

Афанасьев А.М., Михайлов В.К., Сипливый Б.Н. Решение двумерной задачи теории электромагнитной сушки в среде с постоянными коэффициентами тепломассопереноса // Materials of the I International scientific and practical conference «Science and Education», 5-6 September 2014. Volume 16. Mathematics. Modern information technologies. – Sheffield, Science and education LTD. – P. 47-51.

MATERIALS

OF THE I INTERNATIONAL SCIENTIFIC
AND PRACTICAL CONFERENCE

«SCIENCE AND EDUCATION - 2014»

5-6 September 2014

Volume 16
Mathematics
Modern information technologies

Belgorod - Sheffield
Science and Education LTD.
2014

Science and Education LTD.

Registered in ENGLAND & WALES
Registered Number: 08878342

OFFICE 1, VELOCITY TOWER, 10 ST. MARY'S GATE, SHEFFIELD, S
YORKSHIRE, ENGLAND, S1 4LR

**Materials of the I International scientific and practical
conference, «Science and Education», - 2014.**

Volume 16. Mathematics. Modern information technologies.
Sheffield. Science and education LTD - 88 ctp.

Editor: Michael Wilson

Manager: William Jones

Technical worker: Daniel Brown

Materials of the I International scientific and practical conference, «Science
and Education», 5-6 September 2014
on Mathematics. Modern information technologies.

For students, research workers.

ISBN 978-0-9930712-0-1

© Authors, 2014

© Science and Education LTD., 2014

CONTENTS

MATHEMATICS

APPLIED MATHEMATICS

Рахман П.А., Муравьева Е.А., Шарипов М.И. Кольцевая марковская цепь в задачах расчета показателей надежности	3
Евсеев В.И. О моделировании гексарных фигур	12
Berezhnoy V.N., Zakharov M.S., Zakharov S.M. Human diseases prevention based on the research of spectral properties of the pulse wave obtained by photoplethysmography	19
Евсеев В.И. О моделировании фигур малых размерностей	23
Рутковский А.Л., Алехин В.Н, Ковалева М.А., Старикова Т.В. Асимптотические методы в регуляризации систем управления в технологических объектах	30
Елохин А.П., Лобашев Д.А. Об использовании метода управления движением хаотически распределенных несамосогласованных структур в трехмерном пространстве	35
Афанасьев А.М., Михайлов В.К., Спильный Б.Н. Решение двумерной задачи теории электромагнитной сушики в среде с постоянными коэффициентами теплопереноса	47
Berkovich V.N. On one method in mixed dynamic elasticity problems for skew-layered medium	51

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

COMPUTER ENGINEERING

Лиманова Н.И., Атаев С.Г. Программный комплекс для автоматизированной диагностики заболеваний по снимкам компьютерной томографии	57
---	----

COMPUTER ENGINEERING AND PROGRAMMING

Артюшенко В.М., Кучеров Б.А. Расчёт оптимальной скорости передачи информации земных станций при работе в составе узловой сети спутниковой связи	59
Бойков А.А. Компьютерные технологии преподавания инженерных дисциплин	62

10. Материал подготовлен на основе материалов РИА Новости и открытых источников РИА Новости

<http://ria.ru/spravka/20121012/772846765.html#ixzz2nXtNnhBG>.

11. Марков Г. Т., Петров Б. М., Грудинская Г. П. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва «СОВЕТСКОЕ РАДИО» 1979, 374 с.

12. Кубанов В.П. Элементарные излучатели электромагнитных волн. Учебное пособие. – Самара: ПГУТИ, 2010, 40 с.

13. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по линейным дифференциальным уравнениям. М.: Факториал, 1997, 303 с.

14. Выгодский М.Я. Справочник по математике. М.: АСТ: Астрель, 2011, 1055 с.: ил.

Афанасьев А.М., Михайлов В.К., Сипливый Б.Н.

РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СУШКИ В СРЕДЕ С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

Вопросы сушки капиллярно-пористых материалов интенсивным СВЧ излучением для случая одной пространственной переменной подробно разработаны в [1, 2]. Недостатком одномерного подхода является то, что в его рамках нельзя исследовать краевые эффекты (резкое возрастание градиентов температурного поля и поля влагосодержания на определенных участках границы у образцов со сложной геометрией), которые снижают качество нагревания и сушки и могут решающим образом повлиять на организацию этих процессов. В настоящей работе разрабатывается алгоритм, позволяющий анализировать процесс сушки с учетом краевых эффектов.

