

Размораживание мяса при пониженном давлении

Н.П.ЯНУШКИН, Н.К.ЖУРАВСКАЯ, В.И.ИВАНОВ, В.П.ЧУМАКОВ, И.М.ТАМБОВЦЕВ и Л.Ф.МИТАСЕВА
Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

Современное оборудование для тепловой обработки продуктов биологического происхождения, в том числе, и аппараты для размораживания мяса должны обеспечивать высокую интенсивность процесса при обеспечении заданного уровня качества готовой продукции. Вместе с этим должна обеспечиваться минимальная энергоёмкость процесса, удобства и безопасность обслуживания оборудования, высокие санитарно-гигиенические условия, сохранение окружающей среды и т.д.. Таким образом возникает многофакторная задача с многочисленными критериями оценки качества и совершенства процесса и оборудования.

Решение задачи на основе совокупности теплофизических, биохимических и микробиологических факторов позволяет получить при размораживании высокую степень восстанавливаемости нативных свойств мяса и существенно интенсифицировать процесс.

В теплофизическом аспекте размораживание насыщенным острым паром низкой температуры имеет свои особенности и не исследовано аналитически.

Процесс размораживания в вакууме связан с конденсацией насыщенного водяного пара на поверхности продукта. Образовавшаяся пленка конденсата создает внешний градиент массопереноса.

Поэтому, после того, как появляется зона размороженного мяса, продвигающаяся вглубь продукта, в ней вероятен массоперенос. При этом градиенты тепло- и массопереноса совпадают, что должно в известной степени интенсифицировать процесс.

Точная постановка этой задачи связана с большими математическими трудностями из-за комбинированных начальных и граничных условий и необходимости решать в общем виде систему дифференциальных уравнений в частных производных. В начальный момент времени при конденсации водяного пара на поверхности продукта происходит вымерзание конденсата. По достижении на поверхности мяса криоскопической температуры начинается процесс фазового перехода и концентрация влаги на поверхности быстро достигает своего максимального значения.

При размораживании мяса задача усложняется тем, что теплопроводность является сложной функцией температуры, а процессы фазового перехода происходят не на плоском фронте, а в некоторой, деформируемой по времени и координате, зоне. В нашей работе решалась упрощенная теплофизическая задача, определяющая процесс размораживания блока мяса в предположении постоянства концентрации влаги, зависимости теплопроводности от температуры, наличия зоны фазового перехода и заданной температуры на поверхности объекта.

В этом случае процесс нестационарного теплопереноса описывается дифференциальным уравнением вида:

$$C_g \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_g \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \tau \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\rho \frac{\omega}{1-\omega} u_2 \right] \quad (I)$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$t(x; 0) = t_0; \quad t(x=R; \tau) = f_1(\tau); \quad \frac{\partial t(0; \tau)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

Решение уравнения (I) в общем виде представляет значительные трудности. Для получения численного решения был разработан алгоритм. Решение уравнения по заданной программе производилось на электронно-вычислительной машине ОДРА - I204.

Для сравнительного анализа результатов аналитического расчета и экспериментальных исследований, расчет проводился применительно к следующим условиям: размораживание "неограниченной" пластины в вакууме и паровоздушной смеси.

На рис. I показаны термограммы поверхности 1 и центра 2 мясной "неограниченной" пластины, полученные при размораживании в воздухе с температурой 20°C и скоростью 2 м/с. Термограмма 3 получена нами расчетным путем для тех же условий теплообмена.

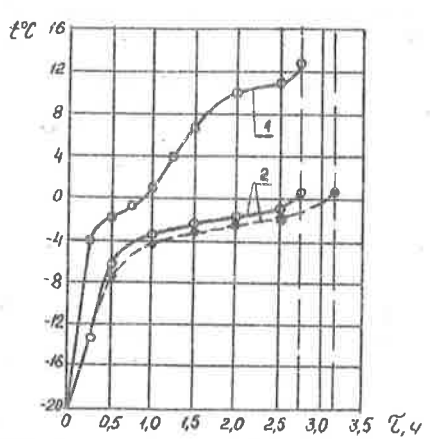


Рис. I. Сопоставление экспериментальных термограмм размораживания в воздухе мясной "неограниченной" пластины с расчетными термограммами.
Fig. I. Comparison of experimental thermograms of air defrosting of an "unlimited" meat plate with the calculated thermograms (dotted line).

