

AN ENGINEERING METHOD FOR THE DETERMINATION OF MEAT HEAT-PHYSICAL PROPERTIES IN THE PROCESS OF REFRIGERATION

G.D.KONTCHAKOV, V.A.ROGOZYANOV
VNIIMP, Moscow, USSR

N.N.MIZERETSKY
MTIMMP, Moscow, USSR

As a result of theoretical and experimental studies into the peculiarities of beef sides chilling and freezing, an analytical method has been developed for determining their heat-physical characteristics. Analytical methods for the estimation of body shape coefficients and meat heat conductivity are suggested. Nomograms are prepared to determine the volume and the surface area of beef sides as related to their weight.

A method is suggested to solve the equation of heat conductivity using exponent-power polynoms, this having allowed to get a true relation of the mobile boundary of the temperature front to the Bi- and Fo- criteria, and to develop nomograms for the engineering calculations of the processes of beef sides chilling and freezing. The suggested methods for calculating meat chilling and freezing processes are simple for the engineering staff of the meat industry and are simple in their mathematical structure. Differences between the derived data and the accuracy of similar task solution do not exceed 10%, this being permissible in engineering calculations.

METHODE DU GENIE DE DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES THERMOPHYSIQUES AU COURS DE LA TRAITEMENT FRIGORIFIQUE

G.D. KONTCHAKOV, V.A. ROGOZIANOV
VNIIMP, Moscou, URSS

N.N. MIZERETSKI
MTIMMP, Moscou, URSS

A la suite des recherches théoriques et expérimentaux des processus de refroidissement et congélation des demi-carcasses du gros bétail on a élaboré un méthode analytique pour la détermination des caractéristiques thermo-physiques. On a proposé des méthodes analytiques pour la détermination le coefficient de la forme du corps et de la conductibilité thermique de la viande.

On a composé des nomogrammes pour la détermination du volume et de l'aire des demi-carcasses du gros bétails en dépendant de leurs masses.

On a proposé la méthode pour la décision de l'équation de la conductibilité calorifique à l'aide des polynomes exponentiel et d'exposant, cela nous a permis de recevoir la dépendance de la limite mobile du front de température des critères Bi et Fo et élaborer des nomogrammes de calcul du génie pour des processus de refroidissement et congélation des demi-carcasses du gros bétails.

Les processus proposés sont simples et sont à la portée des travailleurs d'ingénieurs et de techniciens de l'industrie de la viande. La divergence des données élaborées et la décision exacte n'a plus que 10%, cela est admissible pour les calculs du génie.

EINE INGENIEURMETHODE ZUR BESTIMMUNG VON WÄRME-PHYSIKALISCHEN CHARAKTERISTIKA DES FLEISCHES
BEI DESSEN KÄLTEBEHANDLUNG

G. D. KONTSCHAKOW, W. A. ROGOSJANOW

WNIIMP, Moskau, UdSSR

N. N. MISEREZKY

MTIMMP, Moskau, UdSSR

Als Ergebnis der theoretischen und experimentellen Untersuchungen von Besonderheiten der Abkühlung und des Einfrierens von Rinderhälften wurde eine analytische Methode zur Bestimmung deren wärme-physikalischen Charakteristika ausgearbeitet. Die analytischen Methoden zur Bestimmung von Koeffizienten der Körperform und der Temperaturleitfähigkeit des Fleisches wurden vorgeschlagen. Es wurden die Nomogramme zur Messung des Umfanges und der Oberfläche von Rinderhälften in Abhängigkeit von deren Masse entworfen.

Eine Methode zur Lösung der Gleichung der Wärmeleitfähigkeit mit Hilfe von potenzexponentiellen Polynomen wurde vorgeschlagen, was es ermöglichte, die Abhängigkeit der versetzbaren Grenze der Temperaturfront von Kriterien B_i und F_o unverkennbar festzulegen sowie Nomogramme zur Ingenieurberechnung von Abkühl- und Einfriervorgängen für Rinderhälften zu entwerfen. Die vorgeschlagenen Methoden zur Berechnung von Abkühl- und Einfriervorgängen des Fleisches sind der mathematischen Struktur nach nicht kompliziert und für ingenieurtechnische Mitarbeiter der Fleischwirtschaft zugänglich. Der Unterschied zwischen den erhaltenen Angaben und der genauen Lösung von ähnlichen Gleichungen übersteigt 10% nicht, was bei den Ingenieurberechnungen zulässig ist.