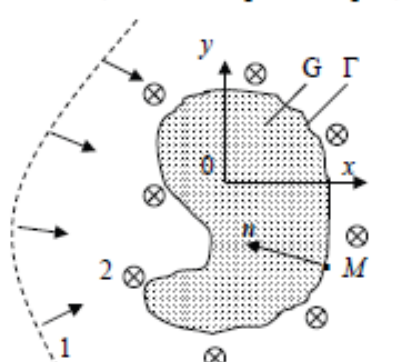


Рис. 1. Схема сушки цилиндрического образца: 1 – электромагнитная волна; 2 – воздушный поток.

На рис. 1 изображено сечение цилиндра, образующие которого параллельны оси z . Цилиндр находится в поле электромагнитной волны; в направлении, параллельном образующим, он обдувается воздушным потоком. Пусть исходные данные, определяющие развитие во времени электромагнитных процессов и процессов теплопереноса, таковы, что зависимость искомых величин от координаты z можно пренебречь. Тогда начально-краевая задача для расчета функций $T(x, y, t)$ и $U(x, y, t)$ – распределений температуры и

влажностного содержания по сечению цилиндра рис. 1 в различные моменты времени τ – ставится следующим образом [1, 3]:

$$c\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \Delta T + r\gamma\rho_0 \frac{\partial U}{\partial \tau} + W, \quad M \in G; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \cdot \Delta U + a_m \delta \cdot \Delta T, \quad M \in G; \quad (2)$$

$$Q(M, \tau) + r(1 - \gamma) \cdot J(M, \tau) = \lambda \frac{\partial T}{\partial n}(M, \tau) + A \cdot S, \quad M \in \Gamma; \quad (3)$$

$$J(M, \tau) = a_m \rho_0 \left[\frac{\partial U}{\partial n}(M, \tau) + \delta \frac{\partial T}{\partial n}(M, \tau) \right], \quad M \in \Gamma; \quad (4)$$

$$T(x, y, 0) = T_{\text{ж}}; \quad U(x, y, 0) = U_0. \quad (5)$$

В этих уравнениях c , ρ_0 , γ , λ , a_m , δ – теплофизические характеристики материала (соответственно удельная теплоемкость, плотность в сухом состоянии, критерий испарения, коэффициент теплопроводности, коэффициент диффузии влаги, относительный коэффициент термодиффузии влаги); r – удельная теплота парообразования воды; W – плотность внутренних источников тепла, вызванных поглощением проникающего электромагнитного излучения; $A \cdot S$ – плотность поверхностных источников тепла, вызванных поглощением излучения с малой глубиной проникновения (интенсивность излучения S , коэффициент поглощения A); U_0 – начальное влажностное содержание материала; $T_{\text{ж}}$ – температура мокрого термометра (метод расчета этой величины описан в работе авторов [4]); $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ – двумерный оператор Лапласа; M – переменная точка на границе Γ ; $\partial/\partial n$ – символ производной по направлению внутренней нормали к этой границе; Q и J – интенсивности тепло- и массообмена поверхности образца с воздушной средой, которые в каждой точке поверхности M однозначно определяются температурой в этой точке T :

$$Q(M, \tau) = \sigma \tilde{A} \left[(T(M, \tau) + T_0)^4 - (T_{\text{в}} + T_0)^4 \right] + \alpha_w [T(M, \tau) - T_{\text{в}}]; \quad (6)$$

$$J(M, \tau) = \alpha_m [P(T(M, \tau)) - \varphi \cdot P(T_{\text{в}})]; \quad P(T) = 6,03 \cdot 10^{-3} \cdot \exp \frac{17,3 \cdot T}{T + T_1}. \quad (7)$$

В этих формулах σ – постоянная Стефана-Больцмана; \tilde{A} – коэффициент теплового излучения; $T_{\text{в}}$ и φ – температура и влажность воздуха за пределами пограничного слоя; α_w и α_m – коэффициенты тепло- и массообмена поверхности образца с воздушной средой; $P(T)$ – функция, моделирующая зависимость относительного парциального давления насыщенного водяного пара от его температуры T при общем нормальном давлении [4]; $T_0=273$ °С и $T_1=238$ °С – постоянные. Если заданы скорость воздуха вне пограничного слоя V и длина образующей цилиндра L , то при ламинарном состоянии пограничного слоя коэффициенты α_w и α_m можно рассчитать по формулам, приведенным в [4].

