семинаре "Использование достижений холодильной техники и технологии в целях повышения эффективности пищевых производств" (Таллин, 1981 г), Техсовете Минмясокомпрома Казахской ССР (Алма-Ата, 1981 г), Координационном совещании ГКНТ СССР по программе 0.30.03.Ц. (Кишинев, 1982 г), Республиканском семинаре "Повышение технического уровня и эффективности холодильного хозяйства на предприятиях мясной и молочной промышленности Казахской ССР (Алма-Ата, 1984 г), Всесоюзной научной конференции "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания" (Москва, 1984 г), Всесоюзной конференции "Пути увеличения выпуска и сохранения качества пищевых продуктов; внедрение безотходных и малотходных технологий на основе использования искусственного холода" (Тбилиси, 1984 г).

Объем работы. Диссертация состоит из четырех глав и содержит 146 страниц основного текста, 1 таблицу, 50 иллюстраций и

40 отр. приложения. Список использованной литературы состоит из 226 наименований, из которых 27 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Большая заслуга в развитии техники и технологии интенсивного замораживания, теоретических и практических его основ принадлежит И.Г.Алямовскому, А.М.Бражникову, Н.А.Герасимову, Н.А.Головкину, Э.И.Каухчешвили, Г.Д.Кончакову, Д.Г.Рятову, Н.Д.Христову, А.П.Шефферу, Г.Б.Чижову, И.Г.Чумаку, С.Г.Чукину, Г.Лоренцу, Р.Лори, Р.Планку, В.Ясперу и др.

Перспективным направлением в развитии холодильной цепи производства мяса является переход к наиболее современной прогрессивной технологии, разработанной ВНИИМом, ВНИКТИХолодпром, ЛТИХИ и ОТИХИ, производства мяса в крупно- и мелкокусковых полуфабрикатах, упакованных под вакуумом с последующей термоусадкой в полимерные пленки типа "Повиден". Применение указанной технологии позволяет увеличить норму загрузки камер хранения до 700...800 кг/м³, снизить усушку на 50% по сравнению с существующими нормами, сократить длительность обработки до 2...4 часов и более полно сохранить качественные показатели мяса за счет послеубойной электротендеризации.

Наиболее целесообразными средствами осуществления одновременной холодильной обработки полуфабрикатов и субпродуктов с различными геометрическими размерами являются скороморозильные аппараты поточного типа с воздушной охлаждающей средой. Повышение их производительности достигается интенсификацией теплообмена, причем важным является поиск методов, интенсифицирующих как наружный, так и внутритканевый теплообмен. К таким методам относятся вибрационное воздействие, однако для условий замораживания мяса в воздушной среде закономерности влияния параметров вибрации на продолжительность процесса не изучены и нет зависимостей, позволяющих определить интенсивность теплообмена расчетным путем.

Теоретический анализ

Механизм вымерзания влаги в мясе при отрицательных температурах обуславливает разность выделения тепла фазового перехода и нелинейные изменения теплофизических свойств в интервале температур от -1...1,5°С до -7...-8°С.

Интенсивность процесса вымерзания влаги в мясе в активном районе зоны разнотого перехода определяется скоростью зародышеобразования и скоростью роста кристаллов льда, величина которых зависит от

переохлаждения активного района ΔT. Для скорости зародышеобразования J_з можно записать

$$J_z = \exp\left[-\frac{A}{kT(\Delta T)^2}\right] \cdot \Lambda_z \quad (1)$$

Воздействие на продукт вибрации пульсирующего характера способствует пульсирующему изменению толщины активного района и вносит изменения аналогичного характера в величину переохлаждения ΔT·ΔT₀cos(ωτ). При ΔT > ΔT₀ из (1) находим среднее значение скорости зародышеобразования за период одной пульсации

$$J_{zf} = J_z \left[1 + \frac{A \cdot D}{kT(\Delta T)^2}\right] \quad (2)$$

Так как величина коэффициента D зависит от ΔT₀/ΔT и всегда положительная, то из (2) следует, что вибрационное воздействие увеличивает скорость зародышеобразования кристаллов льда пропорционально амплитуде вибрации (ΔT₀ ~ α) и соответственно способствует более интенсивному вымерзанию влаги в активном районе (скорость роста кристаллов увеличивается аналогично).

