

УДК 664.8 + 536.37

ББК 36.81

Г 66

Гоппе Денис Анатолевич, аспирант кафедры техники мясных и молочных производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), т.: 8 (906)2543239, e-mail: densky777@mail.ru;

Вороненко Борис Авсеевич, доктор технических наук, профессор кафедры техники мясных и молочных производств Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), т.: 8(812)2330903;

Клоков Юрий Владимирович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электрофизических методов нагрева пищевого сырья Санкт-Петербургской научно-исследовательской организации «Пища. Электричество. Технология. Техника» (СПбНИО «ПЭТТ»), т.: 8(921)0929022.

О ВЛИЯНИИ ОБОЛОЧКИ (КОЖУРЫ) ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОТЕНЦИАЛОПРОВОДНОСТИ МАССОПЕРЕНОСА (рецензирована)

Исследован коэффициент потенциалопроводности массопереноса (коэффициент диффузии влаги) в углеводсодержащем пищевом сырье цилиндрической (моркови) и шаровой (картофеля) формы без кожуры (без оболочки) и с кожурой (с оболочкой) при нагреве его электромагнитной энергией поля СВЧ. Получены эмпирические зависимости коэффициента потенциалопроводности от среднего влагосодержания. Наличие оболочки уменьшает коэффициент диффузии массы пищевого сырья.

Ключевые слова: оболочка, коэффициент потенциалопроводности массопереноса, влагосодержание, электромагнитная энергия поля СВЧ.

Goppe Dennis Anatoljevich, post graduate of the Department of Technology of Meat and Dairy Industries, St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Technology (SPbSURFT), tel.: 8 (906) 2543239, e-mail: densky777@mail.ru;

Voronenko Boris Avseevich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Technology of Meat and Dairy industries, St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Technology (SPbSURFT), tel.: 8 (812) 2330903;

Klokov Yuri Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, senior researcher of the laboratory of electrical heating methods of food raw materials of St. Petersburg research organization "Food. Electricity. Technology. Technique", tel.: 8 (921) 0929022.

ON THE EFFECT OF FOOD RAW MATERIAL SHELL ON THE COEFFICIENT OF POTENTIAL CONDUCTIVITY OF MASS TRANSFER (reviewed)

Coefficient of potential productivity of mass transfer (diffusion coefficient of moisture) in carbohydrate-containing food material of cylindrical (carrots) and ball (potatoes) peeled form (without skin) and skin (with shell) when heated to its electromagnetic field energy of the microwave has been investigated. The empirical dependence of the average moisture content on the potential conductivity has been obtained. The presence of membrane reduces the diffusion coefficient of the mass of food raw materials.

Keywords: shell, ratio potentsialoprovodnosti mass transfer, moisture, electromagnetic energy fields of the microwave.

Известна работа [1], в которой показана примерная зависимость коэффициента потенциалопроводности массопереноса (коэффициента диффузии влаги) a_m в материале, в том числе пищевом сырье, от его влагосодержания u .

Постановка задачи внутреннего переноса массы (жидкости, пара, водорастворимых веществ) в углеводсодержащем пищевом сырье [2] и ее исследование для тел цилиндрической и сферической формы без и с оболочкой определяет необходимость нахождения коэффициента потенциалопроводности (диффузии массы (влаги и водорастворимых веществ)).

В [3] рассмотрено влияние электромагнитной энергии (ЭМЭ) поля высоких частот (ВЧ) для капиллярно-пористых материалов при различных методах сушки, а в [4] – поля сверхвысоких частот (СВЧ) при нагреве белоксодержащего и углеводсодержащего пищевого сырья в форме пластины и шара с оболочкой (шкурой, корочкой) на коэффициент потенциалопроводности (диффузии массы) во влажном материале.