Пусть областью G , где ищется решение, является прямоугольник $0 < x < 2d$, $0 < y < 2h$, а плотности внутренних и поверхностных источников

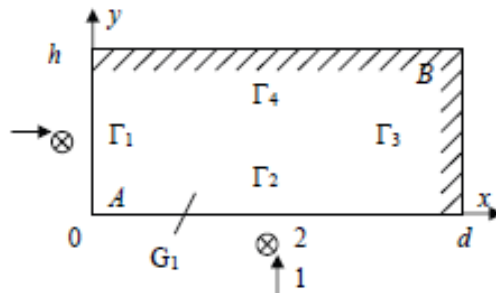


Рис. 2. Сушка образца с прямоугольным сечением: 1 – электромагнитная волна; 2 – воздушный поток.

тепла распределены симметрично как относительно прямой $x=d$, так и относительно прямой $y=h$. В этой ситуации оси симметрии прямоугольника будут, очевидно, осями симметрии и для распределений температуры и влагосодержания, и значит, нам достаточно будет найти решение задачи лишь в области G_1 , показанной на рис. 2 и составляющей лишь четвертую часть исходной области G . Заметим, что линии постоянной температуры и постоянного влагосодержания в силу указанной симметрии должны пересекать

прямые $x=d$ и $y=h$ под прямым углом, что эквивалентно условию $\partial T/\partial n=0$ и $\partial U/\partial n=0$ в точках пересечения (заштрихованные участки границы Γ_3 и Γ_4).

Алгоритм численного решения сформулированной начально-краевой задачи описан авторами в [5]. Он основан на методе переменных направлений. Ниже приводятся результаты расчетов при следующих условиях. Материалом является глина ($c=1,9 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°C); $\rho_0=1,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $\gamma=0,10$; $\lambda=0,93$ Вт/(м·°C); $a_{ш}=2,6 \cdot 10^{-8}$ м²/с; $\delta=1,5 \cdot 10^{-3}$ 1/°C); начальное влагосодержание $U_0=0,4$; состояние воздушного потока: $T_s=20^\circ\text{C}$, $V=1,0$ м/с, $\varphi=0,5$; размеры образца: $L=0,2$ м, $d=0,02$ м, $h=0,01$ м; коэффициенты излучения и поглощения: $\tilde{A}=A=0,75$; плотность внутренних источников тепла $W(M,\tau)=0$; интенсивность излучения с малой глубиной проникновения $S(M,\tau)=\text{const}=3,9 \cdot 10^3$ Вт/м².

Развитие во времени поля температуры показано на рис. 3. Из однородного с температурой мокрого термометра $T_x=14,8^\circ\text{C}$, каким оно было при $\tau=0$, пройдя стадию больших перепадов температуры (рис. 3, а), к моменту $\tau=8,4$ мин поле T становится слабо неоднородным со средней температурой около 54°C (рис. 3, б), и в дальнейшем до самого конца сушки остается примерно таким же. По-другому развивается поле влагосодержания. Как видно из рис. 4, с течением времени неоднородность поля U в любой фиксированной точке только возрастает, а при фиксированном τ она тем больше, чем ближе эта точка к началу координат (в этом и проявляется краевой эффект). В итоге к моменту $\tau=21,1$ мин перепад влагосодержания по диагонали прямоугольника на рис. 4, б оказывается близким к начальному влагосодержанию $U_0=0,4$. Другими словами, в окрестности начала координат сушка близится к завершению, а в окрестности точки $B(1; 0,5)$ она только начинается. Ясно, что качество сушки при таком большом перепаде влагосодержания, вызванного краевыми эффектами, нельзя признать удовлетворительным.

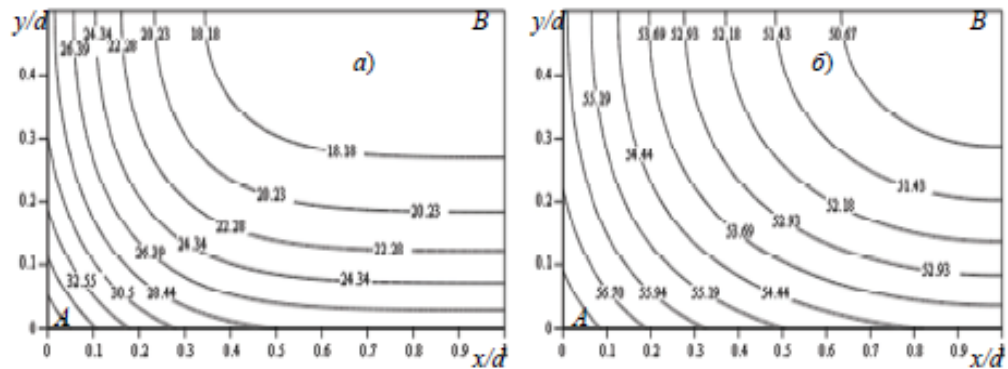


Рис. 3. Поле T [°C] в моменты времени $\tau=0,84$ мин (а) и $\tau=8,4$ мин (б).