Тепло фазового перехода от активного района отводится через промерзающую зону ζ температурное распределение в которой зависит от интенсивности отвода тепла с поверхности и описывается уравнением

$$t(x) = t_{кр} - \left(\frac{x}{\zeta}\right)^n (t_{кр} - t_n)$$

Увеличение интенсивности отвода тепла с поверхности мяса воздушной средой способствует росту n от 1 до 3. При этом температура в слоях, близких к поверхности, резко понижается, а в слоях, близких к зоне фазового перехода, изменяется незначительно (1...2°С, рис.1), что приводит к изменениям и коэффициента теплопроводности на 10...15% в зонах (x/ζ) = (0,1...0,2). Среднее значение коэффициента теплопроводности по толщине промерзающей зоны при интенсивном отводе тепла (n = 3) на 25% меньше, чем в процессах более низкой интенсивности (n = 1) и увеличивается с понижением температуры охлаждающей среды и температуры поверхности (рис.2). При (n = 3) увеличивается термическое сопротивление промерзшей зоны переносу тепла фазового перехода. Воздействие вибрации, вызывающее интенсивное вымерзание влаги и соответственно скачкообразное увеличение коэффициента теплопроводности в зоне, близкой к активному району, будет способствовать снижению этого сопротивления на 20...30%.

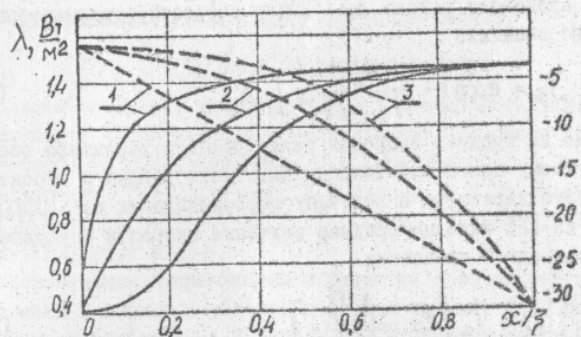


Рис.1. Зависимость изменения температур и коэффициентов теплопроводности по замороженной зоне от интенсивности отвода тепла с поверхности (n) при $t_n = -30^\circ\text{C}$
 — $\lambda(x)$, - - - $t(x)$
 1 - $n = 1$; 2 - $n = 2$; 3 - $n = 3$.

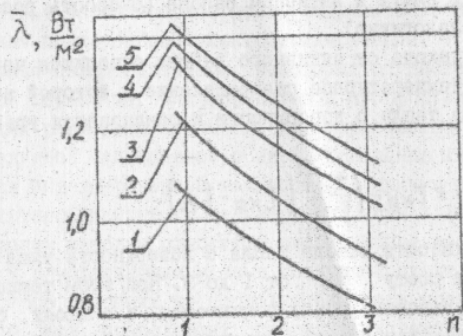


Рис.2. Зависимость среднего коэффициента теплопроводности замораживающей зоны от интенсивности отвода тепла для температур поверхности -5°C ; -10°C ; -20°C ; -30°C ; -40°C (соответственно, кривые 1, 2, 3, 4, 5).

Для активного района δ_0 (района первоначального зарождения и роста кристаллов льда) можно записать уравнение теплопроводности при граничных условиях 2-го рода (начало координат на границе с тепловой зоной и ось x направлена в глубь района) через переохлаждение Δt в виде

$$c\rho \frac{\partial \Delta t}{\partial \tau} + \rho_1 W r \frac{\partial \omega}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(t) \frac{\partial \Delta t}{\partial x} \right], \quad \tau > 0; \quad (3)$$

$$\Delta t(0, x) = \Delta t_n, \quad 0 \leq x \leq \delta_0, \quad \tau = 0; \quad (4)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial \Delta t}{\partial x} = q_2 \text{ при } x=0; \quad \lambda(t) \frac{\partial \Delta t}{\partial x} = q_1 \text{ при } x=\delta_0 \quad (5)$$

Интегрирование уравнения (3) по толщине активного района при начальном (4) и граничных условиях (5) с учетом зависимостей температуры льда, линейной скорости кристаллизации и доли вымороженной воды от переохлаждения позволяет построить диаграмму тепловых потоков в активном районе двухфазной зоны от Δt (рис.3) для каждого фиксированного положения активного района по толщине продукта.

