

Авторефер
0-79

И

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

ОСЫМАЧКО Сергей Павлович

БАРОКАМЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ
И ЗАМОРАЖИВАНИЕ МЯСА

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса – 1990

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики.

Научный руководитель – доктор технических наук,
доцент КРАСНОМОВЕЦ П.Г.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,
профессор БОЙКО А.М.
– кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
СТАРЧЕВСКИЙ И.П.

Ведущая организация – НИО "Агрохолодпром", г. Москва

Защита диссертации состоится "28" ДЕКАБРА 1990 г.
в 13 часов на заседании специализированного Совета К.068.27.01
при Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики по
адресу: 270057, г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОИНТЭ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИНТЭ.

Автореферат разослан "23" НОЯБРА 1990 г.

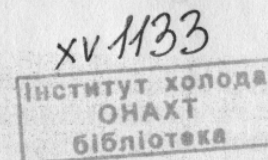
Ученый секретарь
специализированного Совета,
К.Т.Н., доцент

Р.К.Никулыгин

20-03-1213

Змн.	Арк.	№ до

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



Актуальность работы. Создание ресурсосберегающих технологий на предприятиях мясной промышленности, обеспечивающих минимальные потери и максимально возможное сохранение качества обрабатываемого продукта является важным вопросом. Особое место здесь занимает задача уменьшения потерь от усушки при холодильной обработке мясных продуктов, широко применяемой технологии длительного консервирования. Ее решение неразрывно связано с разработкой и внедрением в промышленность интенсивных способов охлаждения и замораживания мясной продукции.

Целью работы является разработка и исследование метода холодильной обработки мяса в полутушах и четвертинах в среде скатого воздуха, позволяющего снизить потери от усушки и уменьшить время холодильной обработки.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- теоретически исследовать процесс охлаждения мяса в среде скатого воздуха;
- усовершенствовать метод определения усушки при замораживании мяса в полутушах;
- экспериментально исследовать процесс охлаждения и замораживания мяса в полутушах и четвертинах в среде скатого воздуха;
- разработать конструкции промышленных аппаратов для холодильной обработки мяса и мясopодyктов в среде скатого воздуха.

Научная новизна. Вскрыты особенности влияния массовой скорости pv на тепло- и массообмен при охлаждении неупакованной мясной продукции в среде скатого воздуха.

Доказаны предельные возможности уменьшения усушки при замораживании мяса в полутушах в рекомендуемом диапазоне скоростей, температур и давлений охлаждающего воздуха.

Установлено интенсифицирующее воздействие повышенного давления охлаждающего воздуха на процесс замораживания мяса в полутушах и четвертинах.

Научные положения, защищаемые в диссертационной работе:

I. Холодильная обработка мяса в полутушах и четвертинах в среде скатого воздуха до 0,6-0,7 МПа при скорости его движения 1,0-1,2 м/с и технологически рекомендуемых температурах охлаждающей среды позволяет уменьшить время охлаждения до 10-12 часов, время замораживания – до 9-12 часов при существенном сокращении

потерь от усушки.

2. При замораживании мяса в полутушах до среднеанталпийной температуры хранения минус 18 °С повышение давления охлаждающей среды от 0,1 до 0,7 МПа позволяет повысить на 8-10 градусов относительно рекомендуемых значений температуру охлаждающего воздуха без увеличения продолжительности замораживания.

Научные результаты, их практическая ценность.

Разработан метод расчета усушки при замораживании мяса в полутушах, позволяющий прогнозировать эффективность реконструируемых и проектируемых систем охлаждения традиционных камер однофазного замораживания холодильников мясокомбинатов и бароморозильных аппаратов, а также проводить их оптимизацию.

На основании экспериментальных исследований получены зависимости, позволяющие производить расчет продолжительности охлаждения и замораживания мяса в полутушах и четвертинах в условиях избыточного давления охлаждающего воздуха.

При применении исследуемого метода холодильной обработки мяса в полутушах и четвертинах в несколько раз уменьшаются потери от усушки, существенно сокращается время холодильной обработки, а при замораживании в 1,5-2 раза могут быть снижены удельные энергозатраты.

