

**КОМИТЕТ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

КОКШЕТАУСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 3 (31), 2018

**ВЕСТНИК
КОКШЕТАУСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
КОМИТЕТА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

КОКШЕТАУ 2018

УДК 614.8 (082)
ББК 68.69 (5Каз)

Журнал «Вестник Кокшетауского технического института» № 3 (31), 2018 г., сентябрь.
Издается с марта 2011 года.

Собственник: Кокшетауский технический институт Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации и коммуникации Республики Казахстан 29 августа 2017 г. Свидетельство № 16654-Ж.

Дата и номер первичной постановки на учет № 11190-Ж, 14.10.2010 г.

Включен в перечень научных изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности по техническим наукам и технологии (приказ ККСОН МОН РК № 501 от 20.03.2018 г.).

Главный редактор: **Шарипханов С.Д.**, доктор технических наук

Заместитель главного редактора: **Раимбеков К.Ж.**, кандидат физико-математических наук

Состав редакционной коллегии:

Беккер В.Р., председатель Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД РК (РК, г. Астана)

Алешков М.В., доктор технических наук, профессор (РФ, г. Москва)

Байшагиrow Х.Ж., доктор технических наук (РК, г. Кокшетау)

Кошумбаев М.Б., доктор технических наук (РК, г. Астана)

Мансуров З.А., доктор химических наук, профессор (РК, г. Алматы)

Сивенков А.Б., доктор технических наук, доцент (РФ, г. Москва)

Аубакиров С.Г., кандидат технических наук (РК, г. Алматы)

Джумагалиев Р.М., профессор, кандидат технических наук (РК, г. Алматы)

Камлюк А.Н., кандидат физико-математических наук, доцент (Республика Беларусь, г. Минск)

Тарахно А.В., кандидат технических наук, доцент (Украина, г. Харьков)

Состав редакционного совета:

Карменов К.К., кандидат технических наук (председатель); Альменбаев М.М., кандидат технических наук; Арифджанов С.Б., кандидат технических наук; Бейсеков А.Н., кандидат физико-математических наук; Жаулыбаев А.А., кандидат технических наук; Касымова С.К., кандидат филологических наук; Макишев Ж.К., кандидат технических наук; Шуматов Э.Г., кандидат философских наук; Шумекоев С.Ш., кандидат педагогических наук.

«Вестник Кокшетауского технического института» - периодическое издание, посвящённое вопросам обеспечения пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Тематика журнала – теоретические и практические аспекты предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; обеспечение пожарной безопасности; проблемы обучения и др.

Научный журнал предназначен для курсантов, магистрантов, адъюнктов, профессорско-преподавательского состава образовательных учреждений, научных и практических сотрудников, занимающихся решением вопросов защиты в чрезвычайных ситуациях, пожаровзрывобезопасности, а так же разработкой, созданием и внедрением комплексных систем безопасности.

Издано в авторской редакции

ISSN 2220-3311

© Кокшетауский технический институт
КЧС МВД Республики Казахстан, 2018

МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

- Шарипханов С.Д., Арифджанов С.Б., Айтеев А.С., Батыркулов М.К.* МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЖУРНОЙ СМЕНЫ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ КОМИТЕТА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН, ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА 4
- Гарелина С.А., Латышенко К.П., Миронов А.А., Павлюченко И.А.* АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОБ НА НАЛИЧИЕ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ 16
- Айтеев А.С., Нурсеитов Е.К., Абдрахманов А.А.* РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОЛОСЫ ПРЕПЯТСТВИЙ ВОЕННОЙ ПОДГОТОВКИ И ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ НА БАЗЕ УЧЕБНОГО ЦЕНТРА КОКШЕТАУСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА КОМИТЕТА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ МВД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН 21
- Жаулыбаев А.А.* ПОСТРОЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ «СТОИМОСТЬ – ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ» 27

