Theoretische und experimentelle Grundlagen für die Berechnung von wärmephysikalischen Charakteristiken bei Fleisch- und Fleischwaren

G.D.KONTSCHAKOW, W.A.ROGOSJANOW, G.A.JASCHIN, N.N.MISEREZKIJ und M.N.USTINOW

Allunions-Forschungsinstitut für Fleischindustrie, Moskau, UdSSR

Es wurde von Autoren die analytische Abhängigkeit C=f(T) auf der Grundlage der verallgemeinerten Liouville-Gleichung (mit Berücksichtigung von potentiellen, kooperativen und unpotentiellen Kräften) angeboten die es ermöglicht, wärmephysikalische Charakteristiken bei Fleischwaren, d.h. die Bindungsenergie im elementaren Prozess des Phasenüberganges, rechnerisch zu ermitteln. Die Rechnungsergebnisse stimmen mit den experimentellen Angaben überein.

Theoretical and experimental bases for calculating heat-physical characteristics of meat and meat products

G.D.KONTCHAKOV, V.A.ROGOZYANOV, G.A.YASHIN, N.N.MIZERETSKY and M.N.USTINOV
The Moscow Technological Institute of Meat & Dairy Industries, Moscow, USSR

The authors offer an analytical relation C-f(T) based upon Liouville's generalized equation (with regard for potential, cooperation and non-potential forces) and allowing to calculate meat heat-physical characteristics, in particular, bonding energy during the elementary process of phase transition. Calculation results are in a good agreement with the experimantal data.

D 14:2

Bases théoriques et expérimentaux du calcul des caractéristiques thermophysiques de la viande et des produis carnés

G.D.KONTCHAKOV, V.A.ROGOZJANOV, M.N.OUSTINOV et N.N.MIZERETSKY

Institut technologique de l'Industrie de la Viande et du Lait, Moscou, URSS

Les auteurs proposent la fonction analytique C=f(T) basée sur l'équation Liouville, généralisée (compte tenu des forces potentielle, coopérative et non-potentielle) qui permet de déterminer les caractéristiques thermophysiques des produits carnés par calcul, en particulier l'énergie des liens au cours du processus élémentaire de la transition de phase. Les résultats de calcul sont bien concordés aux données expérimentales.

Теоретические и экспериментальные основы расчета теплофизических характеристик мяса и мясопродуктов

Г.Д.КОНЧАКОВ, В.А.РОГОЗЯНОВ, Г.А.ЯШИН, И.Н.МИЗЕРЕЦКИЙ, М.Н.УСТИНОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности, г.Москва, СССР

Авторами предложена аналитическая зависимость C= f (T) на базе обобщенного уравнения Лиувилля (с учетом потенциальных, кооперативных и непотенциальных сил), позволяющая определять расчетным путем теплофизические характеристики мясопродуктов и, в частности, энергию связи в элементарном акте фазового перехода. Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными .

Теоретические и экспериментальные основы расчета теплофизических характеристик мяса и мясопродуктов

Г.Д. КОНЧАКОВ, В.А. РОГОЗЯНОВ, Г.А. ЯШИН, Н.Н. МИЗЕРЕЦКИЙ, М.Н. УСТИНОВ

Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, г.Москва, СССР

Отсутствие единого уравнения состояния вещества, пригодного для описания особенностей поведения реальных газов, жидкостей и твердых тел (М.П.Вукалович, И.И.Новиков, I972; Э.Э.Шпильрайн, М.П.Кессельман, I977), оставляет проблему аналитического расчета термодинамических процессов в мясной промышленности нерешенной.

На пути решения этой проблемы важной вехой является вывод уравнения Лиувилля, определяющего закон эволюции функции распределения ансамбля Гиббса в фазовом пространстве (И.П.Павлоцкий, I973), в предложении, что каждая функция состояния "ψ" термодинамической системы как регулярная функция некоторой константы взаимодействия "ε" может быть разложена в ряд по "ε", не содержащий главной части.

