

ИССЛЕДОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ И ЗАМОРАЖИВАНИЯ МЯСА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

ЧУМАК И.Г., КРАСНОМОВЕЦ П.Г., КОЦЮБИНСКИЙ А.П., БАБИЧ А.К.

Одесский технологический институт холодильной промышленности, г.Одесса, СССР.

Проблема уменьшения потерь при холодильной обработке продуктов различного происхождения неразрывно связана с совершенствованием технологии обработки, ее интенсификацией и оптимизацией. Мясные ресурсы можно увеличить не только путем развития продуктивности животноводства, но и за счет внедрения в промышленность интенсифицированных процессов холодильной обработки мяса и осуществлению мероприятий по снижению естественной убыли.

Известно, что при охлаждении мяса и мясopодуKтов тепло отводится за счет конвекции и испарения: $Q = Q_k + Q_u$ (I). Если представить процессы изменения параметров влажного воздуха в I-d диаграмме, то мгновенные значения их тепловлажностных характеристик дуча процесса будут выше при избыточном давлении по сравнению со значениями при нормальном давлении, то есть доля конвективного теплообмена при охлаждении мяса под давлением, превышающим атмосферное, увеличивается. Масса влаги, испарившейся из продукта во время охлаждения определяется выражением $G \delta = Q_u / L_u$, (2), где L_u - удельная теплота испарения. Относительная усушка продукта в процессе охлаждения находится из зависимости $\delta = Q / [G L_u (1 + Q_k / Q_u)]$, (3), где G - масса продукта; с повышением давления величина Q_k / Q_u возрастает, увеличивается так же и величина L_u . Последнее объясняется тем, что с созданием избыточного давления над поверхностью продукта увеличивается энергия выхода молекул воды с поверхности испарения в свободный объем, то есть для испарения единицы массы влаги необходимо затратить больше тепла. Таким образом, согласно формуле (3) с увеличением давления относительная усушка продукта уменьшается.

Анализ I-d диаграммы показывает, что для каждой кривой относительной влажности воздуха $\varphi = const$, построенной для нормального давления P_0 , можно подобрать давление P_1 , при котором эта кривая станет линией насыщения $\varphi_1 = I$. При этом сохраняется соотношение $\varphi / P_0 = \varphi_1 / P_1 = 1 / P_1$, (4). Из соотношения (4) при условии, что $\varphi = P / P_H = P_H / P_H$, (5), следует $P_H = P_0 P_1 / P$, (6). Здесь P - парциальное давление паров влаги в воздухе при давлении P_0 ; P_H , P_H - парциальные давления насыщения при давлении P_0 и P_1 соответственно. Усушка пищевого продукта, имеющего поверхность массообмена F , за время охлаждения τ_k определяется выражением $W = F \beta \int_{\tau_0}^{\tau_k} [P_H(\tau) - P_1(\tau)] d\tau$, (7), где β - коэффициент массоотдачи, P_1 - парциальное давление паров влаги в воздухе при давлении P_1 . Из уравнений (6), (7) при условии, что относительные влажности воздуха в холодильной камере близки при любом давлении газа, вытекает зависимость для расчета усушки продукта, подвергающегося термической обработке в газовой среде с давлением P_1 , отличным от атмосферного: $W = (F \beta P_0 / P_1) \int_{\tau_0}^{\tau_k} [P_H(\tau) - P(\tau)] d\tau$, (8). Анализ этой зависимости показывает, что при одинаковых условиях тепло- и влагообмена, а также времени термической обработки, усушка продукта уменьшается обратно пропорционально давлению газовой среды.

Эксперименты по скорости охлаждения свежих куринных тушек при различных давлениях охлаждающего воздуха проводились на лабораторной установке. В опытах поддерживались неизменными: начальная температура продукта $T_1 = 305$ К, температура и скорость охлаждающего воздуха $T_0 = 253-243$ К, $u_0 = 1-4$ м/с. Давление воздуха изменялось в пределах от 0,1 до 0,6 МПа. Характер температурных кривых, представленных на рисунке 1, свидетельствует о наличии стадии регулярного режима (прямолинейные участки кривых), для которых имеет место зависимость: $(1/\tau) \frac{dT}{d\tau} = -m$; $\tau = -(1/m) \ln(T/\tau_0)$, (9), где $\tau = t - t_0$ - избыточная температура; t - температура в некоторой точке продукта; m - темп охлаждения; $\tau_0 = t_1 - t_0$. Результаты обработки прямолинейных участков температурных кривых методом наименьших квадратов на основе формул (9) представлены на рисунке 2.