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Даркенбаева Н.С., Монтаев Е.И.* ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ КРАСОК 35
- Сулеев Д.К., Карменов К.К., Утепов Е.Б.* АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИМЕТАЛЛОВ 40
- Tatsiy R.M., Stasiuk M.F., Vlasii O.O., Pazen O.Yu.* A DIRECT METHOD OF TEMPERATURE FIELD RESEARCH IN A MULTILAYER PIPE IN THE EVENT OF FIRE 53
- Фещук Ю.Л., Поздеев С.В., Нижник В.В., Новгородченко А.Ю.* МЕТОД ИНТЕРПОЛЯЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В СЕЧЕНИИ ФРАГМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОЛОНН С ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКОЙ 64
- Рахметулин Б.Ж.* К ВОПРОСУ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ С МНОГОСВЕТНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ 74
- Нурмагомедов Т.Н.* ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ ОТ СВИНЦА БИОАДСОРБЦИОННЫМ СПОСОБОМ 79

ПРОБЛЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

- Шарипханов С.Д., Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б.* СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ПОДГОТОВКЕ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН 87
- Бейсеков А.Н.* СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ 93

*R.M. Tatsiy¹, Doctor of Science, professor
M.F. Stasiuk¹, Doctor of Philosophy, docent
O.O. Vlasii², Doctor of Philosophy, docent
O.Yu. Pazen¹, Doctor of Philosophy*

¹Lviv State University of Life Safety, Ukraine

²Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ukraine

A DIRECT METHOD OF TEMPERATURE FIELD RESEARCH IN A MULTILAYER PIPE IN THE EVENT OF FIRE

There is suggested and substantiated a constructive scheme of unsteady temperature field distribution across the thickness of a multilayer pipe in the event of fire. The scheme is based on a direct method of research of boundary value problems of heat conduction with piecewise continuous coefficients and stationary heterogeneity.

Keywords: heat conductivity, direct method, multilayer pipe.

1. Introduction. In the present work there is suggested a constructive approach to the solution of a mixed problem for the heat conductivity equations with piecewise continuous coefficients, which appears when investigating an unsteady temperature field in a multilayer pipe. It comprises the reduction method, the concept of quasi-derivatives, the modified Fourier method, and the eigenfunction method. As a numeric example we consider a model problem of temperature field distribution on the thickness of a four-layer pipe in the event of fire.

2. Problem statement and its mathematical model. There is considered a mixed problem for the heat conductivity equation [1]

$$c\rho \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right), \quad (1)$$

with the system of boundary conditions of the third kind:

$$\begin{cases} \alpha_0 r_0 t(r_0, \tau) - t^{[1]}(r_0, \tau) = \alpha_0 r_0 \psi_0(\tau), \\ \alpha_n r_n t(r_n, \tau) + t^{[1]}(r_n, \tau) = \alpha_n r_n \psi_n(\tau), \end{cases} \quad (2)$$

under the initial condition:

$$t(r, 0) = \varphi(r) \quad (3)$$

where $r_0 < r_1 < \dots < r_n$ is the arbitrary partitioning of the interval $[r_0, r_n]$ of the real axis OR into n parts, θ_i - the characteristic function of the interval $[r_i, r_{i+1}]$, $t^{[1]} = r \lambda t'$ - the

quasi-derivative [2]. We set $\lambda(r) = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i \theta_i$, $c(r)\rho(r) = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \rho_i \theta_i$.

We look for the solution of problem (1), (2), (3) according to the following scheme [3]:

The solution of $t(r, \tau)$ should be found using the reduction method [4]

$$t(r, \tau) = u(r, \tau) + v(r, \tau) \quad (4)$$

For one of the functions (i.g. for $u(r, \tau)$) there is solved the quasi-stationary problem

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \lambda \frac{du(r, \tau)}{dr} \right) = 0, \quad (5)$$

with the boundary conditions (2) for the function $u(r, \tau)$:

$$\begin{cases} \alpha_0 r_0 u(r_0, \tau) - u^{[1]}(r_0, \tau) = \alpha_0 r_0 \psi_0(\tau), \\ \alpha_n r_n u(r_n, \tau) + u^{[1]}(r_n, \tau) = \alpha_n r_n \psi_n(\tau), \end{cases} \quad (6)$$

Solution of a boundary value problem (5), (6).

Let us introduce the vector $\mathbf{u} = (u, u^{[1]})^T$ and the matrix $A(r) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{r\lambda(r)} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$.