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает их хорошую сходимость. Так, до температуры минус 20°C они практически совпадают. Расхождение начинается лишь в зоне криоскопических температур. Общая продолжительность процесса, рассчитанная на ЭВМ, получается больше экспериментальной на 10%. Из рисунка видно, что характер изменения расчетной и экспериментальной термограмм размораживания мясной пластины идентичен до момента начала плавления льда в воду, после чего расчетные значения несколько запаздывают по времени.

Сравнительный анализ результатов аналитического расчета и экспериментальных данных показал корректность физической модели и ее математического описания применительно к схеме одномерного переноса тепла.

В то же время расхождение в продолжительности процесса указывает на наличие неучтенных в расчете факторов, интенсифицирующих процесс. Причем эти расхождения более существенны при размораживании в вакууме. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшего аналитического исследования комплексной задачи тепло- и массопереноса при размораживании влажосодержащих материалов, таких как мясо.

В ранее опубликованных сообщениях были приведены результаты исследований по размораживанию блоков мяса и отрубов под вакуумом (1,2,3), показаны преимущества этого способа дефростации перед традиционным, в отношении продолжительности процесса, изменения массы сырья и его качественных показателей.

Принимая во внимание возможность измельчения мясных блоков на специальных машинах была изучена целесообразность использования вакуум-размораживания измельченного мороженого мяса, направляемого на производство вареных колбас.

Следует отметить, что существующая в настоящее время технология производства мясopодуKтов из измельченного мороженого мяса не исключает необходимости введения в технологическую схему изготовления вареных колбас процесса повышения температуры сырья, условия проведения которого строго не регламентированы. Кроме того, вследствие отрицательных температур измельченного мяса в начальный период создаются принципиально отличающиеся от общепринятых условия посола сырья при производстве вареных колбас. Можно с достаточным основанием полагать, что указанное обстоятельство отражается на скорости развития реакций, ответственных за цветобразование и состояние миофибриллярных белков мясной системы.

В данной работе исследования проводились на образцах измельченного мяса в виде пластин толщиной от 5 до 15 мм. Процесс размораживания осуществляли при температуре греющей среды 15, 20 и 25°C. Начальная температура образцов составляла минус 10°C. Размораживание осуществляли до достижения центром образца температуры 1°C. Контролем служило измельченное мясо, размороженное в условиях атмосферного давления при том же температурном режиме. Выбор конечной температуры размороженного измельченного мяса определялся с учетом температурного режима посола и выдержки мяса в колбасном производстве.

На основании экспериментальных данных выявлена зависимость продолжительности размораживания мяса под вакуумом, степени измельчения сырья и температуры греющей среды (рис.2).

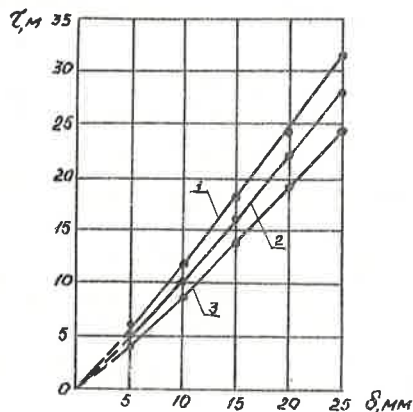


Рис.2. Продолжительность размораживания измельченного на пластины мяса в зависимости от степени измельчения и температуры греющей среды: 1 - 15°C; 2 - 20°C; 3 - 25°C.

Fig II. The period of plate-cut meat defrosting depending on the degree of meat cutting and the temperature of heating medium.