Для оценки роли оболочки в определении коэффициента диффузии массы вещества в капиллярно-пористых телах большой влажности, к которым относится пищевое сырье, с учетом рассматриваемого нами

СВЧ-нагрева, используем расчетное выражение для a_m , примененное автором [5] для стадии постоянной скорости сушки:

- для цилиндра и шара

$$a_m = \frac{NR^2(\bar{U}_o - \bar{U}_k)}{\Gamma(\bar{U}_k - \bar{U}_{mg})(\bar{U}_o - \bar{U})}$$

где N - скорость сушки в периоде постоянной скорости ($N = d\bar{U}/d\tau$, кг/(кг·с)), R - характерный размер пищевого сырья (для цилиндра – радиус поперечного сечения цилиндра перпендикулярного его оси, для шара – его радиус), м, \bar{U}_o - среднее начальное влагосодержание, кг/кг, \bar{U}_k - среднее конечное влагосодержание, кг/кг, Γ - постоянная формы (для цилиндра $\Gamma = 4$, для шара $\Gamma = 5$), \bar{U}_{mg} - максимальное гигроскопическое влагосодержание, кг/кг.

Основываясь на методике [5], значение a_m для моркови и картофеля определяли из кинетики процесса отдельно для первой и «второй стадий постоянной скорости» удаления влаги.

Экспериментальные исследования процесса удаления влаги проводили на моделях образцов цилиндрической (морковь: влажность $w = 85,5\%$, влагосодержание $\bar{U}_o = 5,90$ кг/кг, радиус $R = 11,5 \cdot 10^{-3}$ м, длина $L = 150 \cdot 10^{-3}$ м) и шаровой (картофель: влажность $w = 79,9\%$, влагосодержание $\bar{U} = 3,98$ кг/кг, радиус $R = 14 \cdot 10^{-3}$ м [6]) формы в лабораторной СВЧ-установке (частота электромагнитного поля СВЧ $f = 2,4 \cdot 10^9$ Гц, мощность СВЧ-генератора $N_r = 800$ Вт) при объемной мощности $U_{уд} = 1,8 \cdot 10^6$ Вт/м³.

Максимальное гигроскопическое влагосодержание принимали из [7] для влажного капиллярно-пористого тела при конвективном нагреве и из [8] при конвективном и СВЧ-нагреве, что составляет для моркови $\bar{U}_{mg}^{свч} = 0,96$ кг/кг и картофеля $\bar{U}_{mg}^{свч} = 0,84$ кг/кг.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили по методике планирования эксперимента [9].

По результатам опытных данных для модели моркови со средним по объему влагосодержанием $\bar{U}(\tau)$ без оболочки (кривые 1, 1', 1'') и с оболочкой (кривые 2, 2', 2'') получены:

- кинетика процесса удаления влаги $\bar{U}(\tau)$, показанная на рис. 1:

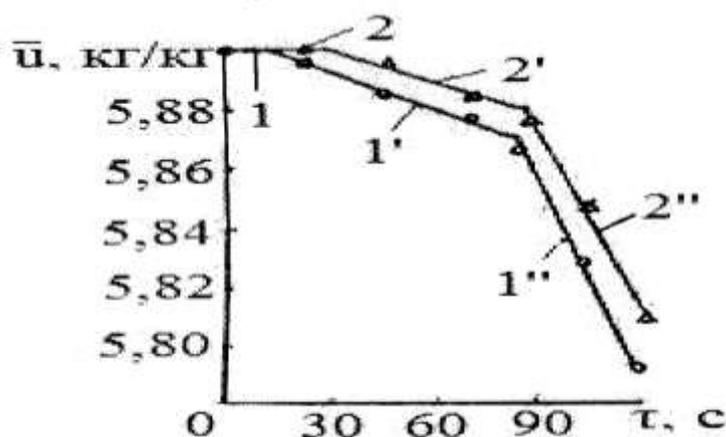


Рис. 1. $\bar{U}(\tau)$

- скорость изменения влагосодержания $d\bar{U}/d\tau$, показанная на рис. 2:

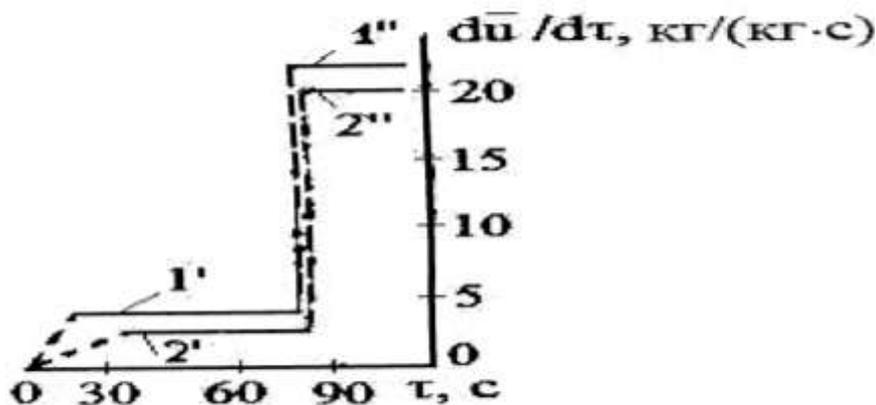


Рис. 2. $d\bar{U}/d\tau = f(\tau)$

Для модели картофеля с влажностью $\bar{U}(\tau)$ без и с оболочкой результаты зависимостей $\bar{U}(\tau)$ и $d\bar{U}/d\tau$ даны в [6].

На рисунках 3, 4 показаны зависимости $a_m = f(\bar{U})$ при нагреве углеводсодержащего пищевого сырья ЭМЭ поля СВЧ:

- цилиндрической формы – моркови (рис. 3) без оболочки (кривая 1) и с оболочкой (кривая 2) – по результатам экспериментальных работ на рис. 1, 2,

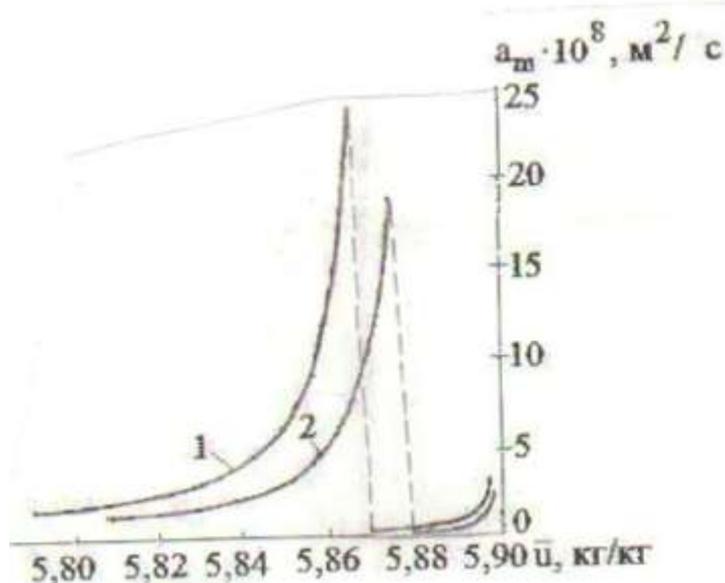


Рис. 3. $a_m = f(\bar{U})$ – сферической формы – картофель (рис.4) без оболочки (кривая 1) и с оболочкой (кривая 2) – по результатам работы [6].

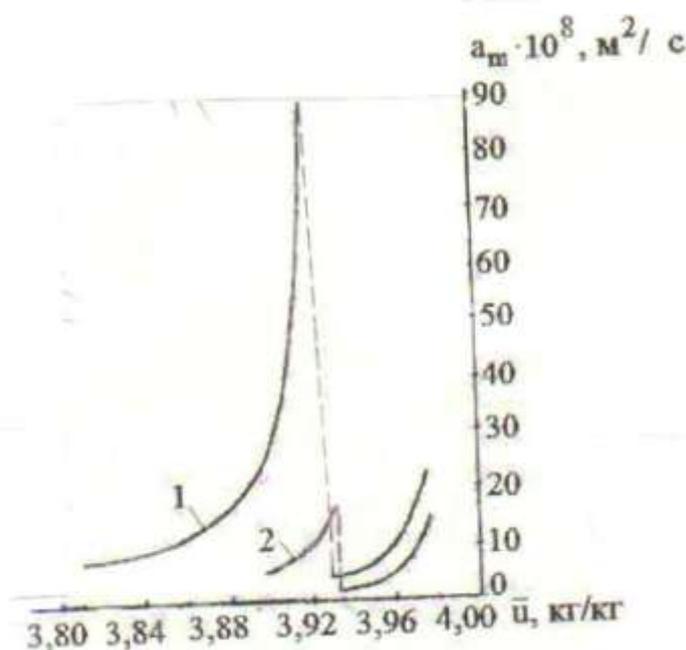


Рис. 4. $a_m = f(\bar{U})$

Приведенные экспериментальные зависимости $a_m(\bar{U})$ характеризуются убыванием коэффициента потенциалопроводности на первой стадии постоянной скорости удаления влаги по экспоненциальному закону. К концу первой стадии вследствие изменения структуры (пористости) углеводсодержащего пищевого сырья (картофеля) и увеличения градиента нерелаксируемого давления за счет внутренних источников энергии поля СВЧ резко возрастает фильтрационный перенос влаги из центральных в периферийные слои, что приводит, соответственно, к резкому возрастанию a_m в межстадийной области удаления влаги.

