

I/8

XIX ЕВРОПЕЙСКИЙ КОНГРЕСС РАБОТНИКОВ НИИ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛБАС-
НЫХ ИЗДЕЛИЙ
О.Г.КАРПОВА, А.М.БРАЗНИКОВ

THE XIXth EUROPEAN MEETING OF MEAT RESEARCH WORKERS
THE ALL-UNION MEAT RESEARCH INSTITUTE USSR
ANALYTICAL STUDIES INTO THE PROCESS OF SAUSAGE THERMAL TREATMENT
O.G.KARPOVA, A.M.BRAZHNIKOV

DER XIX. EUROPÄISCHE KONGRESS DER FLEISCHFORSCHUNGSINSTITUTE
ALLUNIONS-FORSCHUNGSINSTITUT DER FLEISCHWIRTSCHAFT UdSSR
ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN DES VORGANGES DER THERMISCHEN BEHAND-
LUNG VON WURSYWAREN
O.G.KARPOWA, A.M.BRAZHNIKOW

А Н Н О Т А Ц И Я

Целью работы являлось получение аналитического описания процесса термической обработки колбасных изделий. Поставленную задачу осуществляли на основании приближенного решения уравнения теплопроводности для случая нагрева цилиндра. При решении уравнения вводилась гипотеза о наличии "температурного фронта", который с конечной скоростью перемещается от поверхности к центральным слоям продукта. Уравнения решали в две стадии. Первая соответствует периоду распространения "температурного фронта" от поверхности к центру; вторая — отсчитывается с того момента, когда тепловое возмущение достигает центра и оканчивается, достигнув в центре батона 72°C . При определении продолжительности процесса термической обработки колбасных изделий применяли эмпирический коэффициент, учитывающий отклонения формы колбасного батона от цилиндрической и особенности теплофизических характеристик фарша.

На основании результатов проведенных исследований получено аналитическое описание процесса термической обработки колбасных изделий; уравнение для определения общей продолжительности процесса термической обработки; определение эмпирических коэффициентов для шести видов колбас.

Полученный результат может быть использован для аналитического исследования и инженерного расчета процесса термической обработки.

S U M M A R Y

The object of the paper was to get the analytical description of the process of sausages thermal processing. It was done by means of an approximate solution of the equation for heat conduction in case of cylinder heating. The hypothesis was introduced on the availability of the "temperature front", which moves from the surface of the product to its central layers at the ultimate speed. The equation was solved in two stages: the first corresponds to the period of "temperature front" diffusion from the surface to the centre; the second starts from the moment, when heat disturbance reaches the centre, and finishes upon reaching 72°C in the centre of the product. When calculating thermal processing time for sausage products an empirical coefficient was applied, considering deviations of sausage shape from the cylinder one and specificities of the heat-physical characteristics of the sausage emulsion.

On the basis of the results obtained, the authors derived the following: the analytical description of the process of sausage thermal processing; an equation for the determination of the total thermal processing time for sausages; empirical coefficients for six kinds of sausages.

These results can be applied to analytical investigations and engineering calculations of the process of thermal processing.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine analytische Beschreibung des Vorganges der thermischen Behandlung von Wurstwaren zu erhalten. Die gestellte Aufgabe wurde auf Grund einer annähernden Lösung der Gleichung über die Wärmeleitung am Beispiel der Erwärmung eines Zylinders bearbeitet. Bei der Lösung der Gleichung wurde die Annahme über Existenz einer "Temperaturfront" eingeführt, die sich von der Oberfläche zu Zentralschichten des Produktes mit Endgeschwindigkeit verlagert. Die Gleichung wurde in zwei Stufen gelöst. Die erste Stufe entspricht der Verbreitung der "Temperaturfront" von der Oberfläche zum Zentrum, die zweite Stufe beginnt mit einem Zeitpunkt, wo die Wärmestürme das Zentrum erreichen und bei Temperatur 72°C im Wurstzentrum zu Ende gehen. Bei der Bestimmung von Dauer der thermischen Behandlung von Wurstwaren wurde der empirische Koeffizient angewandt, der die Abweichung der Wurstform von der zylindrischen und die Besonderheiten von wärme-physikalischen Brätcharakteristika berücksichtigt.