Развивая идеи И.П.Павлоцкого, введем в рассмотрение понятие гетерогенного ряда:

$$\psi = \sum_{f(-\infty)}^{f(\infty)} U_f^{\nu_f} (z-a)^f , \qquad (I)$$

где f - функция порядка;

U^v - постеном;

z - комплексная переменная;

a - центр разложения.

При конструировании ряда (I) использован принцип Матиессена. Ряд (I) позволяет легко построить такие разложения, как $\rho = f(T)$, $i = f(T)$, $c = f(T)$ и т.п. Для примера конкретные разложения удельной теплоемкости некоторых мясопродуктов приведены в табл.I. Полагая $(z - a) = \alpha$ и учитывая, что приближенно $1/\alpha = 137$, а в более грубом приближении $1/\alpha = к \cdot 10^{25} = f(\pi)$, можно перейти и к разложениям по α, к или π.

Особый интерес представляет нахождение функциональной зависимости между калорическими и термическими характеристиками при прохождении термодинамической системы через точку фазового перехода (табл.I).

Table I

Таблица I

Продукт / Product	C = f(T)			
	$\frac{B}{(T-в)^2}$	$\frac{A}{(T-a)^2}$	A	$A_I(T - a)$
Сухая обезжиренная свинина / Dry defatted pork	0	0	$997 \cdot 10^{-3}$	$174 \cdot 10^{-5} T$
Говяжий жир с фазовым переходом / Beef fat with a phase transition	$\frac{4,28^2}{(4,28+0,01(T-321))^2}$	$\frac{2,24^2}{(2,24+0,02(T-286,95))^2}$	$-3072 \cdot 10^{-5}$	$7008 \cdot 10^{-6} T$
Свиной жир с фазовым переходом / Pork fat with a phase transition	$\frac{4,5^2}{(4,5+0,15(T-300))^2}$	$\frac{3,73^2}{(3,73+0,05(T-274,33))^2}$	$418 \cdot 10^{-3}$	$367 \cdot 10^{-5} \cdot T$

Можно показать, что обобщенное уравнение Больцмана-Лиувилля $\mathcal{D}^n f = \mathcal{S}^m g$ (Н.Н.Мизерецкий, 1973) позволяет найти переходную функцию $\Phi(j\omega)$ любой термодинамической системы, причем спектральная плотность $Sf(\omega)$ может быть найдена даже, если функция взаимодействия не имеет производных вплоть до m -го порядка, но интеграл $\int_0^\infty Sf(\omega)d\omega < \infty$ существует.

Рассмотрение каждой термодинамической системы с фазовым переходом как колебательной дает основание интерпретировать явление фазового перехода как явление резонанса и воспользоваться для определения переходной функции системы уравнением вынужденных колебаний, что не противоречит флуктуационной теории критических явлений (А.З.Паташинский, В.Л.Покровский, 1975).

Опираясь на гипотезу масштабного подобия флуктуаций, можно показать, что рост флуктуаций по мере приближения и бифуркационное изменение связности ($\partial \cdot S = z$) термодинамической системы в самой точке фазового перехода могут быть представлены математической моделью, в которой математическим механизмом фазового перехода является асимптотическое вырождение максимального собственного значения соответствующего линейного оператора (М.Кац, 1973) с естественным появлением сингулярностей в точке фазового перехода (М.Фишер, 1973).
Для того, чтобы остаться в рамках технической теории (так как техника и технология мясной промышленности не имеют дела с бесконечностями), мы воспользуемся открытыми И.Пригожиным (1947) диссипативными структурами, что позволит вполне корректно применять метод сквозного счета.

Следует отметить, что введение в математическую модель диссипативных элементов связи, хотя и способствует исчезновению сингулярностей (при замене 0 на а), но приводит в ряде случаев к потере унитарности (Р.Фейнман, 1965). Это явление аналогично рассеянию энергии тепловой волны из-за возникновения температурных токов при ее распространении в несовершенном теплоизоляторе, причем степень завершенности подобных процессов является функцией числа Дьярмати.