Для изготовления автоклавов привлечены наиболее развитые в техническом оснащении отрасли народного хозяйства страны.

Использование бароморозильных аппаратов в виде блоков по 5-10 штук решает ряд технологических и конструктивных задач.

Основные результаты работы проверены в промышленных условиях на Уштинском и Лениногорском мясокомбинатах.

Работа по внедрению барозамораживания в промышленность ведется на основании поручений Совета Министров СССР от 30.11.86 г. (ПН-20125). Решением Агропромышленного комитета Казахской ССР на Бескольском мясокомбинате внедряется блок бароморозильных аппаратов производительностью 30 тонн в сутки.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на Всесоюзных конференциях "Развитие производства биологически полноценных пищевых продуктов на основе комплексного использования сырья и снижения его потерь" (Москва, 1982 г.), "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания" (Москва, 1984 г.), "О повышении роли молодых ученых и специалистов в ускорении НТП в мясной и молочной промышленности" (Москва, 1985 г.), "Искусственный

холод в отраслях агропромышленного комплекса" (Китинев, 1987 г.), "Пути интенсификации технологических процессов и оборудования в отраслях промышленного комплекса" (Москва, 1988 г.), "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговли и на транспорте" (Одесса, 1989 г.), на Республиканской научно-технической конференции (Киев, 1989 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, из которых 2 - авторские свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Содержит 107 страниц основного текста, 48 рисунков на 40 страницах, 2 таблицы. Библиография включает 207 наименований, из которых 65 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования. Отмечены прогрессивные способы холодильной обработки мяса в тушах, полутушах и четвертинах в среде воздуха, сформулированы защищаемые в работе научные положения.

В первой главе диссертации проанализированы опубликованные в литературе и используемые в производственных условиях способы охлаждения и замораживания мяса, а также влияние интенсивности теплообмена на качественные показатели мяса.

На холодильниках мясоперерабатывающих предприятий нашей страны наиболее широко обработка мяса холодом осуществляется в виде туш, полутуш и четвертин, а также в скороморозильных аппаратах с предварительной разделкой и упаковкой мяса в виде блоков.

Применяемые в настоящее время способы холодильной обработки и технические средства не в полной мере отвечают возрастающим требованиям к качеству выпускаемой продукции.

Одним из эффективных методов холодильной обработки неупакованного мяса может быть использование сжатого воздуха.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований влияния массовой скорости w на тепло- и массообмен при охлаждении неупакованной пластины мяса в среде сжатого воздуха и результаты исследований некоторых особенностей испарения влаги с поверхности полутуш при замораживании в зависимости от скорости движения воздуха, температуры и давления.

Исследуется процесс охлаждения неограниченной пласти-

ны при граничных условиях III рода. Принимается, что перенос тепла от поверхности пластины осуществляется конвекцией и за счет испарения:

$$d = d_k + zj / (T_w - T_f) \quad (1)$$

Теплофизические свойства мяса принимаются постоянными, пренебрегается миграцией воды в продукте и диффузией растворенных в ней веществ, мясо рассматривается как сплошная среда. Процесс охлаждения мяса осуществляется от начальной температуры T_0 до заданной конечной температуры T_k в центре пластины.

Составляющая теплового потока, связанная с испарением влаги из продукта, определяется на основе уравнения Дальтона, в которое вводятся поправочные коэффициенты, учитывающие отличие парциального давления P_w водяного пара у поверхности пластины от его упругости P_w'' при тех же условиях. В соответствии с этим для расчета плотности потока массы водяного пара от поверхности пластины используется соотношение

$$j = B_p (\alpha P_w'' - \varphi P_f'') \quad (2)$$

Предполагается существование аналогии между механизмами переноса тепла и массы, и для расчета коэффициента массоотдачи используется известное соотношение Льюиса.