Auf Grund von Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen wurden eine analytische Beschreibung des Vorganges der thermischen Behandlung von Wurstwaren und eine Gleichung zur Bestimmung der Gesamtdauer der thermischen Behandlung erhalten sowie die empirischen Koeffiziente für 6 Wurstarten festgestellt.

Das gewonnene Ergebnis kann bei der analytischen Untersuchung und bei der Ingenieurberechnung des Vorganges der thermischen Behandlung ausgenutzt werden.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

При аналитическом исследовании процесса термической обработки колбасных изделий рассматривали задачу о распространении тепла в телах цилиндрической формы. При этом учитывали, что колбасные батоны поступают на термическую обработку с одинаковой температурой по всему объему.

Строгая постановка состоит в следующем:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial u}{\partial x}$$

Начальное условие

$$u(x; 0) = u_0 = \text{const}$$

Граничные условия (на срединной плоскости)

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0$$

(на поверхности)

$$\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\alpha}{\lambda} (u_1 - u) = 0 \Big|_{x=L}$$

(1)

В безразмерном виде задача (I) записывается следующим обра-

зом:

$$v = \frac{u - u_0}{u_1 - u_0}; \quad x = \xi; \quad \frac{at^2}{L^2} = F_0; \quad \frac{\alpha}{\lambda} L = Bi \quad (2),$$

- где
- u — текущее значение температуры продукта;
 - u_0 — начальное значение температуры продукта;
 - u_1 — температура среды;
 - x — координата;
 - L — радиус;
 - ξ — относительная толщина нагреваемого слоя;
 - t — время;
 - α — коэффициент теплоотдачи;
 - a — коэффициент теплопроводности;
 - F_0 — критерий Фурье;
 - Bi — критерий Био.

Тогда уравнение (I) принимает следующий вид:

$$\frac{\partial U}{\partial \mathcal{F}_0} = \frac{\partial^2 U}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial U}{\partial \xi}$$

Начальное условие

$$U(\xi; 0) = 0$$

Граничные условия

$$\frac{\partial U}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial \xi} + Bi U \Big|_{\xi=1} = Bi$$

(3)

Приближенное решение этого уравнения получено введением функции $\Psi_1(\mathcal{F}_0)$, которая определяется следующим образом:

$$\Psi_1(\mathcal{F}_0) = \frac{1}{2(1-\rho^2)} \int_{\rho}^1 \frac{\partial U}{\partial \mathcal{F}_0} \xi d\xi, \quad (4)$$

где ρ — переменная по времени граница распространения теплового возмущения ("температурного фронта").

Здесь мы вводим гипотезу о наличии "температурного фронта", который с конечной скоростью перемещается от поверхности к центральным слоям продукта.

Введение такой гипотезы является формально-методическим приемом, который позволяет с удовлетворительной точностью найти приближенное решение уравнения теплопроводности в виде конечного многочлена. Такой вид решения имеет определенные преимущества для аналитического исследования и инженерного расчета. Вместе с тем, введенная гипотеза не противоречит экспериментальным результатам, наблюдаемым с помощью современных измерительных средств.

Основное уравнение заменяется следующим приближенным:

$$\frac{1}{\xi} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\xi \frac{\partial U}{\partial \xi} \right) = 4 \Psi(\mathcal{F}_0)$$

Начальное условие

$$U(\xi; \mathcal{F}_0) \Big|_{\xi=\rho} = 0$$

Граничные условия

$$\frac{\partial U}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\rho} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial \xi} + Bi U = Bi \Big|_{\xi=1}$$

Уравнения решали в две стадии.