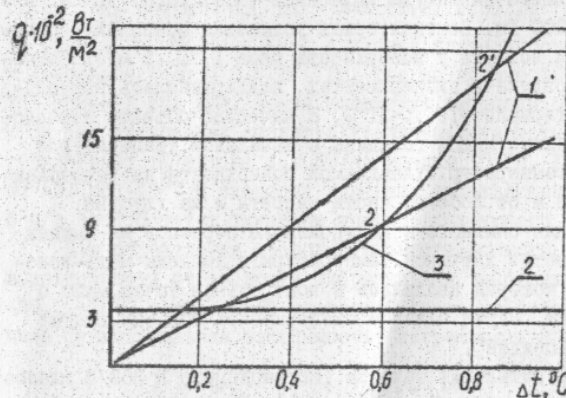


Рис.3. Диаграмма тепловых потоков в активном районе двухфазной зоны 1 - q_1 ; 2 - q_2 ; 3 - $q_{ф.п.}$

Процесс фазового перехода (направление процесса указано стрелкой) протекает в том случае, когда Δt достигает устойчивых состояний (точки 2 и 2'). В случае, если интенсивность теплоотвода q_1 настолько велика, что кривая 1 параллельна асимптоте кривой 3, то Δt не достигает устойчивых состояний и при этом характерен переход воды в аморфное состояние. Кристаллизация аморфной воды в период выравнивания температур по объему тела в процессе хранения приводит к укрупнению кристаллов льда и большим внутренним теплопритокам, вызывающим усушку и соответственно ухудшение качественных пока-

зателей. Воздействие вибрации, как фактора, вызывающего более крутой рост $q_{\text{фн}} = f(\Delta t)$, будет препятствовать этим нежелательным эффектам.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования по влиянию параметров вибрации на интенсивность замораживания мяса были осуществлены на Сдеоском мясокомбинате с использованием стенда, обеспечивающего условия, адекватные условиям замораживания мяса в скороморозильных аппаратах туннельного типа.

Экспериментальный стенд состоял из вентиляторной установки и двухканального воздуховода (2,20 x 1,04 x 0,15 м), в котором размещались кассеты с опытными (вибрирующими) и контрольными образцами мяса толщиной 0,0375 м. Кассета с опытным образцом закреплялась на полке вибратора, обеспечивающего амплитуды колебаний $(0,5 \dots 3,5) \cdot 10^{-3}$ м в интервале частот 0...200 Гц. Вентиляторная установка позволяла создавать скорости движения воздуха у поверхности мяса 1,7...5 м/с. Температура охлаждающего воздуха в экспериментах поддерживалась постоянной и изменялась в интервале -19...-31°C. В качестве объекта исследований были выбраны спинные мышцы говядины с начальной температурой 35...32°C. Измерения температур охлаждаемой поверхности на расстояниях 0,2 м, 0,25 м и 0,3 м от лобовой части кассеты и на глубине 0,0375 м проводились для опытного и контрольного образцов на мышцах одной полутуши. В качестве датчиков температуры применены медь-константановые термомпары, которые вводились в контрольные точки мышц с точностью до 1...1,5 мм. Перед началом эксперимента образцы плотно покрывались пленкой "Повиден".

Используемая измерительная техника (потенциометр Р 363/3 класса точности 0,005, цифровой вольтметр Ф-30 и др.) позволяла определять температурные изменения с точностью до 0,1°C.

Анализ обработки результатов экспериментов по отношению длительности достижения одинаковых температур на поверхности (0°C) и в центре (-1...-1,5°C и -8°C) опытного и контрольного образцов показал, что вибрационное воздействие на продукт интенсифицирует процесс замораживания на всех этапах от предохлаждения до завершения замораживания во всем интервале скоростей движения охлаждающего потока воздуха (1,7...5 м/с). Увеличение частоты и амплитуды колебаний способствует усилению эффекта. Так уменьшение длительности стадии предварительного охлаждения поверхности опытного образца мяса до 0°C (рис.4) при скорости движения воздуха 1,7...1,9 м/с для амплитуды вибрации $0,5 \cdot 10^{-3}$ м достигает 46%, 36%, 31% и 23% соответственно, для частот 40 Гц, 25 Гц,