Математическая постановка задачи включает уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial \theta(x, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \theta(x, F_0)}{\partial x^2}, \quad (x, F_0) \in D = \{0 < x < 1, F_0 > 0\}; \quad (3)$$

$$\text{начальное условие} \quad \theta(x, 0) = 1, \quad 0 \leq x \leq 1; \quad (4)$$

$$\text{условие симметрии} \quad \partial \theta(0, F_0) / \partial x = 0, \quad F_0 > 0; \quad (5)$$

граничное условие на поверхности пластины

$$\frac{\partial \theta(1, F_0)}{\partial x} = -Bi \theta(1, F_0) - Bi z \frac{P_w'' - \varphi P_f''}{T_0 - T_f}, \quad F_0 > 0. \quad (6)$$

$$\text{Здесь:} \quad \theta = \frac{(T - T_f)}{(T_0 - T_f)}, \quad X = \frac{x}{R}, \quad F_0 = \frac{a \tau}{R^2}, \quad \alpha = \frac{P_w}{P_w''},$$

$$z = \frac{\mu_n z \alpha}{\mu_f c_f P_f}, \quad Bi = \frac{d_k R}{\lambda_m}, \quad \varphi = \frac{\varphi}{\alpha}.$$

Задача выполнена численно, методом сеток, используется чисто

неявная консервативная разностная схема. Решение выполнено методом прогонки в сочетании с методом Ньютона.

На основе разработанного алгоритма численного решения задачи составлена программа и проведены расчеты на ЭВМ ЕС-1035 в диапазоне величин: $Bi = 0,1-15,0$; $P_f = 0,1-1,0$ МПа; $\alpha = 1,0$; $\varphi = 1,0$; $T_f = 268-276$ К.

Выполненные расчеты (рис. 1) показывают существенную роль испарения в общем теплообмене продукта с охлаждающим воздухом.

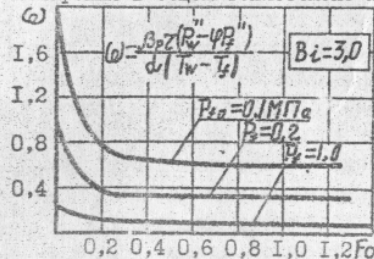


Рис. 1. Роль испарения в процессе внешнего теплообмена пластины с охлаждающим воздухом.

В начале процесса влажный тепловой поток играет даже большую роль, чем сухой. В дальнейшем, по мере охлаждения, плотность теплового потока снижается, но все же отношение влажного теплового потока к сухому (ω) остается достаточно большим. Из рисунка видно, что использование избыточного давления охлаждающего воздуха позволяет снизить роль испарения в процессе внешнего теплообмена продукта с охлаждающим воздухом (кривая при $P_f = 1,0$ МПа) и свести к минимуму потери массы продукта от усушки.

Результаты расчетов показывают, что характер влияния давления воздуха на интенсивность холодильной обработки продуктов неоднозначен. При повышении давления воздуха увеличивается коэффициент теплоотдачи и это ведет к уменьшению времени охлаждения F_0 , но зато снижается и испарение влаги с поверхности продукта, а это ведет к увеличению числа F_0 при условии, что с повышением давления воздуха число Bi остается постоянным, то есть $Pr = const$. Совместный учет этих факторов показывает, что повышение давления воздуха при $Pr = const$ позволяет одновременно достичь снижения и времени охлаждения F_0 и усушки.

В результате проведенных замеров полутуш выделены три группы размеров, определяющие характер понижения температуры. Это бедренная и лопаточная части, и реберная, причем средние толщины последней в 8-10 раз меньше лопаточной и бедренной при значительном расстоянии между ними.

Моделирование процессов холодильной обработки мяса в полутушах на основе пластины или цилиндра с введением известных коэффициентов формы оправдано только для определения продолжитель-

ности процесса. Предложено реальную полутушу заменить упрощенной моделью, состоящей из трех тел простой геометрической формы, имитирующих выделенные три группы размеров. Бедро заменено шаром диаметром 0,42 м, реберная часть - пластиной, толщиной 0,035 м, лопатка - шаром, диаметром 0,32 м (А) или пластиной, толщиной 0,16 м (Б). При этом параметры тел модели, заменяющей элементы полутуши, позволяют сохранить характер изменения усушки от скорости движения и температуры воздуха, время замораживания общую массу и соотношение их масс и поверхностей полутуши массой 100 кг.