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯСА В ПРОЦЕССЕ
ЕГО ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Г. Д. Кончаков, В. А. Рогозянов, Н. Н. Мизерецкий

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР

В результате теоретических и экспериментальных исследований особенностей процессов охлаждения и замораживания полутуш КРС разработан аналитический метод определения их теплофизических характеристик. Предложены аналитические методы определения коэффициентов формы тела и температуропроводности мяса. Составлены номограммы для определения объема и площади поверхности полутуш КРС в зависимости от их массы.

Предложен метод решения уравнения теплопроводности с помощью показательно-степенных полиномов, что позволило получить в явном виде зависимость подвижной границы температурного фронта от критериев B_i и F_o и разработать номограммы для инженерных расчетов процессов охлаждения и замораживания полутуш КРС. Предложенные методы расчета процессов охлаждения и замораживания мяса доступны ИТР мясной промышленности и просты по своей математической структуре. Расхождение полученных данных с точным решением аналогичной задачи, составляет не более 10%, что допустимо в инженерных расчетах.

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯСА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Г.Д.Кончаков, В.А.Рогозянов - Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, Москва, СССР;
Н.Н.Мизерецкий - Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, Москва, СССР

При аналитическом описании процессов холодильной обработки мяса и мясopодуKтов мы сталкиваемся с задачей установления зависимости между неравномерной функцией распределения "p" и функцией взаимодействия "g" системы.

В большинстве таких задач определяют временное распределение температуры "T" по объему "V" охлаждаемого или замораживаемого тела (например, полутуши крупного рогатого скота) с учетом его поверхности "S" или массы "P", а также характера взаимодействия между охлаждающей средой и самим телом.

Таким образом для решения поставленной задачи в первую очередь необходимо знание зависимости между "V", "S" и "P" продукта, подвергаемого холодильной обработке. Впервые аналитические зависимости между "V", "S" и "P" для полутуш крупного рогатого скота были предложены Д.А.Христовуло и А.Г.Диваковым (СССР, 1941 г.).

Нами предлагается номограмма (рис. 1) не только для более точного определения поверхности полутуши КРС, в зависимости от ее массы, но и для определения ряда новых зависимостей между ее стереометрическими характеристиками и массой.

Неравновесные функции распределения "p" и взаимодействия "g" системы могут быть связаны между собой с помощью обобщенного уравнения Больцмана-Лиувилья:

$$D_p^n = J_g^m, \quad (1)$$

где D, J, m, n - соответственно операторы преобразования и их порядки, зависящие от иерархического уровня элементов системы и иерархического уровня взаимодействия между ними.

В частности, полагая $D_p^n = \frac{\partial T}{\partial \tau} - \Delta T$, а $J_g^m = c$, получим уравнение теплопроводности Фурье для тел произвольной формы:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \Delta T. \quad (2)$$

При традиционном рассмотрении уравнения (2), коэффициент температуропроводности "a" считается постоянным, а решение для уравнения (2) находится методом полного разделения переменных. Причем, в качестве решающих уравнение (2) применяются, как правило, тригонометрические, гиперболические, степенные, экспоненциальные, функции Бесселя и другие.

Легко доказать, что все эти функции являются частными случаями показательного-степенного полинома (постенома), для условного обозначения которого введем выражение "y=u^v", где "u" и "v" какие-либо функции одного или нескольких переменных.