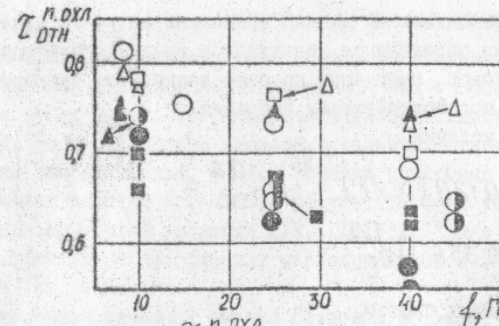


Рис.4. Зависимость $Z_{\text{н. ДХл}} / \text{ДТл}$ от частоты и амплитуды вибрации $v_b = 1,3 \dots 1,9$ м/с ○ ● - для амплитуд $(0,5; 1,5; 2,5) \cdot 10^{-3}$ м; $v_b = 3,5$ м/с □ ■ - для $(0,5; 2,5) \cdot 10^{-3}$ м; $v_b = 5$ м/с △ ▲ - для $(1,5; 2,5) \cdot 10^{-3}$ м.

15 Гц и 8 Гц. Максимальное понижение длительности процесса наблюдается в интервале частот 0...25 Гц, где на каждые 10 Гц приходится 14...22% эффекта при увеличении амплитуды вибрации от $0,5 \cdot 10^{-3}$ м до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м. В тех же интервалах амплитуд увеличение частоты от 25 Гц до 40...45 Гц увеличивает эффект на 4...5% на каждые 10 Гц. Увеличение температуры от -31 до -19°C и скорости движения охлаждающей среды от 1,7 м/с до 5 м/с способствует снижению интенсифицирующего воздействия на 20-50%.

Для определения продолжительности полного времени замораживания в зависимости от скорости вибрации для температуры охлаждающей среды -29...-30°C в интервале скоростей движения воздуха 1,7...3,5 м/с получена функциональная зависимость (погрешность 8%)

$$Z_{\text{ф}}^{\text{н.з}} = Z^{\text{н.з}} [1 - 0,4046(a \cdot f)^{0,105}] \quad (6)$$

Уменьшение времени предварительного охлаждения происходит в результате увеличения коэффициента теплоотдачи вибрирующего блока мяса за счет турбулизации и уменьшения теплового и гидродинамического пограничного слоев (размах колебаний в экспериментах составляет 20...70% толщины пограничного слоя в средней точке блока).

Величины коэффициентов теплоотдачи в различных точках поверхности мяса были определены по результатам измерения температур поверхности опытного и контрольного образцов в течение стадии предварительного охлаждения из решения нестационарного уравнения теплопроводности А.В.Лыковым операционным методом. Для получения зависимостей $Nu = f(Re)$ в качестве определяющих были выбраны длина пластины и температура охлаждающей среды.

Обработка экспериментальных данных позволила получить критериальные зависимости для определения локальных и средних коэффициентов теплоотдачи мясных блоков, омываемых потоком воздуха со скоростью 1,7...5,0 м/с без и под воздействием вибрации
- для обычных условий

$$Nu_x = 0,128 (x/l)^{-0,96} Re_x^{0,6}; \quad (7)$$

$$Nu_p = 0,356 Re_p^{0,6}; \quad (8)$$

- для вибрирующих блоков

$$Nu_{x,p} = 0,114 (x/l)^{-0,82} Re_{x,np}^{0,66}; \quad (9)$$

$$Nu_{p,p} = 0,509 Re_{p,np}^{0,66}; \quad (10)$$

В зависимостях (9), (10) в качестве определяющего критерия принят приведенный критерий Рейнольдса

$$Re_{np} = \sqrt{Re^2 + Re_p^2},$$

где Re_p - вибрационный критерий Рейнольдса, вычисленный по амплитудной скорости вибрации

$$v_p = 2\pi f a.$$

Погрешность формул (7), (8), (9) и (10) соответственно составляет 15%, 22%, 12% и 20%.