The quasi-differential equation (5) is then reduced to an equivalent system of differential equations of the first order:

$$\mathbf{u}' = A\mathbf{u} \quad (7)$$

Let us write the boundary conditions (6) in a vector form [2]

$$P \cdot \mathbf{u}(r_0) + Q \cdot \mathbf{u}(r_n) = \Gamma(\tau), \quad (8)$$

where P , Q and $\Gamma(\tau)$ have the form

$$P = \begin{pmatrix} \alpha_0 r_0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \alpha_n r_n & 1 \end{pmatrix}, \quad \Gamma(\tau) = \begin{pmatrix} \alpha_0 r_0 \psi_0(\tau) \\ \alpha_n r_n \psi_n(\tau) \end{pmatrix}. \quad (9)$$

At each segment the system (7) has the following form

$$\mathbf{u}_i' = A_i \mathbf{u}_i, \quad A_i = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{r\lambda_i} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Cauchy matrix $B_i(r, s)$ of the system (10) can be presented as follows

$$B_i(r, s) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{\ln r - \ln s}{\lambda_i} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

For the arbitrary $k \geq i$ we denote

$$B(r_k, r_i) \stackrel{df}{=} B_{k-1}(r_k, r_{k-1}) \cdot B_{k-2}(r_{k-1}, r_{k-2}) \cdots B_i(r_{i+1}, r_i). \quad (12)$$

The structure (11) of the matrix $B_i(r, s)$ affords the possibility to determine the structure of the matrix (12), specifically

$$B(r_k, r_i) = \begin{pmatrix} 1 & \sum_{m=i}^{k-1} \frac{\ln r_{m+1} - \ln r_m}{\lambda_m} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

In each of the intervals $[r_i, r_{i+1})$ the solution of the problems (5), (6) has the form

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_i(r, \tau) &= B_i(r, r_i) \cdot B(r_i, r_0) \cdot \mathbf{P}_0(\tau), \\ \mathbf{P}_0(\tau) &= (P + Q \cdot B(r_n, r_0))^{-1} \cdot \Gamma(\tau) = \end{aligned} \quad (14)$$

where

$$\begin{aligned} &= \left[\begin{pmatrix} \alpha_0 r_0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \alpha_n r_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \sum_{i=0}^{n-1} \frac{\ln r_{i+1} - \ln r_i}{\lambda_i} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right]^{-1} \begin{pmatrix} \alpha_0 r_0 \psi_0(\tau) \\ \alpha_n r_n \psi_n(\tau) \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \frac{(\alpha_n r_n \sigma_n + 1) \alpha_0 r_0 \psi_0(\tau) + \alpha_n r_n \psi_n(\tau)}{\alpha_n r_n + 1 + \alpha_0 r_0 (\alpha_n r_n \sigma_n + 1)} \\ \frac{\alpha_0 \alpha_n r_0 r_n (\psi_n(\tau) - \psi_0(\tau))}{\alpha_n r_n + 1 + \alpha_0 r_0 (\alpha_n r_n \sigma_n + 1)} \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Expression (14) allows us to write the solution $\mathbf{u}(r, \tau)$ over the entire segment $[r_0, r_n]$ using the characteristic function θ_i in the form

$$\mathbf{u}(r, \tau) = \sum_{i=0}^{n-1} \mathbf{u}_i(r, \tau) \theta_i. \quad (15)$$

For the function $v(r, \tau)$ we will get the mixed problem

$$c\rho \frac{\partial v(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial v(r, \tau)}{\partial r} \right) - c\rho \frac{\partial u(r, \tau)}{\partial \tau}. \quad (16)$$

under zero boundary-value conditions for the function $v(r, \tau)$,

$$\begin{cases} \alpha_0 r_0 v(r_0, \tau) - v^{[1]}(r_0, \tau) = 0, \\ \alpha_n r_n v(r_n, \tau) + v^{[1]}(r_n, \tau) = 0, \end{cases} \quad (17)$$

and the initial condition

$$v(r, 0) = f(r) = \varphi(r) - u(r, 0). \quad (18)$$

Eigenfunction expansion and the Eigenvalue Problem.