При небольших значениях "а" порядка α, K, $1/f(\pi)$ мясо и мясопродукты, а также все технологические процессы и оборудование мясной промышленности с высокой степенью точности являются унитарными и могут быть смоделированы с помощью группы решающих распределений, представляемой законом распределения вероятностей:

$$P = f(n_1! \cdot n_2! \cdot n_3!)\,\frac{f(n_1 i) f(n_2 i) f(n_3 i)}{f(n_1 i + n_2 i + n_3 i)} \qquad (2)$$

Справедливость выдвинутых положений покажем на примере определения зависимости между смещением "y" некоторой колеблющейся термодинамической системы от заданного положения равновесия и температурой "Т", полагая, что "М" - инерционность системы, "$\mathcal{B}$" и "Q" - соответственно диссипативность и упругость внешних связей, F - амплитуда внешних периодических воздействий на систему, а $\omega = 2\pi/\tau$ - круговая частота, где τ - период колебаний температуры. Полагая, что функция $y = f(T)$ удовлетворяет уравнению вынужденных колебаний (в силу зависимости $T = f(t)$), получим:

$$M\ddot{y} + \mathcal{B}\dot{y} + Qy = F\cos\omega t \qquad (3)$$

Решение уравнения (3) известно (Э.Камке, 1971). Согласно этому решению амплитуда вынужденных колебаний системы $y(\omega)$ может быть представлена в виде:

$$y(\omega) = \frac{F}{M\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}} \qquad (4)$$

где ω_0 - круговая частота собственных колебаний системы $\left(\omega_0 = \sqrt{\frac{Q}{M}},\ \gamma = \frac{\mathcal{B}}{2M}\right)$

Для примера интерпретируем зависимость $y(\omega)$ как $C = f(T)$. Легко показать, что на основании (4) при отсутствии диссипативных элементов внешних связей ($\gamma = 0$) значение теплоемкости термодинамической системы становится сингулярным ($C = \infty$) в момент фазового перехода ($T = T_0$). В технике же и технологии мясной промышленности ($\gamma \neq 0$) и при $T=T_0$ значение теплоемкости (в общем случае и энергоемкости) термодинамической системы остается конечным ($C \neq \infty$).

Поэтому достаточный интерес представляет определение энергии связи в элементарном акте фазового перехода. Для примера определим энергию связи при конденсации двухъядерной системы с одним электроном (см. табл.2), используя для этого зависимость:

$$E_S(\rho) = -1 - 3e^{-0{,}406\rho} + \frac{2}{\rho} \tag{5}$$

Table 2 Таблица 2

Число дискретных элементов Number of discrete elements	P	I	2	3	4
Размерность системы Units of measurement of the system	P-I	0	I	2	3
Число связей Number of links	$\frac{P(P-I)}{2}$	0	I	3	6
Общее число элементов The total number of elements	2^P-I	I	3	7	I5

Как показывают расчеты (при $\rho=2$, $E_{1S} = -I\,Ry$), энергия связи составляет $E_{CB} = 0{,}2\,Ry$, что находится в полном соответствии с экспериментальными данными (А.С.Давыдов, I973).

Все вышеизложенное дает нам основание сделать вывод о том, что физическим механизмом фазового перехода является диссипативное изменение связности между элементами материальной системы, величина которого в рамках обобщенного уравнения термодинамики может быть найдена как на макро-, так и на микроскопическом уровне.

Высокая эффективность предложенной решающей системы в первую очередь определяется ее естественной приспособленностью к выполнению поставленных мясной промышленностью перед техническими науками задач, так как только математическое моделирование реальных явлений позволяет оставаться строго в пределах технических теорий. Поэтому вполне закономерно, что математическое моделирование, не являющееся по современным представлениям ни разделом, ни задачей математики (Л.Д.Кудрявцев, I977), отнесено в настоящее время к области технических знаний, а разработка общей теории математического моделирования объектов мясной промышленности представляет собой научную проблему.