Существенное увеличение с ростом давления воздуха величины темпа охлаждения качественно объясняется следующим образом. Условие теплового баланса продукта с учетом, что $c_p V \frac{\partial T}{\partial \tau} d\tau = \lambda (\frac{\partial T}{\partial y})_F F d\tau$, (10), где c, ρ - теплоемкость и плотность продукта, τ - средняя по объему избыточная температура; V, F - объем и площадь поверхности продукта; λ - коэффициент теплопроводности воздуха; $(\frac{\partial T}{\partial y})_F$ - средний по поверхности теплообмена градиент избыточной температуры газа. Ниже процесс теплообмена рассматривается в приближении, когда величина $(\frac{\partial T}{\partial y})_F$ постоянна по всей поверхности, а число Прандтля $Pr = I$. В этом случае использование аналогии Рейнольдса для турбулентного переноса тепла и импульса позволяет записать $\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\sigma}{\delta}$, (11), где σ - средняя избыточная температура по поверхности продукта; δ - толщина динамического вязкостного подслоя. Из зависимостей (9-11) вытекает соотношение $\tau_F / \tau_0 = m = (\lambda \sigma F) / (\delta \sigma c_p V)$ (12), из которого можно заключить, полагая приближенно $\tau_F / \tau_0 = const$, что $m \propto \delta^{-1}$ (так как $F / c_p V = const$, а величина λ не зависит от давления). Толщина вязкого подслоя может быть рассчитана по зависимости $\delta = 2\mu / (Re \rho u_0)$ (13), где $C_f = Re^{-n} = (\rho u_0 \ell / \mu)^{-n}$; ℓ - характерный размер обтекаемого тела; μ - динамическая вязкость. Таким образом, зависимость толщины вязкого подслоя от давления воздуха при $u_0 = idem$ может быть представлена выражением $\delta / \delta_0 = (\rho_0 / \rho)^{1-n} = (P_0 / P)^{1-n}$ (14), так как величина μ так же не зависит от давления. Из соотношения (14) видно, что толщина вязкого подслоя с ростом давления уменьшается пропорционально $(P_0 / P)^{1-n}$.

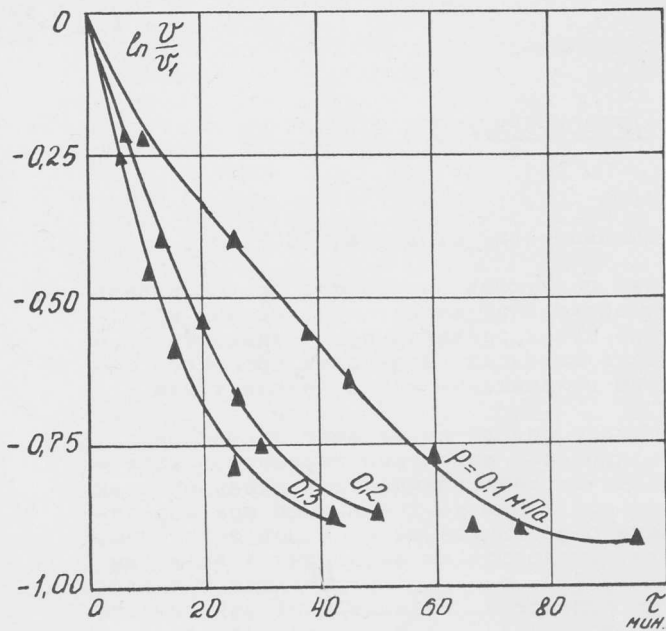


Рис. 1. Зависимость $\ln(v/v_i) = f(\tau)$ для различных давлений.

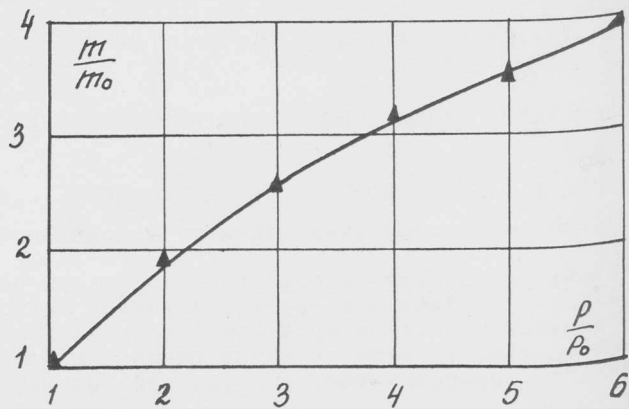


Рис. 2. Влияние давления на относительное изменение тепла охлаждения.

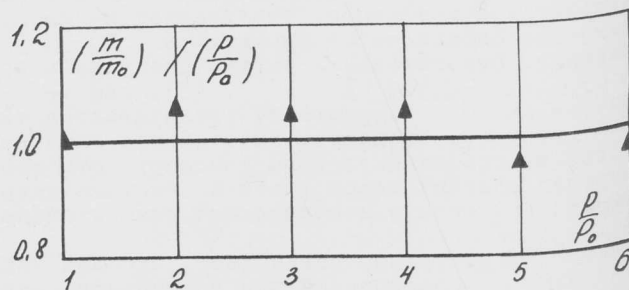


Рис. 3. Обобщение опытных данных.