Расчет усушки выполняли по элементам для шара и пластины отдельно и поэтапно. Используя известные решения уравнения теплопроводности с начальными и граничными условиями III рода, определяли распределение температуры в теле и продолжительность этапов. Зная температуру поверхности тел, площадь поверхности, время, по уравнению Дальтона определяли количество испарившейся влаги. В процессе расчета принимали, что замораживание всех составных тел модели прекращается в момент достижения в центре бедра температуры минус 8 °С. За результирующую усушку принимали суммарную по этапам и по элементам тел. Корректировку результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными многих исследователей проводили с помощью одного и того же коэффициента ξ , равного 0,38 (А) и 0,4 (Б). Полученные данные подтверждают сложность процесса испарения влаги с поверхности тела неправильной геометрической формы. Суммарная усушка полутуши зависит от условий тепло- и массообмена на разных ее участках.

Системы воздухораспределения для холодильных камер систематизированы по характеру движения воздуха около разных частей полутуши. Удалось выделить четыре группы камер:

- камеры с естественной конвекцией; камеры, в которых распределение воздуха происходит при дутье за счет различного рода насадок и щелей; морозилки с поперечным обдувом полутуш; морозилки, в которых скорость воздуха у толстых частей устанавливается максимальная, а у реберной - минимальная, близкая к условиям естественной конвекции.

Аналогично определяли усушку замораживаемого мяса в полутушах при различных температурах и давлениях (рис. 2). Установлено, что при том же корректирующем коэффициенте $\xi = 0,38$ для модели А результаты теоретических исследований хорошо согласуются с экспериментальными данными многих исследователей. Подтвержден тот факт, что понижение температуры воздуха положи-

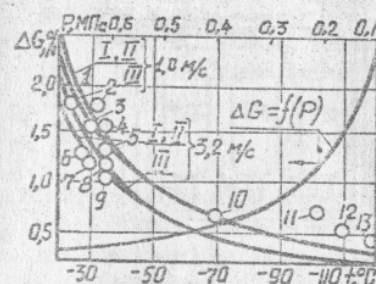


Рис. 2. Усушка при разных схемах воздухораспределения.

Опытные данные авторов: Мартыновский В.С. - 1, II, 12, 13; Низов С.И. - 10; Файнзильберг В.Я. - 6; Чулкин С.Г. - 7; Шеффер А.П. - 2, 3, 4, 8; Аспер В. - 5, 9.

В качестве объекта исследования было использовано парное мясо говядины в четвертинах (задние) I и II категории массой 28-50 кг с толщиной бедра 0,16-0,25 м и мясо сви-
нины в полутушах II и III категории массой 27-73 кг с толщиной бедра 0,14-0,2 м. Охлаждение и замораживание мяса осуществляли в среде скатого воздуха в интервале давлений 0,1-0,74 МПа, скорости 1,0-2,7 м/с и температуре воздуха минус 4-0 °С и минус 35-20 °С.

Экспериментальная установка (рис. 3) состоит из скороморо-зильного аппарата I, насосно-циркуляционного контура II, системы подготовки воздуха III и измерительного комплекса IV. Аппарат представляет собой автоклав тупикового типа с загрузочным люком, выполненным в виде байонетного затвора. Длина цилиндрической части автоклава 4,0 м, внутренний диаметр 1,0 м. В состав аппарата входил пластинчато-ребристый воздухоохладитель, площадь поверхности которого 80 м², шаг ребер 10 мм с вентилятором марки МЦ4.

В состав измерительного комплекса входили: термпарные датчики из медь-константана, три милливольтметра Н-399, ампервольтметр Ф-30, потенциометр КСП-4, крыльчатый анемометр АСО-3, измерительный комплект К-505, весы шкальные почтовые типа Р16-5СШ13П-I и циферблатные цифровые типа 7004 РП-1ПД24, гигрографы, секундомер.