Обработка результатов экспериментов в виде критериальной зависимости $Nu_p = f(Re_p)$ позволила установить значения Re_p на уровне $2 \cdot 10^3$, при которых происходит интенсификация процесса теплоотдачи в интервале изменения $Re_x = 8,0 \cdot 10^4 \dots 16,5 \cdot 10^4$ и все параметрические кривые стремятся на общую линию, описываемую уравнением

$$Nu = 17,1 Re_p^{0,3}$$

Для интенсификации теплоотдачи наиболее эффективно воздействовать на продукт вибрацией с скоростью более $a \cdot f = 10,67 \cdot 10^{-3}$ м/с. Обработка термограмм на различных этапах стадии предварительного охлаждения при начальной температуре мяса 32...36°C и во всем интервале температуры и скоростей движения воздуха показала, что неизотермичность поверхности мясных пластин незначительно (6...8%) влияет на изменение коэффициента теплоотдачи в течение процесса.

С целью проверки теоретических предпосылок о влиянии вибрации на интенсивность фазового перехода вода - лед и соответственно на изменение эффективного коэффициента теплопроводности замороженной зоны мяса, были обработаны экспериментальные исследования стадии завершения замораживания, то есть стадии понижения температуры в "центре" мясных пластин до -8°C. В результате было установлено, что в интервале скоростей вибрации $(12 \dots 125) \cdot 10^{-3}$ м/с при частотах 0...50 Гц эффективный коэффициент теплопроводности в среднем увеличивается на 18...67%.

Термоэкономический анализ позволил установить, что оптимальные скорости движения воздуха (дающие минимум приведенных затрат) для скоростей вибрации 0,01...0,12 м/с при температуре охлаждающего потока воздуха -30...-35°C составляют 2,7...3,5 м/с.

Экспериментальные исследования замораживания упакованных крупнокусковых полуфабрикатов являлись частью комплексной проверки режимов холодильной обработки по прогрессивной технологии и проводились совместно с сотрудниками ВНИИМПа, ВНИКТИХолодпрома на Глазовском мясокомбинате в скороморозильном аппарате СА-1 при температуре воздуха -35°C и скорости движения 2,2 и 4,2 м/с. Полуфабрикаты были получены из предварительно охлажденных полутуш до температур на поверхности -1,6...-2°C. Время замораживания полуфабрикатов в зависимости от их толщины составило 2...4 часа, а применение упаковки даже без вакуумирования снижает потери от усушки в среднем на 50%.

Системный подход при проектировании скороморозильных аппаратов для интенсивного замораживания упакованных мясопродуктов требует комплексного анализа всех факторов, влияющих на эффективность их работы в условиях режимной подачи сырья в аппарат и способа его перемещения в грузовом объеме.

Схемы конвейерных систем, заложенные в конструкциях отечественных ГКА-4, АМА, СА и зарубежных фирм SANDVIK, FRIGOSCANDIA (Швеция), LINDE (ФРГ), GREER (США) и др., с серпантинным, фронтальным, замкнутым и тележечным перемещением грузовых ячеек с продуктом способствуют неравномерному распределению тепловых нагрузок на поверхность приборов охлаждения по длине аппарата. Разработанная методика расчета погонной тепловой нагрузки показала, что на первые зоны со стороны загрузки тепловая нагрузка для тележечных схем в 7-8 раз, для фронтальных и серпантинных схем в 4-1,2 раза выше средней тепловой нагрузки. На базе исследований предложена схема конвейерной системы с порядной загрузкой грузового отсека по всей длине аппарата, обеспечивающая равномерную тепловую нагрузку по всей поверхности приборов

охлаждения. Применение указанной схемы позволяет в аппарате одновременно обрабатывать мясопродукты с различным временем замораживания.

Применение вибрации для транспортировки, тендеризации мышечной ткани наряду с интенсифицирующим воздействием на замораживание обусловило перспективность разработки конструкции скороморозильного аппарата с виброконвейерным грузовым отсеком (рис.5).

