

KINETICS OF TEMPERATURE CHANGES, WATER CONTENT AND DIELECTRIC PROPERTIES OF MEAT AT HEATING IN THE ELECTRIC MICRO WAVE FIELD

I. Rogov, S.B. Necrutmann, E.G. Turjanski  
All - Union Research Institute of USSR Meat Industry

The results of the study of meat muscle tissue heating (beef, eye muscle of loin) in the microwave electric field at frequency of 2375 mcps dealt with.

The analytical description of the heating process dynamics, in particular the kinetics of temperature changes, of water content and electric properties is given in the paper. For this purpose the solution of a simplified system of differential mass-and-heat transfer equations under boundary conditions reflecting the real picture of the process is found out. One - directional case of half-limited bar (rod) heating is considered and some assumption are taken.

The expression of dielectric properties  $E'$   $E''$  depending on the water content when examining the sample structure in the form of capillary pattern are obtained.

The dependence of dielectric properties  $E'$   $E''$  on temperature is described by means of exponential and rational functions.

CINETIQUE DU CHANGEMENT DE LA TEMPERATURE, DE LA TENEUR EN EAU ET DES PROPRIETES DIELECTRIQUES DE LA VIANDE AU COURS DU CHAUFFAGE DANS LE CHAMP ELECTRIQUE DE HYPERFREQUENCE

S.V. Nékroutmenn, I.A. Rogov, E.G. Tourjanski.

Institut de recherches scientifiques pour l'industrie de la viande de l'URSS.

On a examiné des données des recherches concernant le chauffage du tissu musculaire de la viande de bouf du muscle longissimus dorsi dans le champ électrique de hyperfréquence à la fréquence de 2375 MHz. On a fait la description analytique de la dynamique des processus de la hyperfréquence du chauffage, en particulier de la cinétique du changement de la température, de la teneur en eau et des propriétés électriques.

Pour ce but on a obtenu la solution du système simplifié des équations différentielles du transfert de chaleur et de masse aux conditions limites, en tenant compte du tableau réel du processus.

On a examiné le cas unidimensionnel du chauffage de la tige à demi protégée et on a introduit une série de références. On a obtenu des formules des propriétés  $E'$  et  $E''$  en dépendance de la teneur en eau pendant l'examen de la structure de l'échantillon du type du modèle capillaire.

La dépendance des propriétés diélectriques  $E'$  et  $E''$  de la température est décrite par la fonction exponentielle et la fonction fractionnaire rationnelle.

DIE KINETIK VON VERÄNDERUNGEN DER TEMPERATUR, DES WASSERGEHALTES UND DER DIELEKTRIZITÄTSEIGENSCHAFTEN DES IM ELEKTRISCHEN UHF-FELD ERHITZTEN FLEISCHES.

I. Rogow, S. Nekrutmann, Turjanski.

Allunionsforschungsinstitut für Fleischindustrie der UdSSR.

Die Ergebnisse der Untersuchung des im elektrischen UHF-Feld (2375 MHz) erhitzten Muskelgewebes (Rindfleisch, der längste Rückenmuskel) werden behandelt.

Die Dynamik der UHF-Erhitzung darunter die Kinetik von Veränderungen der Temperatur, des Wassergehaltes und der Dielektrizitätseigenschaften wird analytisch beschrieben. Die Wärme- und Masseübertragung bei extremen Bedingungen unter Berücksichtigung der realen Verhältnissen werden durch ein einfacheres System von Differentialgleichungen gegeben. Eindimensionale Richtung der Erwärmung von einem halbbegrenzten Stab wird untersucht. Die Struktur der Problem wird als Kapillarmodell betrachtet und die Dielektrizitätseigenschaften  $\epsilon'$  und  $\epsilon''$  in Abhängigkeit von dem Wassergehalt werden durch die Formel wiedergegeben.

Die Korrelation zwischen den Dielektrizitätseigenschaften  $\epsilon'$  und  $\epsilon''$  und den Temperaturen wird durch die Exponent- und Bruch-rational-Funktion ausgedrückt.

КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА ПРИ НАГРЕВЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ СВЧ

С. В. Некрутман, И. А. Рогов, Э. Г. Турьянский

Всесоюзный научно-исследовательский институт мясной промышленности СССР

Рассмотрены результаты исследований по нагреву мышечной ткани мяса (говядины, длиннейшего мускула спины) в электрическом поле СВЧ на частоте 2375 МГц.

Приведено аналитическое описание динамики процесса СВЧ нагрева, в частности кинетики изменения температуры, влагосодержания и электрических свойств. Для чего получено решение упрощенной системы дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса при равных условиях, учитывающих реальную картину процессов. Рассмотрен одномерный случай нагрева полуограниченного стержня и введен ряд допущений.

Получены выражения диэлектрических свойств  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  в зависимости от влагосодержания при рассмотрении структуры образца в виде капиллярной модели.

Зависимость диэлектрических свойств  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  от температуры описывается показательной и дробно-рациональной функциями.

КИНЕТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА ПРИ НАГРЕВЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ СВЧ

И.А. Рогов, С.В. Некрутман, Э.Г. Турянский

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

В процессе тепловой обработки пищевых продуктов в СВЧ аппаратах происходит непрерывное изменение их температуры, влажности и, как следствие электрических свойств - диэлектрической проницаемости и коэффициента поглощения (потерь).

Ниже приведены результаты исследований по нагреву мышечной ткани мяса (говядина, плечевая часть) в электротермическом СВЧ аппарате, работающем на частоте 2450 МГц.

Для определения переноса тепла и массы и убыли влаги в процессе диэлектрического нагрева капиллярно-пористого коллоидного тела существуют системы уравнений, имеющие чрезвычайно громоздкий вид и мало пригодные для решения обратной задачи - восстановления параметров процесса по экспериментальным зависимостям температуры и влагосодержания обрабатываемых образцов от времени их разогрева с учетом удельной подводимой мощности.

На основании изложенного для решения уравнений тепло- и массопереноса был введен ряд упрощений, позволяющий решать поставленную задачу с достаточной для инженерных расчетов точностью.

Учитывая специфические особенности диэлектрического нагрева - высокий темп роста температуры и относительно равномерный нагрев всего образца было принято, что:

- а - темп изменения температуры намного опережает темп изменения влагосодержания;
- б - вклад процесса термодиффузии в перенос влаги при интенсивном СВЧ энергоподводе настолько мал, что им можно пренебречь.

При решении системы уравнений учитывается, что образец имеет "бесконечную" толщину, т.е. вся энергия, переносимая СВЧ полем, рассеивается в образце и СВЧ поле у открытой поверхности образца достаточно однородно.

Рассмотрим одномерный случай нагрева образца, представляющего собой полуограниченный стержень, расположенный вдоль оси  $X$  ( $0 \leq X \leq \infty$ ).

Для условий диэлектрического нагрева температура образца ( $t$ ) и влагосодержание ( $U$ ) являются функциями координаты  $X$  и времени ( $\tau$ ).

При рассмотрении видов краевых условий принимаем предельные случаи: а - торец образца изолирован; б - торец образца находится в тепловом равновесии с окружающей средой.

Реальные условия взяты промежуточными между указанными случаями.

Средняя температура для периода нагрева

$$t(x; \tau) \approx A \cdot \tau \cdot e^{-kx} \quad (1)$$

где  $A$  и  $K$  - параметры, связанные с удельной мощностью и ослаблением поля в образце

$$A = \frac{Q_v}{c_p}; \quad K = f(\epsilon'; \tan \delta) I.$$

Зависимость  $\bar{t}(x)$  при достаточно больших  $X$  и относительно малом  $\tau$  описывается формулой

$$\ln \bar{t}(x; \tau) \approx \ln(A\tau) - Kx \quad (2)$$

Таким образом зависимость  $\ln \bar{t}(x)$  должна быть линейной с наклоном к оси  $X$  равным  $K$ .  
Решение уравнения для определения влагосодержания дает после ряда упрощений резуль-

тат

$$\bar{u}(x; t) \approx \frac{u_0}{2} \left( 1 + \frac{x}{\sqrt{D a' t}} \right), \quad (3)$$

где  $u_0$  - начальное влагосодержание;

$a'$  - суммарный коэффициент диффузии жидкости и пара в образце ( $a' = \frac{Dm}{1-\mu}$ ).

При известных температуре и влагосодержании образца становится возможным определить его электрические свойства в любой момент нагрева.

Получены зависимости  $\epsilon'(u), \epsilon''(u)$  из рассмотрения структуры образца в виде капиллярной модели

$$\epsilon' = 81 \frac{\gamma_c}{\gamma_B} (1-m)u; \quad (4)$$

$$\epsilon'' = \frac{\gamma_c}{\gamma_B} \frac{2(1-m)}{\nu \cdot \rho} u; \quad (5)$$

где  $\gamma_c, \gamma_B$  - плотность сухого вещества и жидкости;

$m$  - "пористость" образца;

$\rho$  - удельное сопротивление;

Зависимость электрических свойств от температуры описывается показательной и дробно-рациональной функцией вида

$$\epsilon''(t) = a_1 \cdot b_1^t, \quad (6)$$

$$\epsilon'(t) = \frac{a_2}{(t-b_2)+c}, \quad (7)$$

где  $a_1, a_2, b_1, b_2, c$  - безразмерные величины.

Для мышечной ткани мяса (говядины) на частоте 2450 МГц имеем

$$\epsilon' = \frac{19 \cdot 10^4}{(t-10)^2 + 3.7 \cdot 10^3}, \quad (8)$$

$$\epsilon'' = 24 \cdot 0.98^t. \quad (9)$$

Приведенное рассмотрение позволяет относительно простым путем находить в любой момент времени температуру, влагосодержание и электрические характеристики образца в процессе его тепловой обработки.

Такие данные необходимы при расчете рабочих камер СВЧ аппаратов, а также при разработке технологических процессов тепловой обработки.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.В. Лыков "Теория сушки". М., изд. "Энергия", 1968.

2. А.Р. Хиппедь "Диэлектрики и их применение" М., Госэнергоиздат, 1959.