Выводы

1. Исследована кинетика удаления влаги из углеводсодержащего пищевого сырья цилиндрической (моркови) и шаровой (картофеля) геометрической формы при нагреве его электромагнитной энергией поля сверхвысокой частоты. Получены эмпирические зависимости коэффициента потенциалопроводности от среднего влажностного содержания.

2. Наличие оболочки уменьшает коэффициент диффузии массы пищевого сырья.

Литература:

1. Гинзбург А.С., Савина И.М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов: справочник. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280с.
2. Вороненко Б.А., Клоков Ю.В., Гоппе Д.А. Постановка задачи совместного тепломассопереноса при выпекании картофеля с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты // Процессы и аппараты пищевых производств: электрон. науч. журн. 2010. № 1. С.1-6. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>
3. Максимов Г.А. Гигроскопические свойства капиллярно-пористых материалов, проявляющиеся в результате взаимного контакта и различного метода сушки // Тепло- массоперенос. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. Т.4. С.32-34.
4. Клоков Ю.В. Влияние источника энергии на коэффициент диффузии влаги // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 5. С.23-24.
5. Горобцова Н.Е. Новый метод определения коэффициентов диффузии влаги во влажных материалах // ИФЖ. 1968. Т. 15, № 2. С. 253-259.
6. Вороненко Б.А., Клоков Ю.В., Гоппе Д.А. К вопросу влияния оболочки (кожуры) картофеля на массоперенос при нагреве ЭМЭ поля СВЧ // Процессы и аппараты пищевых производств: электрон. науч. журн. 2010. №2(сентябрь). С. 1–7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>
7. Сушка пищевых растительных материалов / Филоненко Г.К. [и др.]. М.: Пищевая промышленность, 1971. 440 с.
8. Клоков Ю.В., Ивахнюк Г.К. Гигроскопические характеристики рыбы и влияние ЭМП СВЧ // Известия вузов. Пищевая технология. 1992. №1. С.53-54.
9. Грачев А.П. Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищевая промышленность, 1979. 199с.

References:

1. Ginsburg A.S., Savina I.M. *Mass and moisture exchange characteristics of food products. Reference Book. M.: Light and food industries. 1982. 280p.*
2. Voronenko B.A., Klokov Y.V., Goppe D.A. *Statement of the Problem of Heat and Mass Transfer when baking potatoes using microwave electromagnetic energy // Processes and equipment for food production: electronic scholarly journal. 2010. № 1. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>*
3. Maksimov G.A. *Hygroscopic properties of capillary-porous materials that appear as a result of mutual contact and the different methods of drying // Heat and Mass Transfer. M.; L.: Gosenergoizdat, 1963. P.32-36.*
4. Klokov Y.V. *Effect of energy source on the diffusion coefficient of moisture // Storage and processing of agricultural raw materials. 2010. № 5. P.23-24.*
5. Gorobtsova N.E. *A new method for determining the coefficients of moisture diffusion in moist materials // IFJ, 1968. V. 15, № 2. P.253-259.*
6. Voronenko B.A., Klokov Y.V., Goppe D. *On the influence of the shell (skin) of potatoes on mass transfer during the heating in microwave field Processes and equipment for food production: electronic scholarly journal. 2010. № 2. P.1-7. URL: <http://processes.open-mechanics.com/>*
7. *Drying of food plant materials / Filonenko G.K. [and oth.]. M.: Food Industry. 1971. 440P.*
8. Klokov Y.V., Ivakhnyuk G.K. *Hygroscopic characteristics of the fish and the effect of microwave EMF // Proceedings of the universities. Food Technology. 1992. № 1. P.53-54.*
9. Grachev A.P. *Mathematical methods of experiment planning. M.: Food Industry. 1979. 199 p.*