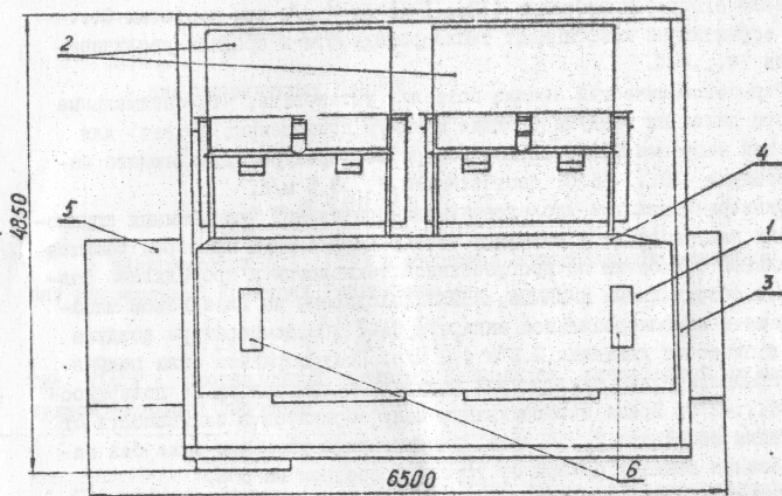


Рис.5. Скороморозильный виброконвейерный аппарат (вид сверху)
1 - грузовой отсек; 2 - блоки воздухоохладителей;
3 - теплоизоляционная камера; 4 - направляющие воздушного потока; 5 - загрузочное окно; 6 - вибраторы.

Аппарат имеет следующую техническую характеристику:

Производительность	-	1600 кг/ч
Площадь поверхности воздухоохладителей	-	1000 м ²
Температура воздуха	-	-35°С
Скорость движения воздуха	-	3...3,5 м/с
Мощность электродвигателей	-	14,5...19,6 кВт
Продолжительность замораживания	-	2,7...3,2 ч
Габаритные размеры:	длина	- 6,50 м
	ширина	- 4,85 м
	высота	- 4,20...4,50 м

Площадь, занимаемая аппаратом	-	31,53 м ²
Масса аппарата	-	12000 кг.

В аппарате работа погрузочных и разгрузочных лифтов и конвейерных элементов обеспечивается гидравлической системой с электрической схемой управления и позволяет осуществлять автоматически все операции по мере поступления поддонов с продуктом. В качестве приборов охлаждения применены два воздухоохладителя с площадью поверхности теплообмена 500 м², выполняемой на базе ВОР-250.

В условиях поточного замораживания для работы предприятия характерно наличие перерывов в течение смен, вызванных характером работы отдельных цехов, что приводит к неравномерной подаче продуктов в скороморозильный аппарат, что способствует нарушению технологических параметров (недозамораживание, перемерзание и др.) замороженного мяса. Эффективность производственного цикла определяется коэффициентом эффективности, равным отношению времени полезной работы аппарата ко времени работы смен, причем всегда меньше 1. Поэтому потребная производительность предприятия в скороморозильных средствах определяется

$$П = G_{цпнс} / K_{эф}$$

Повышение эффективности работы скороморозильных аппаратов непрерывного действия достигается увеличением $K_{эф}$ путем организации режима работы предприятия со сдвигом обремененных перерывов у части работающих в течение смен, сокращением времени обработки полутоп и мяса в цехах первичной переработки окота, цехах обработки субпродуктов и полуфабрикатов, уменьшению длительности транспортных операций, а также организацией обслуживания и разгрузки аппарата в течение транспортных операций с продуктом на конвейере.

Наиболее эффективным является способ организации работы производства и работы аппарата ($K_{эф} = 0,9...0,94$) со сдвигом перерывов в течение смен у части работающих и выгрузки аппарата в начале первой смены следующего дня в период обработки и транспортировки мяса на конвейере. При обычных режимах работы предприятий потребная производительность аппарата должна быть на 30...33% выше производительности продуктов в цехах мясокомбинатов.

Основные выводы

1. Наиболее эффективными для применения в скороморозильных аппаратах с воздушной охлаждающей средой являются методы, интенсифицирующие одновременно наружный и внутренний теплообмен продукта (мяса,

субпродуктов и др.).

2. Вибрационное воздействие на продукт с частотами 0...50 Гц и амплитудами $(0,5...3,5) \cdot 10^{-3}$ м в процессе его замораживания интенсифицирует процессы теплообмена на всех этапах от предохлаждения до завершения замораживания и снижает длительность холодильной обработки на 25...45%, за счет этого производительность скороморозильных аппаратов возрастает на 30...50%.