Постеномы вида "y=u₁^{v₁}, u₂^{v₂}" позволяют легко находить различные связи, имеющие место в теории теплопроводности мяса и мясopодуKтов. Так, решая уравнение (1) вида:

$$\frac{d B_i}{d F_0} = f_1(q) \cdot f_2(B_i), \quad (3)$$

где F_0, B_i - соответственно критерии Фурье и Био;
 $f_1(q)$ - функция границы температурного смещения (Био, 1970 г.),
можно получить соотношение, связывающее величины "F₀", "q", "B_i" для всего набора тел классической формы (пластина, цилиндр, шар). Например, принимая в самом грубом приближении

$$v_1 = v_2 = 1, \quad u_1 = (a_0 + a_1 q + a_2 q^2), \quad u_2 = (b_0 + b_1 B_i + b_2 B_i^2), \quad (4)$$

$$F_0 = (a_0 + a_1 q + a_2 q^2) (b_0 + b_1 B_i + b_2 B_i^2).$$

В частности, для безграничной пластины (в самом грубом приближении) имеем:

$$\begin{aligned} a_0 = a_2 = 0,11, & & a_1 = -0,22, \\ b_0 = 1,5, & & b_1 = -0,115, & & b_2 = 0,0065. \end{aligned}$$

Расчет по формуле (4), с учетом принятых числовых значений коэффициентов (a_i, b_i) , показывает прекрасное совпадение с результатами классического решения (Лыков, 1967 г.). Простота предлагаемого решения, легкость его получения и универсальность по сравнению с громоздкими традиционными решениями очевидны.

При аналитическом описании процессов охлаждения и замораживания полутуш КРС, последние рассматриваются как безграничные пластины. В то же время полутуша КРС по форме близка к цилиндру, плавно переходящему в пластину.

Коэффициент формы сложного тела может быть представлен как сумма коэффициентов формы составляющих тел. Положим, что коэффициент формы безграничного простейшего тела (пластины, цилиндра) связан с числом полуосей "п" прямоугольных декартовых координат зависимостью вида:

$$\Gamma = \frac{1}{p} \quad (5)$$

Тогда при равных весовых коэффициентах ($m_1 = m_2 = 1$) будем иметь: для пластины $\Gamma_1 = \frac{1}{2}$, для цилиндра $\Gamma_2 = \frac{1}{4}$, для полутуши КРС $\Gamma = m_1 \Gamma_1 + m_2 \Gamma_2 = 0,75$. Зная "Г", легко перейти к значению коэффициента формы бедра полутуши КРС по отношению к пластине "к" (Гак, Тюпен, 1964), так как $k = 1/\Gamma = 1,34$.

Как известно, продолжительность охлаждения, подмораживания или замораживания бедра полутуши КРС " τ_δ " и продолжительность холодильной обработки пластины " τ_n " связаны зависимостью (Гак, 1964):

$$\tau_\delta = \frac{1}{k} \tau_n \quad (6)$$

Используя обобщенное уравнение термодинамики $\mathcal{V} \cdot S = \mathcal{Z}$ (где \mathcal{V} и S - соответственно связанность и энтропия системы, а \mathcal{Z} - сохраняющаяся величина, например функция энергии), можно показать, что линейные процессы холодильной технологии мяса и мясopодуков полностью описываются следующей системой уравнений (Бю, 1975):

$$c\theta = -\text{div } v H, \quad (6)$$

$$V = \frac{1}{2} \iiint_V c \theta^2 dv, \quad (7)$$

$$\mathcal{V} = \frac{1}{2} \iiint_V \frac{1}{\lambda} H^2 dv, \quad (8)$$

$$\frac{\partial V}{\partial q_i} + \frac{\partial \mathcal{V}}{\partial q_i} = Q_i, \quad (9)$$

где $c, \theta, H, v, \mathcal{V}, \mathcal{V}, \lambda, q_i, Q_i$ - соответственно теплоемкость, температура, температурное смещение, тепловой потенциал, объем, диссипативная функция, теплопроводность, обобщенные координата и термодинамическая сила.

Решение уравнений (6) - (9) - для случая двусторонней холодильной обработки безграничной пластины толщиной " $2L$ " с учетом уравнений (2), (3), (4) приведено в виде номограммы $\theta = f(F_0, \frac{x}{L})$ на рис. 2, где $\theta = T - T_c / T_0 - T_c$ (T - текущая температура, T_c - температура среды, T_0 - начальная температура), x - текущее расстояние от поверхности, L - расстояние от поверхности до середины пластины.