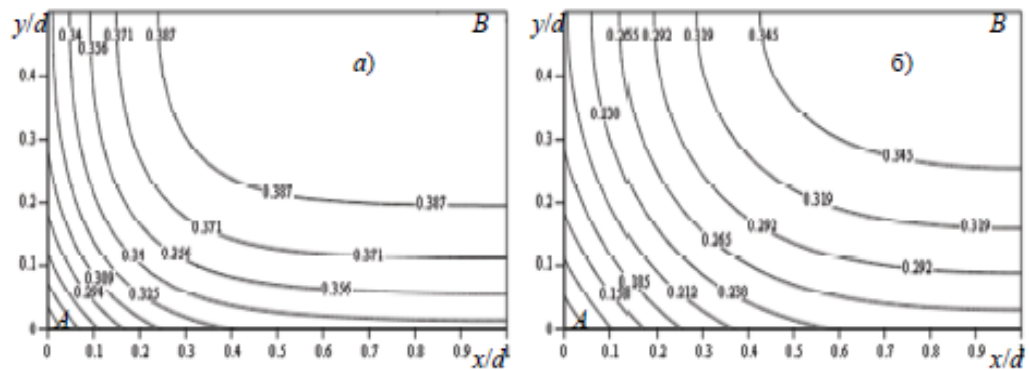


Рис. 4. Поле U [кг/кг] в моменты времени $\tau=8,4$ мин (а) и $\tau=21,1$ мин (б).

Как показали численные эксперименты, варьируя интенсивность излучения (вблизи ребер параллелепипеда она должна быть меньше, чем в середине граней), можно добиться существенного улучшения качества сушки. Результаты исследования могут найти применение для оптимизации работы различных технических устройств: производственных линий для сушки электромагнитными волнами, приборов для инфракрасного облучения биологических тканей в медицине, установок для СВЧ гипертермии инородных образований в биологических тканях.

Литература

1. Афанасьев А.М., Подгорный В.В., Сипливый Б.Н., Яцышен В.В. Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с влажосодержащими плоскими слоистыми средами. Часть 1 // Известия вузов. Электромеханика. – 2001. – № 2. – С. 14-21.

2. Афанасьев А.М., Подгорный В.В., Сипливый Б.Н., Яцышен В.В. Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с влагосодержащими плоскими слоистыми средами. Часть 2. Численный расчет // Известия вузов. Электромеханика. – 2001. – № 4-5. – С. 32-38.

3. Лыков А. В. Теория сушки. М.-Л.: Энергия, 1968. – 471 с.

4. Афанасьев А.М., Сипливый Б.Н. О краевых условиях массообмена в виде законов Ньютона и Дальтона // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80. – № 1. – С. 27-34.

5. Афанасьев А. М., Михайлов В. К., Сипливый Б. Н. Математическое моделирование двумерных задач теории сушки электромагнитным излучением // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – № 11. – С. 29-34.

Berkovich V.N.

*Affiliated «Moscow State University of Technology and Management
named after K.G. Razumovski», Rostov-on-Don, Russia*

ON ONE METHOD IN MIXED DYNAMIC ELASTISITY PROBLEMS FOR SKEW-LAYERED MEDIUM

Kew words: skew-layered medium, integral transforms, boundary integral equation, solvability problem, contact stress, distribution technique, compact operator, exact solution

In the paper new method is offered to investigate antiplane vibrations of the semi-infinite medium composed by truncated wedge-shaped components of different mechanic and geometric parameters. Such a problem is of great interest in study of diffraction theory problems and wave propagation in geophysics of skew-layered media [1] et al. Mixed dynamic boundary value problems for elastic multilayered or anisotropic media have been studied in [2] et al. No results devoted to mathematical problems of dynamic elasticity for media considered in this paper are known. The suggested way is based on distribution technique and reducing the problem in question to boundary integral equations studied in author previous papers [3-6].

1. Let consider heterogeneous elastic medium $\Omega = \bigcup_{n=1}^N \Omega_n$, where Ω_n be truncated wedge-shaped composants, stiffly connected by its semi-infinite boundaries not intersecting in Ω . The rough surface $\partial\Omega$ is formed by transverse finite boundaries of Ω_n . Antiplane shear displacements $f(x)e^{-i\omega t}$, $a \leq x \leq b$ are given in the strip $S = [a, b] \times R^1$ parallel to the edge on the surface component $\partial\Omega \cap \partial\Omega_N$. The rest of the surface $\partial\Omega$ is