

УДК 621.38.029.6.01

АДАМОВИЧ А.Л., РЫМАРЕВ В.А., ГРОЗБЕРГ Ю.Г., КУНДАС С.П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО НАГРЕВА И СУШКИ МАТЕРИАЛОВ

Разработана математическая модель микроволнового нагрева влагосодержащих диэлектрических материалов во временной и пространственной области, с помощью которой получены зависимости локальной температуры и влажности от времени обработки и расстояния от поверхности образца. Предложенный подход может быть использован, как основа для построения более совершенных и точных моделей для анализа и оптимизации процессов нагрева и сушки диэлектрических материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие электромагнитного поля микроволнового диапазона широко используются для обработки (быстрый нагрев, сушка, химический синтез и т.д.) материалов. Преимущество этой наукоемкой технологии заключается в увеличении скорости обработки (1...10 раз), снижение энергозатрат, экологическая чистота, улучшение свойств готового продукта.

Данная технология давно и успешно применяется за рубежом, и начинает развиваться в странах СНГ, и в частности в Беларуси. Для конструирования установок, оптимизации и оценки параметров процесса микроволновой обработки необходимо построение нелинейных математических моделей, учитывающих как параметры поля (мощность, частота, периодичность), характеристики материалов (размеры, теплофизические параметры, макроструктура, функции потерь от частоты, влажности и температуры и пр.) и свойства внешней среды (температура, влажность и т.д.) [1-6].

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Электромагнитная волна падает перпендикулярно на плоский образец конечной толщины, вызывая его нагрев и, следовательно, испарение влаги. Необходимо найти профили распределения температур и влажностей в этом образце с течением времени. Используются следующие приближения [4,7]:

1. Существует такая граница s , где пренебрегается движением влаги, пусть, где температура меньше T_k (температура кипения) влажность M принимается равной начальной влажности образца M_0 , а энергия расходуется только на нагрев образца:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q, \quad M = M_0, \quad x > s \quad (1)$$

2. В области, где температура равна T_k , энергия расходуется на испарение влаги:

$$\rho C_{ст} \frac{\partial M}{\partial t} = Q, \quad T = T_k, \quad x \leq s \quad (2)$$

где ρ – плотность образца;
 C_p – теплоемкость образца;
 k – коэффициент теплопроводности;
 $C_{ст}$ – скрытая теплота испарения воды;

Q – удельная мощность, диссипируемая в образце, которая по приближению в [4], равна:

$$Q = \frac{1}{2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r'' E_0^2 e^{-2 \int_0^x \beta(x) dx} \quad (3)$$

где ω – круговая частота электромагнитного поля;
 ε_0 – диэлектрическая постоянная;
 E_0 – напряженность электромагнитного поля;

$$\beta(x) = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_r' \left(1 + \left(\frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \right)^2 - 1 \right)}{2}} \quad (4)$$

ε_r' , ε_r'' – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости, являющиеся функцией температуры, влажности и расстояния x .

Применив начальные и граничные условия, данные уравнения решены методом конечных разностей.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

На основании результатов моделирования, проведенного с помощью системы MATHCAD, получены графики распределения температур и влажностей в объеме образца, представленные на рис. 1 и 2.

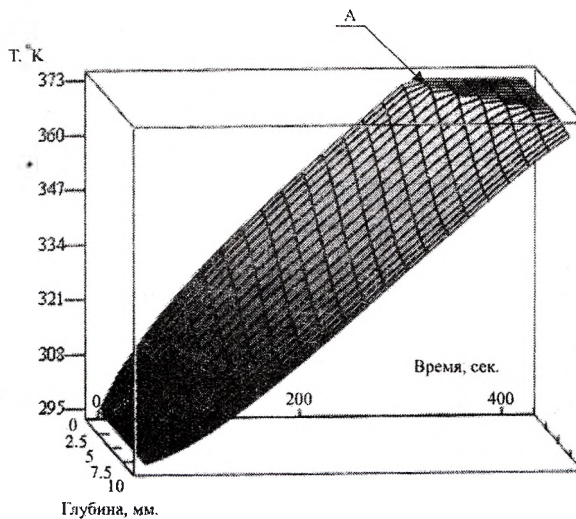


Рис. 1. Распределение температуры в образце во время микроволновой обработки

Из рис. 1 видно, что нагрев приповерхностных участков происходит интенсивнее, т.к. волна быстро затухает в этих областях, нагревая их, а тепло за счет теплопередачи отдается более отдаленным участкам. Во время нагрева при достижении точки кипения (точка А) происходит активное выделение и испарение влаги, как это видно из рис. 2.