Испытания проводились в следующей последовательности. После включения в работу воздухоохладителя и установления необходимого температурного режима исследуемый объект взвешивали, обмеряли и размещали на грузовой тележке в горизонтальном положении продольно относительно потока воздуха. Термпары вводились в тело с помощью направляющей планки с шагом 20 мм. Анемометр устанавливали непосредственно у поверхности наиболее толстой части бедра. Затем

тально, причем однозначно, сказывается на уменьшении результирующей усушки. Можно заключить (рис. 2), что использование избыточного давления воздуха при замораживании может оказаться более эффективным, чем понижение его температуры.

В третьей главе представлены описание экспериментальной установки, методика проведения испытаний и методы измерения опытных величин.

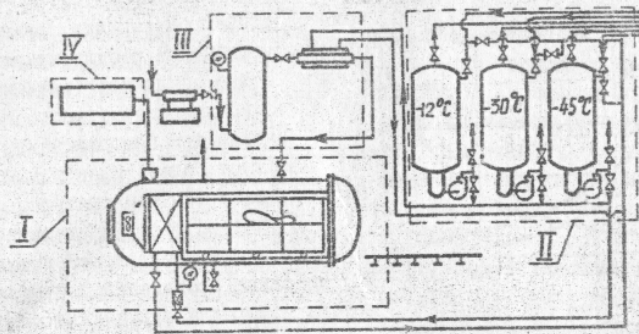


Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

тележка закатывалась в грузовой отсек, закрывался загрузочный люк и подачей сжатого воздуха устанавливали необходимое давление. После этого включали вентилятор. Регистрация измерений проводилась с интервалом времени 20 мин. Охлаждение завершалось по достижении в термическом центре бедра температуры 4°C при условии, что температура поверхности объекта была не ниже криоскопической. Замораживание завершали по достижении температуры в термическом центре бедра минус $8-10^{\circ}\text{C}$. По окончании процесса исследуемый объект освобождался от измерительных датчиков, взвешивался и обмерялся.

При обработке экспериментальных данных для определения коэффициента теплоотдачи использовали закономерности теории регулярного теплового режима.

В четвертой главе приведены анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований, возможные варианты промышленных аппаратов и устройств для холодильной обработки мяса в полутушах и четвертинах и описание морозильного блока для Бескольского мясокомбината производительностью 30 тонн в сутки, его технико-экономические показатели.

В результате исследований установлено, что при поддержании температуры и скорости движения воздуха постоянными темп охлаждения мяса с увеличением давления воздуха до $0,7\text{ МПа}$ в $1,5-1,7$ раза выше по сравнению с атмосферным давлением. Толщина тела оказывает существенное влияние на темп охлаждения, а следовательно и на время. Для того, чтобы снизить потери от усушки, увеличить производительность оборудования, необходимо производить разделку полутуш,

как минимум, на три группы размеров - бедренную, лопаточную и реберную части.

Опытные данные по теплообмену обрабатывали в числах подобия (рис. 4). Для задних четвертин говядины и полутуш свинины при числе $Re = (0,13-1,7) \cdot 10^5$

$$Nu = 0,11 Re^{0,71} \quad (7)$$

В качестве определяющего размера принималась толщина наиболее толстой части бедра, а за определяющую температуру принята средняя температура воздуха в грузовом отсеке аппарата.

Были получены выражения для определения продолжительности охлаждения говяжьих четвертин: $Fo = 0,48 Bi^{-0,29} \theta^{-0,476}$ для значений чисел $Bi = 2,2-16$, $\theta = 0,05-0,2$ и полутуш свинины при $Bi = 2,6-15$ и $\theta = 0,055-0,16$ $Fo = 0,462 Bi^{-0,377} \theta^{-0,505}$.

Исследования проводились при различных сочетаниях температуры, скорости и давления воздуха. При этом остановились на скорости движения воздуха 1 м/с , температуре не ниже минус 2°C и давлении до $0,7\text{ МПа}$, так как совместное воздействие скорости, давления и более низкой температуры приводит к подмораживанию поверхности мяса и, тем самым, к нарушению требований технологической инструкции.

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований по усушке говядины и свинины в среде сжатого воздуха.