Первая-соответствует периоду распространения "температурного фронта" от поверхности к центру; вторая \neq отсчитывается с того момента, когда тепловое возмущение достигает центра, т.е. с момента изменения температуры в центре (при этом $T_0 = T_0^{(1)}$) и оканчивается в момент достижения температуры в центре 72°C . Опуская громоздкие, хотя и несложные преобразования, приведем окончательные результаты. Распределение температуры на первой стадии:

$$U'(\xi; T_0) = \frac{Bi[\xi^2 - \rho^2 \ln \xi^2 - \rho^2(1 - \ln \rho^2)]}{(Bi+2)(1-\rho^2) + Bi\rho^2 \ln \rho^2} \quad (6) \quad (6)$$

$\xi = 0$ в центре батона;

$\xi = 1$ на поверхности батона.

Зависимость ρ от T_0 определяется по прилагаемой номограмме (рисунок). Выражением (6) описывается закон распространения температуры в толще батона в период распространения теплового возмущения от периферии к центру.

Решение задачи для второй стадии осуществляется приближенно путем осреднения производной по времени.

$$\Psi_1(T_0) = \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{\partial U}{\partial T_0} \xi d\xi \quad (7)$$

При следующих краевых условиях

$$\left. \begin{aligned} U(0; T_0) &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial \xi} / \xi=0 &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial \xi} + Bi U &= Bi / \xi=1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Результатом решения уравнения является следующее выражение:

$$U(\xi; T_0) = 1 - \frac{Bi}{Bi+2} \left(\frac{Bi+2}{Bi} - \xi^2 \right) \exp\left(-\frac{8Bi}{Bi+4} [T_0 - T_0^{(1)}]\right) \quad (9)$$