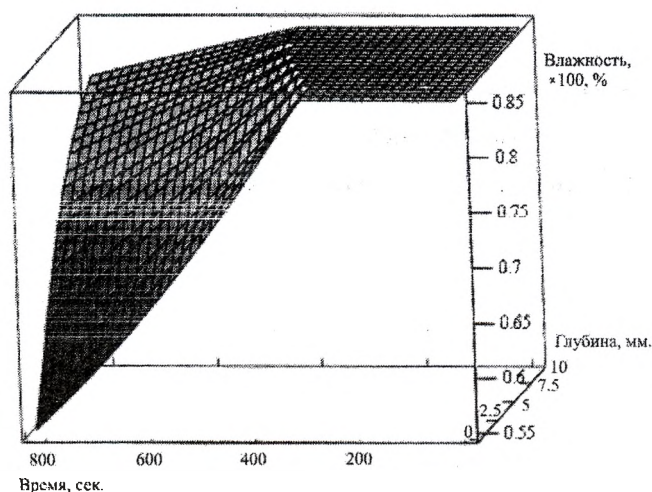


Рис. 2. Распределение влажности и перемещение границы кипения в образце

Следует отметить, что реальные процессы нагрева и сушки пористых сложносоставных сред сложны, и необходим более строгий учет характеристик материалов на макроуровне с применением законов тепло-массопереноса [8]. Поэтому представленная в настоящей работе модель является основой для углубленного анализа имеющих место при нагреве диэлектрических материалов теплофизических процессов, их трехмерного математического описания, учета температурной зависимости свойств материалов, влияния окружающей среды и др.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. National Materials Advisory Board «Microwave processing of materials» / National Academy Press, Washington, D.C., 1994, p.150
2. Морозов Г.А. Микроволновые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: современные достижения и новые подходы // Антенны. – 1998. – №1(40). – С.88–96
3. Адамович А.Л., Грозберг Ю.Г., Капралов М.Е. Использование СВЧ энергии для обработки материалов // Машиностроение. – Мн., 2001. – Вып.17. – С.87–90
4. Budd C.J. Draft report in manuscript form, 30th European Study Group with Industry, Dept. of Mathematics, Bath University, April, 1997
5. Кундас С.П., Кашко Т.А. Компьютерное моделирование технологических систем. В 2-х ч. Ч.1. – Мн.: БГУИР, 2001. – 164 с.
6. Кундас С.П. Особенности комплексного подхода к моделированию технологических процессов / Известия Белорусской инженерной академии. – 1999. – №1(7)/2. – С.91–93
7. Oktay A., Akman A. Thermal simulation of microwave heating for material processing / 7th Ampere HF and MW Heating Conferens, Sept., Valencia, Spain, 1999
8. P.Ratanadecho., K.Aoki, M.Akahori Experimental and numerical study of microwave drying in unsaturated porous material / Int.Comm. Heat Mass Transfer, 2001, Vol.28, No.5, pp.605-616

Адамович Александр Леонидович

Аспирант кафедры конструирования и технологии РЭС

Полоцкий государственный университет, г.Новополоцк

Тел.: 57-45-57

Компьютерное моделирование

E-mail: a.adams@psu.unibel.by

Грозберг Юрий Геннадьевич

Зав.кафедрой конструирования и технологии РЭС, канд. техн. наук, доцент

Полоцкий государственный университет, г.Новополоцк

Тел.: 57-45-57

Кундас Семен Петрович

Проректор по учебной работе, информатизации и международным связям, д-р техн. наук, профессор

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г.Минск

Тел. +375 (17) 232-45-11

E-mail: kundas@gw.bsuir.unibel.by