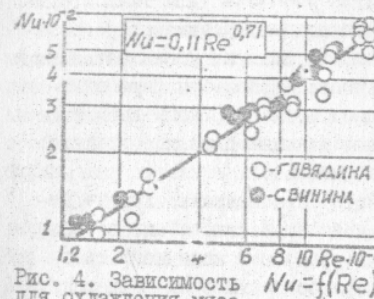


Рис. 4. Зависимость $Nu = f(Re)$ для охлаждения мяса.

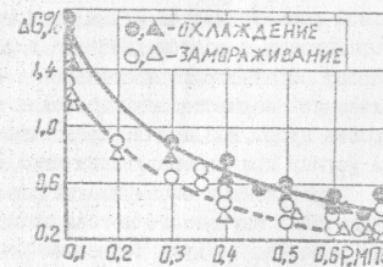


Рис. 5. Влияние давления на усушку мяса: $\circ$ - говядина, Δ - свинина.

Эффективность исследуемого способа холодильной обработки мяса в полутушах и четвертинах в среде сжатого воздуха проявляется еще более отчетливо при замораживании мясной продукции, так как здесь отсутствуют технологические ограничения по темпе-

ратуре охлаждающего воздуха.

Использование сжатого воздуха позволяет уменьшить время замораживания в 2-3 раза по сравнению с замораживанием при атмосферном давлении. Так при замораживании говядины с толщиной бедра 0,19-0,24 м при температуре воздуха минус 25-30 °С до конечной температуры в центре бедра минус 8-10 °С продолжительность процесса составляет 8-12 часов. В результате незначительных потерь от усушки оттайку воздухоохладителей можно проводить после 10-15 циклов. В этом случае повышается эффективность использования морозильного оборудования за счет увеличения его пропускной способности.

Результаты, представленные на рис. 6, косвенно, через коэффициент теплоотдачи, характеризуют влияние давления воздуха и его температуры на эффективную скорость замораживания. При этом необходимо отметить, что с понижением температуры воздуха роль повышенного давления, как интенсифицирующего фактора, возрастает, а совместное применение этих факторов в рациональном соотношении позволяет активно воздействовать на интенсивность процесса.

Обработка опытных данных, методом наименьших квадратов, позволила получить зависимости для определения продолжительности замораживания:

- четвертин говядины $F_0 = 0,75(1/Bi + 0,5)$;
 - полутуш свинины $F_0 = 0,84(1/Bi + 0,5)$;
 где $F_0 = \lambda_m \tau (t_{kr} - t_i) / (LWPR^2)$, $Bi = d_c R / \lambda_m$.

П.Г.Красномовцем доказано, что при $p\nu = const$ для тела правильной геометрической формы, например, пластины, усушка при его замораживании с ростом давления охлаждающего воздуха уменьшается по закону обратнопропорциональной зависимости. Используя термодинамическую теорию тепловлажностных процессов, к подобному выводу пришел проф. В.З.Мадан. Представление о влиянии давления воздуха на усушку при замораживании мяса дает рис. 5.

Проведенные эксперименты позволяют также выявить другие достоинства изучаемого метода холодильной обработки. Так, повышение давления воздуха позволяет достичь требуемой конечной среднесуточной температуры продукта при более высокой температуре охлаждающей среды в сравнении с обычными условиями (рис. 7). Представляется возможным прекратить процесс замораживания при достижении в термическом центре температуры более высокой, чем это требуется по действующей технологической инструкции, в противном случае среднесуточная температура продукта будет значительно

ниже последующей температуры хранения. Или использовать более высокую температуру кипения холодильного агента, при этом время замораживания в сравнении с обычными условиями не увеличивается.

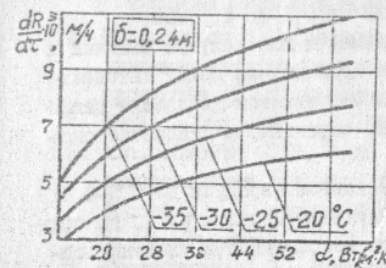


Рис. 6. Влияние d и t_f на эффективную скорость замораживания.

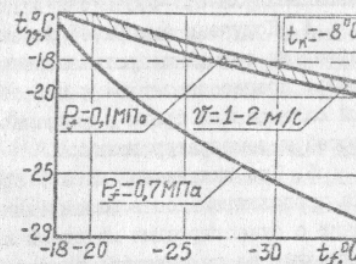


Рис. 7. Влияние давления воздуха на t_{kr} четвертин.