We will seek the solution of the homogeneous differential equation

$$c\rho \frac{\partial v(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial v(r, \tau)}{\partial r} \right) \quad (19)$$

in the form

$$v(r, \tau) = e^{-\omega\tau} \cdot R(r), \quad (20)$$

where ω is a parameter, a $R(r)$ is a still unknown function.

Substituting (20) into (19), we arrive at a (quasi) differential equation

$$(r\lambda R')' + \omega c\rho r R = 0, \quad (21)$$

under boundary-value conditions

$$\begin{cases} \alpha_0 r_0 R(r_0) - R^{[1]}(r_0) = 0, \\ \alpha_n r_n R(r_n) + R^{[1]}(r_n) = 0. \end{cases} \quad (22)$$

The problem (21), (22) is a classical eigenvalue problem.

By introducing the quasi-derivative $R^{[1]} \stackrel{df}{=} r\lambda R'$, the vector $\mathbf{R} = (R, R^{[1]})^T$,

and the matrix $A(r) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{r\lambda(r)} \\ -\omega c \rho r & 0 \end{pmatrix}$, we bring the (quasi) differential equation (21) to an equivalent system of differential equations of the first order

$$\mathbf{R}' = A\mathbf{R}. \quad (23)$$

In each of the intervals $[r_i, r_{i+1})$ the system (23) will have the form

$$\mathbf{R}'_i = A_i \cdot \mathbf{R}_i, \quad A_i(r) = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{r\lambda_i} \\ -\omega c_i \rho_i r & 0 \end{pmatrix}. \quad (24)$$

The Cauchy matrix $B_i(r, s, \omega)$ of the system (24) has the following form

$$B_i(r, s, \omega) = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{pmatrix}. \quad (25)$$

where,

$$\beta_{11} = \frac{\pi \lambda_i \alpha_i s (J_1(\alpha_i s) \cdot N_0(\alpha_i r) - J_0(\alpha_i r) \cdot N_1(\alpha_i s))}{2 \lambda_i}$$

$$\beta_{12} = \frac{\pi (J_0(\alpha_i s) \cdot N_0(\alpha_i r) - J_0(\alpha_i r) \cdot N_0(\alpha_i s))}{2 \lambda_i}$$

$$\beta_{21} = \frac{\pi \lambda_i^2 \alpha_i^2 r s (J_1(\alpha_i r) \cdot N_1(\alpha_i s) - J_1(\alpha_i s) \cdot N_1(\alpha_i r))}{2 \lambda_i}$$

$$\beta_{22} = \frac{\pi \lambda_i \alpha_i s (J_1(\alpha_i r) \cdot N_0(\alpha_i s) - J_0(\alpha_i s) \cdot N_1(\alpha_i r))}{2 \lambda_i}$$

where J_0, J_1 и N_0, N_1 are the Bessel and Neyman functions of the zero and the first kind correspondingly.

Let us set:

$$B(r_i, r_0, \omega) \stackrel{df}{=} \prod_{j=0}^i B_{i-j}(r_{i-j+1}, r_{i-j}, \omega), \quad (26)$$

$$B(r, r_0, \omega) \stackrel{df}{=} \sum_{i=0}^{n-1} B_i(r, r_i, \omega) \cdot B(r_i, r_0, \omega) \cdot \theta_i, \quad (27)$$

$$\left[P + Q \cdot B(r_n, r_0, \omega) \right] \stackrel{df}{=} \begin{pmatrix} b_{11}(\omega) & b_{12}(\omega) \\ b_{21}(\omega) & b_{22}(\omega) \end{pmatrix}. \quad (28)$$

We will seek the solution of the system (23) in the form

$$\mathbf{R}(r, \omega) = B(r, r_0, \omega) \cdot \mathbf{C}, \quad (29)$$

where, $\mathbf{C} = (C_1, C_2)^T$ is a nontrivial vector.

Having applied to the equality (29) the boundary-value conditions (22) and accomplishing the transformations, we obtain

$$\left[P + Q \cdot B(r_n, r_0, \omega) \right] \cdot \mathbf{C} = 0. \quad (30)$$

For the existence of the vector \mathbf{C} in (30), it is necessary and sufficient to fulfill the following conditions

$$\det \left[P + Q \cdot B(r_n, r_0, \omega) \right] = 0. \quad (31)$$

The the characteristic equation of the eigenvalue problem (21), (22) has the form (31).