При турбулентном обтекании пластины $n = 0,2$, тогда $\delta/\delta_0 = (P_0/P)^{0,2}$, (I5) и, значит, $m/m_0 = (P/P_0)^{0,2}$, (I6).

Опытные данные, представленные на рисунке 3, подтверждают справедливость приведенного анализа.

Уменьшение потерь при охлаждении пищевых продуктов под избыточным давлением воздуха объясняется возрастанием доли конвективного теплообмена, уменьшением разности парциальных давлений водяных паров в пограничном слое у поверхности продукта и в объеме воздуха и увеличением темпа охлаждения. Последнее вытекает из того, что при создании избыточного давления увеличивается коэффициент теплоотдачи за счет снижения толщины вязкостного подслоя у поверхности продукта.

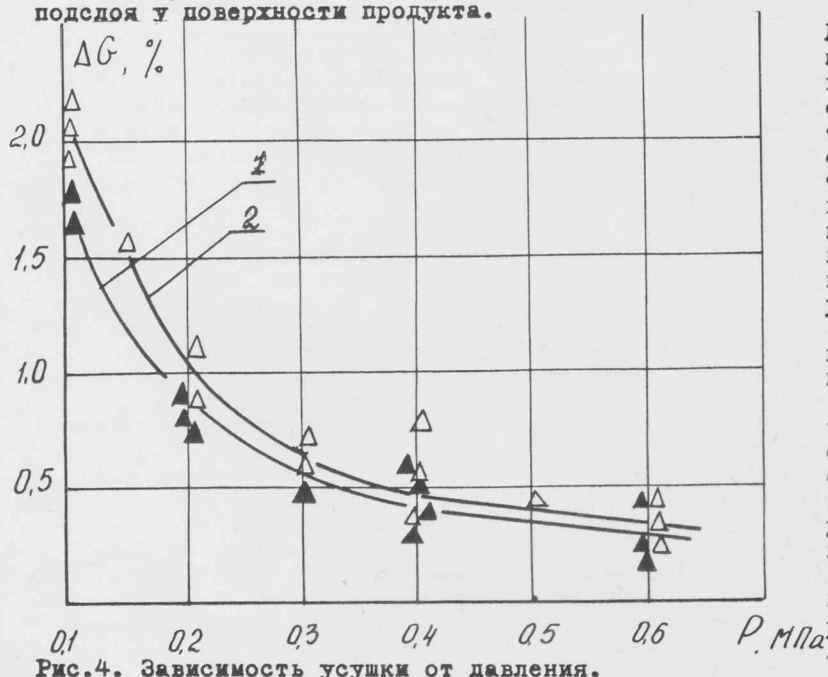


Рис. 4. Зависимость усушки от давления.

Исследованиями установлено, что при интенсивном охлаждении и замораживании мяса под избыточным давлением охлаждающего потока воздуха при постоянной его скорости и температуре сокращаются массовые потери и время термической обработки. Результаты исследований представлены на рисунке 4. Кривая 1 характеризует изменение усушки при охлаждении говядины при различных давлениях, температуре и скорости движения воздуха $t_i = 255 \text{ K}$, $U_i = 4 \text{ м/с}$ соответственно. Кривая 2 — то же при замораживании мяса кур I-ой категории при $t_i = 253 \text{ K}$, $U_i = 1,5 \text{ м/с}$. Гистологические исследования показали, что с применением повышенного давления охлаждающего воздуха при замораживании, наблюдается значительное уплотнение мышечной ткани, центры кристаллизации появляются внутри мышечных волокон, при этом мельчайшие кристаллы льда располагаются равномерно по всему мышечному волокну. В процессе замораживания

поверхностный слой обезвоживается незначительно, вследствие уплотнения волокон, препятствующих испарению воды из продукта. Соединительная ткань почти не изменяется. В мясе замороженном при атмосферном давлении центры кристаллизации льда образуются прежде всего в пространствах между мышечными волокнами и их пусками. При этом происходит дегидратация волокон за счет перемещения воды из последних в межволоконные пространства. В результате чего наблюдаются значительные изменения, которые характеризуются деформацией и разрывом миофибрил мышечных волокон. Соединительная ткань претерпевает значительные изменения. В результате исследования качественных характеристик установлено, с увеличением давления охлаждающего воздуха гидрофильность замороженного мяса имеет тенденцию к повышению (рис.5).