На Бескольском мясокомбинате монтируется блок, состоящий из четырех бароморозильных аппаратов. Морозильные аппараты состоят из автоклавов тупикового типа (диаметр 2 м, длина грузового отсека 6 м) и воздухоохладителя, площадь поверхности 350 м², специальной конструкции. Грузовые процессы механизированы, открытие и закрытие люка осуществляется гидравлическими приводами. Универсальность аппарата обеспечивается заменой грузовых контейнеров. Рабочее давление в аппарате 0,9 МПа, температура охлаждающей среды минус 30-25 °С.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. При численном решении задачи об охлаждении неограниченной мясной пластины учет составляющей влажного теплового потока позволяет более корректно оценить влияние давления охлаждающего воздуха на интенсивность процессов тепло- и массообмена и установить целесообразность использования повышенного давления воздуха в процессе охлаждения неупакованной мясной продукции.

2. Повышение давления охлаждающего воздуха снижает интенсифицирующее воздействие влажного теплообмена на процесс охлаждения и при $p\nu = idem$ ведет к увеличению продолжительности процесса на 5-20 % в зависимости от числа Био, а при условии $v = idem$ позволяет одновременно достичь снижения как продолжительности охлаждения, так и усушки.

3. Использование упрощенной геометрической модели полутуши позволяет при разработке математической модели процесса замораживания применить известные решения уравнения теплопроводности.

адекватность которой подтверждается экспериментальными данными по усушке отечественных и зарубежных исследователей, проведенных в диапазоне температур от минус 20 до минус 120 °С, скорости движения воздуха 0,5-4,0 м/с и давлении от 0,1 до 1,0 МПа.

4. Получены эмпирические зависимости для полутух свиной и четвертин говяжьей, устанавливающие взаимосвязь между интенсивностью процессов тепло- и массообмена в широком диапазоне давлений охлаждающей среды и экономически оправданном диапазоне скоростей и температур воздуха.

5. При охлаждении мяса в среде сжатого воздуха до 0,5-0,6 МПа продолжительность охлаждения снижается незначительно по сравнению с существующими методами из-за необходимости введения ограничения по температуре воздуха. Она не должна быть ниже минус 2 °С во избежание подмораживания поверхностных слоев мяса. Усушка при этом уменьшается в 2,5-4 раза.

6. Замораживание мяса в полутухах и четвертинах в среде сжатого воздуха при 0,6-0,7 МПа приводит к увеличению эффективной скорости замораживания в 2,5-3 раза, что позволяет характеризовать данный метод замораживания как интенсивный. При этом продолжительность процесса уменьшается в 2-3 раза, усушка в 4-6 раз по сравнению с замораживанием при атмосферном давлении.

7. Повышение давления охлаждающего воздуха при замораживании позволяет достичь требуемой конечной среднетемпературной температуры продукта при более высокой температуре воздуха по сравнению с замораживанием в условиях атмосферного давления, что повышает энергетическую эффективность разработанного метода.

8. При замораживании мяса в среде сжатого воздуха конечная технологически заданная среднетемпературная температура мяса достигается при температуре в термическом центре бедра минус 3-5 °С, что дополнительно уменьшает продолжительность процесса на 2-3 часа.

9. Предложен автоматизированный блок бароморозильных аппаратов (А.с.1090992), позволяющий частично использовать отработанный сжатый воздух и снизить установленную мощность воздушных компрессоров, что повышает энергетическую и экономическую эффективность предложенного метода холодильной обработки мясной продукции. Его рекомендуется использовать при реконструкции действующих и проектировании новых мясоперерабатывающих предприятий.