Under the condition (30), the nontrivial vector \mathbf{C} has the form

$$\mathbf{C} = \left(\frac{1}{\alpha_0 r_0}, 1 \right)^T. \quad (32)$$

The eigenvectors of the system of differential equations (23) under boundary-value conditions (22) have the following structure

$$\mathbf{R}_k(r, \omega_k) = \tilde{B}(r, r_0, \omega) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_0 r_0}, 1 \right)^T, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (33)$$

The eigenfunctions $R_k(r, \omega_k)$ as the first coordinates of the eigenvectors $\mathbf{R}_k(r, \omega_k)$ can be written in the following form

$$R_k(r, \omega_k) = (1, 0) \cdot \tilde{B}(r, r_0, \omega_k) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_0 r_0}, 1 \right)^T, \quad (34)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

In particular, since $R_k(r, \omega_k) = \sum_{i=0}^{n-1} R_{ki}(r, \omega_k) \theta_i$, equation (34) leads to

$$R_{ki}(r, \omega_k) = (1, 0) \cdot \tilde{B}_i(r, r_i, \omega_k) \cdot \tilde{B}(r, r_0, \omega_k) \cdot \left(\frac{1}{\alpha_0 r_0}, 1 \right)^T \quad (35)$$

Eigenfunction Method. We will seek the solution of the problem (16)-(18) in the following form

$$v(r, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(\tau) \cdot R_k(r, \omega_k), \quad (36)$$

where $T_k(\tau)$ are unknown functions .

Since the derivative $\frac{\partial u}{\partial \tau}$ enters into the right-hand side of (16), we expand it into the Fourier series in the eigenfunctions of $R_k(r, \omega_k)$.

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \sum_{k=1}^{\infty} u_k(\tau) \cdot R_k(r, \omega_k) \quad (37)$$

The expansion of the function $g(r)$ into Fourier series in the eigenfunctions $R_k(r, \omega_k)$ of the boundary-value problem (21), (22) has the form

$$g(r) = \sum_{k=1}^{\infty} g_k \cdot R_k(r, \omega_k), \quad (38)$$

where Fourier coefficients g_k can be found with the following formula

$$g_k = \frac{1}{\|R_k\|^2} \int_{r_0}^{r_n} c \rho g(r) R_k(r, \omega_k) r dr = \frac{1}{\|R_k\|^2} \sum_{i=0}^{n-1} c_i \rho_i \int_{r_i}^{r_{i+1}} g_i(r) R_{ki}(r, \omega_k) r dr. \quad (39)$$

Note that $\|R_k\|^2$ is a square of the norm of eigenfunctions R_k

$$\|R_k\|^2 = \int_{r_0}^{r_n} c \rho r R_k^2(r, \omega_k) dr = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \rho_i \int_{r_i}^{r_{i+1}} R_{ki}^2(r, \omega_k) r dr. \quad (40)$$

Substituting (36) into (16) we obtain the equality

$$\begin{aligned} c \rho \cdot \sum_{k=1}^{\infty} T_k'(\tau) \cdot R_k(r, \omega_k) = \\ = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^{\infty} T_k(\tau) \cdot (r \lambda R_k'(r, \omega_k))' - c \rho \sum_{k=1}^{\infty} u_k(\tau) \cdot R_k(r, \omega_k). \end{aligned} \quad (41)$$

Taking into account the equality (20), after the transformations we obtain

$$\sum_{k=1}^{\infty} [T_k'(\tau) + \omega_k T_k(\tau) + u_k(\tau)] \cdot R_k(r, \omega_k) = 0. \quad (42)$$

Equating the Fourier coefficients of series (42) to zero, we obtain a set of differential equations

$$T_k'(\tau) + \omega_k T_k(\tau) + u_k(\tau) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (43)$$

The general solution of each of these equations has the form

$$T_k(\tau) = C_k \cdot e^{-\omega_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\omega_k(\tau-s)} \cdot u_k(s) ds, \quad (44)$$

where C_k is an unknown constant. To obtain its definition, we use the expansion of the function $f(r)$ from the initial condition (18) into a Fourier series

$$v(r, 0) = f(r) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k R_k(r, \omega_k). \quad (45)$$

Comparing the corresponding Fourier coefficients, we arrive at the conclusion that $C_k = f_k$.