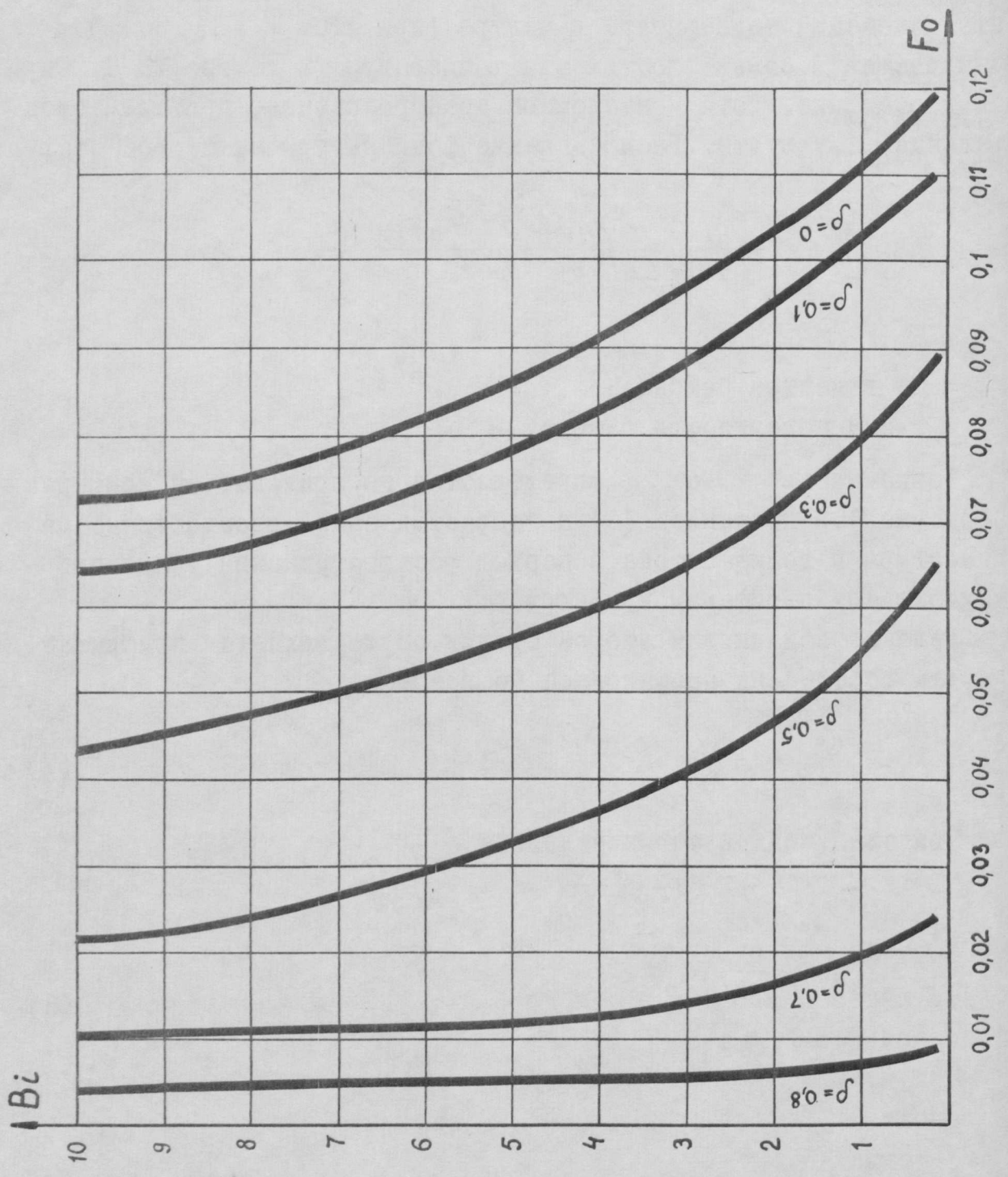


Рис. Номограмма

Формула (9) действительна для $F_0 \geq F_0^{(1)}$. Значение $F_0^{(1)}$ определяется по прилагаемой номограмме в зависимости от Bi при $\rho = 0$. Выражение (9) было положено в основу описания процесса термической обработки колбасных изделий.

Для определения общей продолжительности процесса термической обработки колбасных изделий, используя выражения (6) и (9) и имея в виду результат, полученный в работе А.И.Пелеева /1/ можно предложить следующую зависимость:

$$t = \beta \left\{ \frac{L^2}{\alpha_1} \left[-\frac{Bi_1 + 4}{8 Bi_1} \ln \frac{u_1 - u_{m1}}{u_1 - u_0} \right] + F_0^{(1)} \right\} + \frac{L^2}{\alpha^2} \left[-\frac{Bi_2 + 4}{8 Bi_2} \ln \left| \frac{u_1 - u_{кон}}{u_1 - u_{m1}} \right| \right], \quad (10)$$

где β - эмпирический коэффициент, учитывающий отклонение формы колбасного батона от цилиндрической и особенности теплофизических характеристик фарша.

Величина эмпирического коэффициента определена путем сопоставления фактической продолжительности термической обработки колбасных изделий в термокамерах с результатом, полученным при решении уравнения (10).

Индекс 1 относится к значениям критерия Bi и коэффициента теплопроводности α , подсчитанным по усредненным теплофизическим константам для диапазона температур $u_0 \div u_{m1}$, а индекс 2 - к значениям тех же параметров, подсчитанным, по усредненным теплофизическим константам для температур $u_{m1} \div u_{кон}$. Значения теплофизических констант принимали по данным ВНИИМПа /2/. Проведенные нами исследования позволили определить величину коэффициента "в" для некоторых видов вареных колбас, изготовленных в кутизиновой оболочке.

Полученные значения коэффициента "в" приведены ниже:

Вид колбас	Значения коэффициента "в"
1. Любительская	0,63
2. Докторская	0,58
3. Диабетическая	0,73
4. Чайная	0,72
5. Отдельная	0,66
6. Столовая	0,74

На основании результатов проведенных исследований дано аналитическое описание процесса термической обработки колбасных изделий; получено уравнение для определения общей продолжительности процесса термической обработки; дано определение эмпирических коэффициентов для 6 видов колбас.

Полученный результат может быть использован для аналитического исследования и инженерного расчета процессов термической обработки.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. П е л е е в А.И. Теплофизическое обоснование процессов термической обработки мясопродуктов. "Мясн.индустр.СССР", 6, 1963.
2. Г о р б а т о в В.М., М а с ю к о в В.Н., Г н о е в о й П.С. Определение теплофизических свойств мясного фарша. "Труды ВНИИМПа", 1967.