10. Экономический эффект от внедрения на Бескольском мясокомбинате разработанного блока бароморозильных аппаратов произ-

водительностью 30 тонн в сутки, при стоимости мяса 1,4 рубля за килограмм, составит 25-30 рублей на тонну продукции.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Красномовец П.Г., Коцбинский А.П., Осмачко С.П. Влияние давления воздуха на интенсивность охлаждения и усушку пищевых продуктов // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1982. - Вып. 35. - С.125-130.
2. А.с. 1090992 СССР, № 2551113/80. Холодильная установка для замораживания пищевых продуктов // П.Г.Красномовец, А.П.Коцбинский, Н.И.Островский, С.П.Осмачко. - № 3441592; Заявлено 21.05.82; Опубл. 07.05.84; Бюл. № 17.
3. Красномовец П.Г., Осмачко С.П. Особенности замораживания мяса в полутухах при различных системах воздухораспределения // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1984. - Вып. 38. - С. 65-71.
4. Красномовец П.Г., Кириллов В.И., Осмачко С.П. Охлаждение пластин, ограниченной сферическими поверхностями // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1984. - Вып. 38. - С. 71-75.
5. Красномовец П.Г., Кириллов В.И., Осмачко С.П. Интенсификация процесса замораживания элементов тел поллой сферической формы. // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1984. - Вып. 39. - С. 42-47.
6. Красномовец П.Г., Коцбинский А.П., Осмачко С.П. и др. Новая ресурсосберегающая технология холодильной обработки пищевых продуктов // В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания". - М., 1984. - С. 42.
7. Красномовец П.Г., Осмачко С.П., Коцбинский А.П. и др. Эффективная технология замораживания мясной продукции // В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "О повышении роли молодых ученых и специалистов в ускорении НТИ в мясной и молочной промышленности". - Москва, 25-30 сентяб. 1985 г. - М., 1985. - С.130.
8. Красномовец П.Г., Осмачко С.П. Усушка мясной пластины при замораживании в потоке воздуха // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1986. - Вып. 42. - С. 82-89.
9. Замораживание говяжьих четвертин в среде сжатого воздуха //

xv 1133

ИНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
БИБЛИОТЕКА

- П.Г.Красномовец, С.П.Осымачко, Н.В.Святецкий, Н.И.Островский
// В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической кон-
ференции молодых ученых и специалистов "Пути интенсификации
технологических процессов и оборудования в отраслях промыш-
ленного комплекса". - М., 1988. - С.46.
10. Красномовец П.Г., Святецкий Н.В., Осымачко С.П. Влияние па-
раметров охлаждения на интенсивность процессов тепло- и мас-
сообмена при охлаждении мяса // В кн.: Тезисы докладов респуб-
ликанской научно-технической конференции. - Киев, 1989. -
- С.89.
11. Об энергетической эффективности барозамораживания / П.Г.Крас-
номовец, С.П.Осымачко, С.А.Березовская, А.Г.Бондаренко, В.К.
Финк // В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической
конференции "Пути интенсификации производства с применением
искусственного холода в отраслях агропромышленного комплек-
са, торговле и на транспорте". -Одесса, 24-26 октября 1989 г.-
- Одесса, 1989. - С.51.
12. Эффективность охлаждения мяса в среде сжатого воздуха / П.Г.
Красномовец, С.П.Осымачко, Н.И.Островский, В.К.Финк.// В кн.:
Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции
"Пути интенсификации производства с применением искусствен-
ного холода в отраслях агропромышленного комплекса, торговле
и на транспорте". - Одесса, 24-26 октября 1989 г. - Одесса,
1989. - С.52.

Основные условные обозначения:

T, t - температура, δ - толщина, φ - относительная влажность,
 α - коэффициент теплоотдачи, τ - теплота парообразования, j -
плотность потока массы водяного пара, β - коэффициент массоотда-
чи, F - площадь поверхности, ρ - плотность, L - теплота льдо-
образования, v - скорость воздуха, τ - время, W - влагосодержа-
ние мяса, Nu, Re, Bi, Fo - числа Нуссельта, Рейнольдса, Био, и
Фурье соответственно.

Индекс: f - воздух, o - общий, начальное значение, δ - бед-
ро полутуши, k - конвективный, конечное значение, w - поверхность,
 p - водяной пар, v - объем, m - мясо, s - сухой, kr - криоско-
пическая.

Одес
г.Одесса, ротاپринт СИМТЭ. Подписано к печати 22.II.90.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100. Заказ 1863-90.