Полученные экспериментальные зависимости аппроксимируются формулой:

$$\tau = 8.7 \cdot 10^{-3} \Phi \delta^{1.57} e^{-(1.75 + 0.022\delta)} \cdot 10^{-2} t_c, \text{ ч} \quad (3)$$

Коэффициент формы тела Φ для образцов мяса в виде параллелепипедов размером $(3 \times 3) \cdot 10^{-2}$ м и толщиной (5, 10, 15, 20, 25) $\cdot 10^{-3}$ м (при трехстороннем теплоподводе), соответственно равен: 0,857; 0,750; 0,667; 0,600; 0,545.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что при вакуум-размораживании измельченного мяса происходит увеличение его массы на 1-3% (рис.3). При этом в отличие от контрольных образцов при размораживании измельченного мяса под вакуумом не наблюдалось свободного отделения мясного сока.

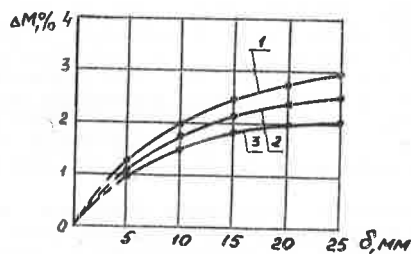


Рис.3. Изменение массы мяса, размороженного под вакуумом, в зависимости от степени измельчения и температуры греющей среды: 1 - 15°C; 2 - 20°C; 3 - 25°C.
 Fig.III. Changes in vacuum defrosted meat mass depending on the degree of meat cutting and the temperature of heating medium.

Обработка экспериментальных данных позволила получить следующую зависимость

$$M = 0,458 (0,75 - 0,01t) \quad , \% \quad (4)$$

Данные опытов по определению содержания влаги и ВСС измельченного мяса, размороженного под вакуумом и при атмосферном давлении показали, что эти показатели для контрольных образцов ниже соответственно на 2-3% и 18-22%. Сокращение продолжительности процесса размораживания мяса при использовании вакуума, а также пониженное содержание кислорода давали основание полагать, что микробиологическая обсемененность размороженного при атмосферном и пониженном давлении мяса будет различной. Полученные нами результаты по микробиологической обсемененности мяса, размороженного под вакуумом и при атмосферном давлении подтверждают существующее представление о том, что в ходе размораживания число микробных клеток увеличивается. Однако количество микробных клеток при размораживании мяса в условиях вакуума на 40-50% меньше по сравнению с микробиологической обсемененностью сырья дефростируемого при атмосферном давлении.

Результаты микроструктурного анализа свидетельствуют о том, что размораживание измельченного мяса в условиях атмосферного давления сопровождается существенной деформацией и разрушением мышечных волокон и образованием в них и между ними полостей на месте кристаллов льда замороженного сырья. При вакуум-размораживании измельченного мяса мышечные волокна значительно уплотнены. Результаты определения микроструктуры мышечной ткани через час после вакуум-размораживания показали, что диаметр мышечных волокон несколько увеличивается, при этом количество полостей между ними по сравнению с образцами, размороженными при атмосферном давлении, значительно сокращено.

Результаты исследований вареных колбас свидетельствуют о том, что выявленная особенность микроструктуры измельченного мяса, размороженного под вакуумом, сказалась на структуре готовой продукции, ее цвете, поскольку степень контакта кислорода воздуха с мышечными белками в этом случае понижена.

Л и т е р а т у р а :

1. Влияние некоторых технологических факторов на продолжительность процесса и качественные показатели мяса, размороженного в условиях вакуума. /Журавская Н.К., Ивашов В.И., Минаев А. Тамбовцев И.М. и др. - В кн.: Материалы XXV Европейского конгресса научных работников мясной промышленности. - Будапешт, 1979, с.657-660.
2. Применение вакуума в технологии производства вареных колбас на стадиях размораживания, посола мяса и куттерования фарша. /Янушкин Н.П., Журавская Н.К., Ивашов В.И., Титов Е.И., Филоненко Л.Ф., Тамбовцев И.М., Лысов В.С. - В кн.: Материалы XXVI Европейского конгресса научных работников мясной промышленности. - Колорадо Спрингс, 1980, т.П, с.168-171.
3. Размораживание мясных блоков и отрубов в условиях вакуума и аппаратное оформление процесса. /Янушкин Н.П., Журавская Н.К., Ивашов В.И., Митасева Л.Ф., Тамбовцев И.М. - В кн.: Материалы XXVII Европейского конгресса научных работников мясной промышленности. - Вена, 1981, т.1, с.310-311.