3. Воздействие на блоки мяса в процессе их замораживания вибрирующей со скоростями $(12...120) \cdot 10^{-3}$ м/с в потоке холодного воздуха ($v_g = 1,7...5,0$ м/с) способствует увеличению коэффициента теплопроводности замораживающей зоны на 18...67%.

4. Оптимальные скорости движения воздуха в аппаратах виброконвейерного типа для температур охлаждающей среды $-30...-35^\circ\text{C}$ находятся в интервале 2,7...3,5 м/с при изменении скорости вибрации от $12 \cdot 10^{-3}$ м/с до $120 \cdot 10^{-3}$ м/с.

5. Равномерное распределение тепловой нагрузки по поверхности приборов охлаждения скороморозильных аппаратов наиболее эффективно достигается способом загрузки и перемещения грузовых ячеек с продуктом в объеме грузового отсека.

6. Снижение времени полезной работы скороморозильных аппаратов за счет перерывов в течение смен и времени обработки мяса на конвейерной линии цеха первичной переработки скота (ЦПЭС) приводит к необходимости увеличивать потребную производительность аппаратов на 30...33% по сравнению с производительностью ЦПЭС по определенному виду мясопродуктов.

7. Перспективным направлением в проектировании средств интенсивного замораживания непрерывного действия является создание модульных скороморозильных аппаратов, отличающихся универсальностью по отношению к продуктам с различным временем замораживания с использованием нетрадиционных методов интенсификации теплообмена.

Публикации по материалу, изложенному в диссертации:

1. Чумак И.Г., Яценко А.П., Мангер Х. Влияние быстрого охлаждения и замораживания на качество мяса. -М., ЦНИИТЭИмсомолпром, 1980, 23 с.
2. Захаров Р.С., Молосенко Е.Н., Мангер Х., Яценко А.П. Повышение эффективности технологической обработки мяса за счет применения электрофизических методов воздействия в послеубойный период. Материалы XXVI Европейского конгресса работников мясной промышленности (США), 1980, Н-8, с.11-14.

3. Яценко А.П., Чумак И.Г., Гордиенко А.В. Интенсификация теплообмена в скороморозильных аппаратах. В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Использование достижений холодильной техники и технологии в целях повышения эффективности пищевых производств", -М., 1981, с.43-44.
4. Чумак И.Г., Яценко А.П., Онищенко В.П. Интенсификация процесса замораживания мяса и мясопродуктов в скороморозильных аппаратах. -М., ЦНИИТЭИмсомолпром, 1982, 16 с.
5. Яценко А.П., Гордиенко А.В. Повышение эффективности работы скороморозильных аппаратов поточного типа для обработки мясопродуктов. В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Пути увеличения выпуска и сохранения качества пищевых продуктов; Внедрение безотходных и малоотходных технологий на основе использования искусственного холода", -М., 1984, с.41.

Условные обозначения

A - обозначение в формуле (1), Дж.к²; Tt - температура, К, °С;
 x - координата, м; ξ - толщина замороженной зоны, м; R - полутолщина продукта, м; l - длина, м; a - амплитуда колебаний, м;
 λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м.К); C - удельная теплоемкость, Дж/(кг.К); Γ - удельная теплота кристаллизации, Дж/кг;
 d - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м.К); q - тепловой поток, Вт/м²; J - скорость зародышеобразования, шт/с; v - скорость, м/с; f - частота, Гц; Nu - критерий Нуссельта; Re - критерий Рейнольдса; φ - потенциал, В; PG - производительность, кг/с; τ - время, с; W - влажность продукта; ω - доля замороженной воды, в долях единицы; k - постоянная Больцмана; Дж/К; D, k, n, Λ - коэффициенты.

И н д е к с ы:

v - воздух; z - зарождение, замораживание; $кр$ - криоскопическая; $н, о$ - начальное; $оти$ - относительное; $п$ - поверхность; $пр$ - приведенный; $п.з.$ - полное замораживание; $п.охл.$ - предварительное охлаждение; $с$ - среда; $ф.п.$ - фазовый переход; ЦПЭС - цех первичной переработки скота; $эф$ - эффективный; I - замороженный продукт; 2 - незамерзший продукт; l - длина; max - максимальный; x - координата; f - частота.

Александр