Приведенные в данной работе соотношения позволяют с достаточной для инженерной практики точностью определять как "эффективные" теплофизические характеристики мяса и мясopодуков в зависимости от известных параметров процесса холодильной обработки, так и параметры этого процесса при известных "эффективных" теплофизических характеристиках мяса и мясopодуков.

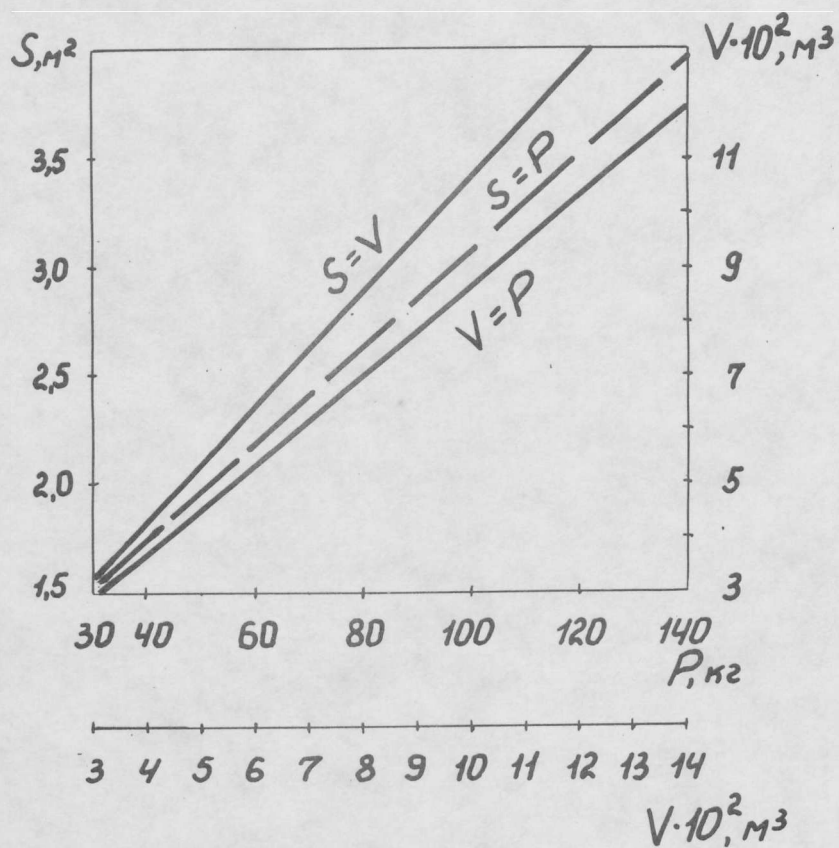


Рис. 1. Зависимость поверхности и объема полушара КРС от ее массы

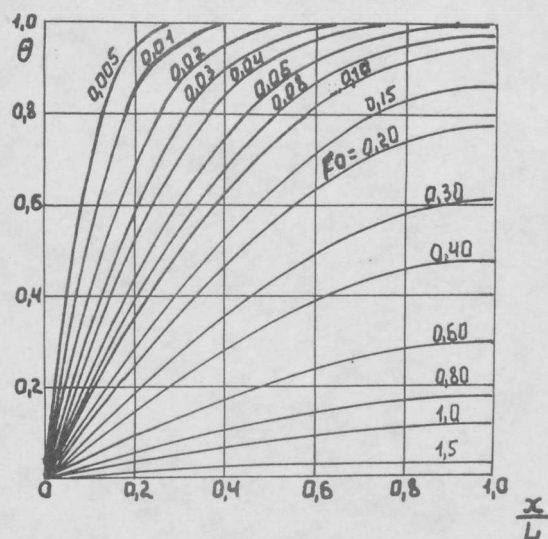


Рис. 2. Зависимость относительной температуры θ полушара от критерия F_0 и относительного расстояния $\frac{x}{L}$