Thus we end-up with the solution of the mixed problem (16)-(18) in the form of a series:

$$v(r, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[f_k \cdot e^{-\omega_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\omega_k(\tau-s)} u_k(s) ds \right] \cdot R_k(r, \omega_k) = \sum_{i=0}^{n-1} v_i(r, \tau) \cdot \theta_i, \quad (46)$$

Taking into account the image (4) as well as formulas (15) and (46) we obtain the solution of the problem (1)-(3) in the form

$$t(r, \tau) = \sum_{i=0}^{n-1} [u_i(r, \tau) + v_i(r, \tau)] \cdot \theta_i. \quad (47)$$

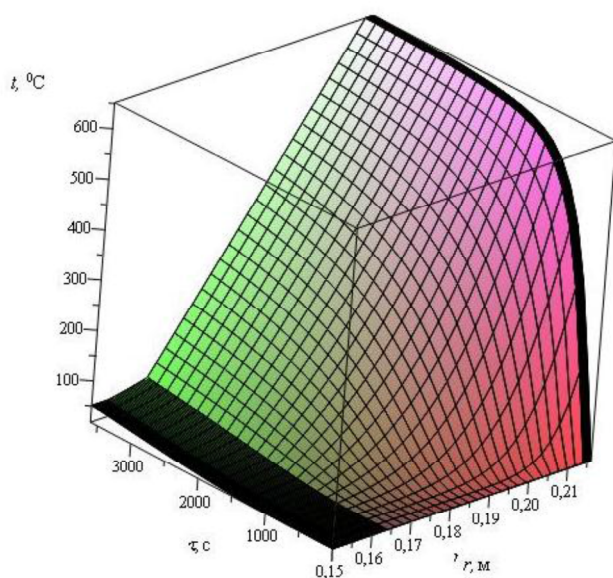
3. Numerical example. As a numerical example we consider a four-layer pipe consisting of isotropic materials with the following radiuses: $r_0 = 0,15m$, $r_1 = 0,154m$, $r_2 = 0,164m$, $r_3 = 0,214m$, $r_4 = 0,216m$. It is necessary to determine the distribution of nonstationary temperature field and the density of the heat flow across the thickness of the pipe, if to the left from the pipe there is a fire with the temperature varying according to the following law $t_{ext.}(\tau) = 660(1 - 0,687e^{-0,32\tau} - 0,313e^{-3,8\tau}) + 18$ [5], and inside there is liquid with the

temperature of $18^{\circ}C$. At the initial moment the pipe temperature is $18^{\circ}C$. The thermophysical characteristics of the materials are specified in Table 1.

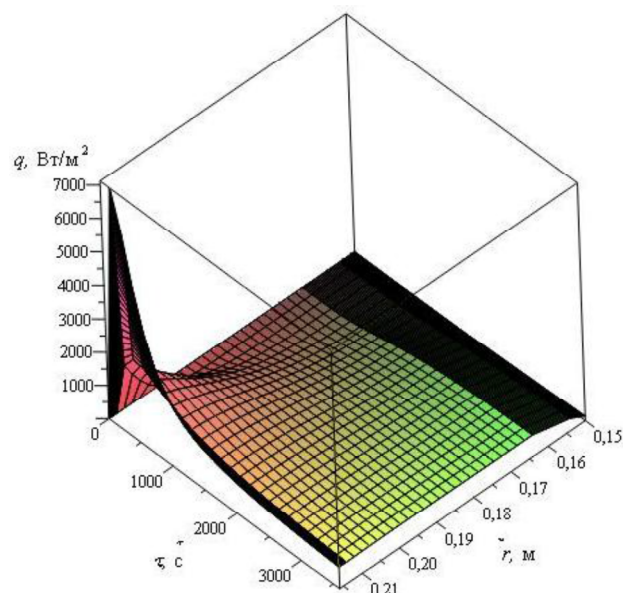
Table 1 - Thermophysical characteristics

Parameter	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4
Thermal conductivity coefficient $\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$	58	0,27	0,056	209
Specific heat capacity $c, \frac{J}{kg \cdot K}$	470	1680	940	894
Density $\rho, \frac{kg}{m^3}$	7800	1000	200	2680
Heat transfer coefficient $\alpha, \frac{W}{m^2 \cdot K}$	Inside – $\alpha_0 = 4$, Outside – $\alpha_n = 25$			

Using the method suggested by the authors, as well as the software Maple 13, [6], we obtain the solution of the given problem on the distribution of the nonstationary temperature field and the density of the heat flow in the form of the graph (see pictures 1 and 2) as well as Tables 2 and 3.