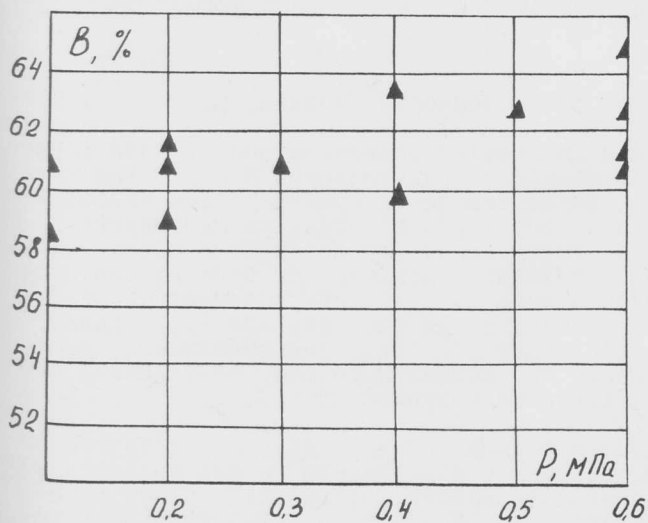


Рис.5. Водосвязывающая способность мяса замороженного при различных давлениях.

Значение pH с применением повышенного давления несколько падают. Это, очевидно, связано с тем, что скорость ферментативных процессов в мороженном мясе зависит от скорости замораживания продукта. В мясе замороженным быстрым способом ферментативные процессы протекают с несколько большей скоростью, чем в медленно замороженном. Последнее объясняется более равномерным распределением влаги и мерами внутри мышечных кристаллов льда в мясе замороженном при повышенном давлении (рисунок 6). Органолептические показатели и усилие среза замороженных под

избыточным давлением образцов мяса не имеют особых отличий от соответствующих показателей мяса замороженного обычными способами.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что при интенсивном охлаждении и замораживании мяса под избыточным давлением воздуха и вынужденном

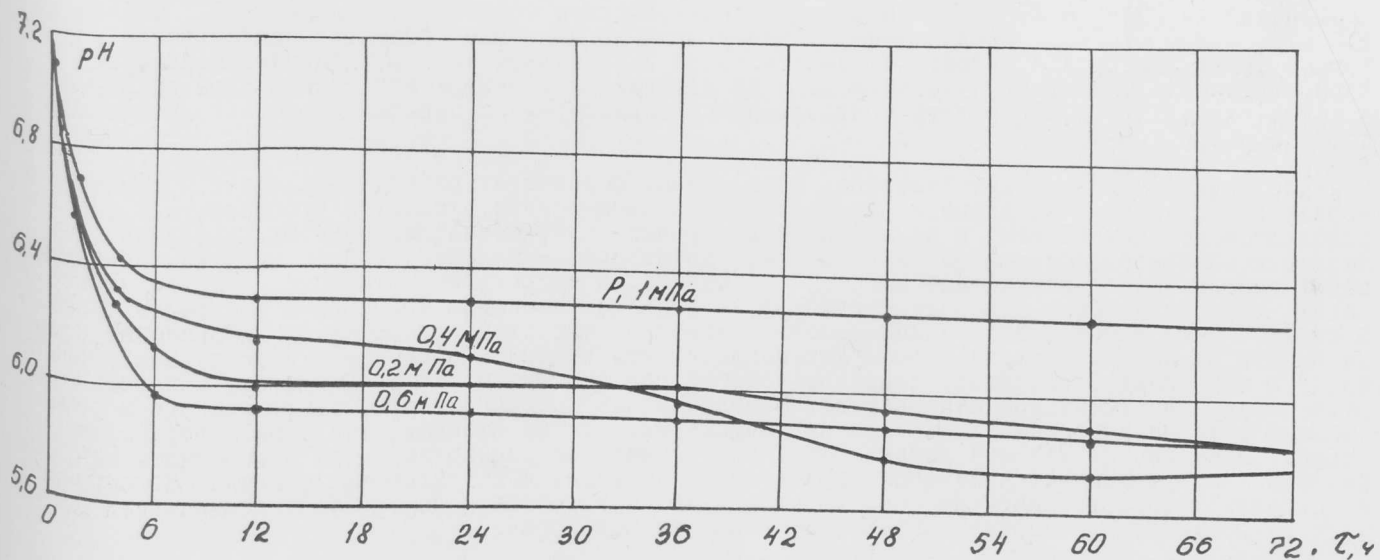


Рис.6. Изменение pH при хранении мяса замороженного при различных давлениях.

его движении, сокращается время термической обработки продукта, уменьшается усушка и улучшаются качественные показатели мяса. Оптимальные параметры при замораживании мяса: скорость движения воздуха - 1,5-2 м/с, давление охлаждающей среды - 0,8-1,0 МПа, температура воздуха - 243 К.