Picture 1 - The distribution of the temperature field



Picture 2 - The distribution of the density of the heat flow

Table 2 - The distribution of the temperature field

Time, s	Coordinates, m						
	0,15	0,154	0,164	0,17	0,2	0,214	0,216
120	18	18	18	19	21,5	151	151
300	18	18	18,3	20,6	65	345	346
600	18	18,1	18,4	21,3	180	521	521
1200	19,1	19,2	24	47,7	340	617	618
1700	22,7	22,8	32,5	75,1	406	635	636
3600	51,5	51,5	70,2	138	488	651	651

Table 3 - The distribution of density of the heat flow

Time, s	Coordinates, m						
	0,15	0,154	0,164	0,17	0,2	0,214	0,216
120	0	0	0	12	65	1467	7208
300	0	0	6	8.6	446	2020	6021
600	0	0	24	28	881	1836	3449
1200	6	62	212	241	954	1218	1484
1700	20	159	390	413	855	957	1049
3600	134	369	640	639	662	645	652

Reference list

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
2. O.Y. Pazen and R.M. Tatsii. “General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients”. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, vol. 89, no. 2, pp. 357-368, March 2016.
3. Тацій Р.М. Загальна третя крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-неперервними коефіцієнтами та стаціонарною неоднорідністю / Р.М. Тацій, М.Ф. Стасюк, О.Ю. Пазен // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія : матер. V Міжнар. наук. конф. (27-29 травня). – Івано-Франківськ - Вінниця, 2015. - С. 201-202.
4. Тацій Р.М. Прямий метод розрахунку нестационарного температурного поля за умов пожежі / Р.М. Тацій, О.Ю. Пазен // Пожежна безпека : Зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД, 2015. - № 26. - С. 135-141.
5. EN 1991-1-2 (2002) (English): Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire.
6. O. Pazen “Mathematical modelling and computer simulation of direct method for studying boundary value problem of thermal conductivity”, proceedings of the International Scientific Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology”, pp. 73-76, October 2017.

Р.М. Тацій¹, М.Ф. Стасюк¹, О.О. Власий², О.Ю. Пазен¹

¹Өмір тіршілігі қауіпсіздігінің Львов мемлекеттік университеті, Украина

²Василий Стефаник атындағы Прикарпат ұлттық университеті, Ивано-Франковск қ., Украина

ӨРТ ЖАҒДАЙЫНДА КӨП ҚАБАТТЫ ҚҰБЫРДА ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ АЛАҢДЫ ТУРА ЗЕРТТЕУ ӘДІСІ

Өрт жағдайында көп қабатты құбырдың қалыңдығы бойынша температуралық алаңның стационарлы емес таратудың конструктивті сызбасы ұсынылған және дәлелденген. Сызба бөлшекті-үздіксіз коэффициенттерімен және стационарлы біртекті емес жылу өткізгіштіктің шекті тапсырмаларын зерттеудің тура әдісіне негізделген.

Түйін сөздер: жылуөткізгіштік, тура әдіс, көп қабатты құбыр.

Р.М. Тацій¹, М.Ф. Стасюк¹, О.О. Власий², О.Ю. Пазен¹

¹Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, г. Львов, Украина

²Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника, г. Ивано-Франковск, Украина

ПРЯМОЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МНОГОСЛОЙНОЙ ТРУБЕ В СЛУЧАЕ ПОЖАРА

Предложена и обоснована конструктивная схема нестационарного распределения температурного поля по толщине многослойной трубы в случае пожара. Схема основана на прямом методе исследования краевых задач теплопроводности с кусочно-непрерывными коэффициентами и стационарной неоднородностью.

Ключевые слова: теплопроводность, прямой метод, многослойная труба.